

Análise de diferentes estratégias de evacuação num estádio de futebol usando simulação

ANDRÉ DE MOURA SOARES FERREIRA

julho de 2023

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM ESTÁDIO DE FUTEBOL USANDO SIMULAÇÃO

André de Moura Soares Ferreira

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM ESTÁDIO DE FUTEBOL USANDO SIMULAÇÃO

André de Moura Soares Ferreira

Estudante n.º 1180774

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira e coorientação da Professora Doutora Elga Cristina Vilela Viana Pereira da Costa.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Ao Futebol Clube do Porto, pela disponibilidade de realizar o projeto de dissertação no Estádio do Dragão.

Aos principais responsáveis da segurança do Estádio do Dragão, Sr. Carlos Carvalho e ao Sr. Ricardo Carvalho, por toda a ajuda e disponibilidade em todo o meu percurso.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela constante e profícua orientação e disponibilidade para ajudar durante esta etapa tão importante.

À Professora Doutora Elga Costa, da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Porto, pela coorientação prestada durante a dissertação.

Aos meus pais que estão sempre prontos para ajudar tanto nos momentos positivos como nos negativos e sempre me motivam para alcançar o melhor de mim.

À minha família que me faz tornar sempre a melhor pessoa possível tanto a nível pessoal como a nível académico, sempre a motivar em todas as situações, para nunca desistir dos meus objetivos.

Aos meus amigos que, durante estes anos, sempre me ajudaram neste percurso e que me motivam a ser melhor a cada dia.

página propositadamente em branco

RESUMO

A importância de uma evacuação eficiente e eficaz em estádios de futebol tende a aumentar nos dias de hoje. A necessidade de evacuação de um espaço público em momentos de desastres naturais e/ou humanos com o objetivo de permitir a segurança dos ocupantes implica a existência de um plano de evacuação. A simulação computacional permite o estudo de várias possibilidades, averiguando qual a melhor para a situação em análise.

O objetivo desta dissertação de mestrado prende-se com a análise e melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão, Estádio oficial do Futebol Clube do Porto. Desta forma, realizou-se um modelo de simulação computacional do Estádio do Dragão através do *software PathFinder*, para que, depois, fosse possível estudar e analisar 10 cenários diferentes de evacuação das bancadas. No final, compararam-se os cenários através dos tempos totais de evacuação de cada bancada. Foram estudadas ainda várias combinações com as portas de saída do Estádio do Dragão com diferentes velocidades e diferentes valores para *Current Door Preference* (variável presente no *software*), que permite a mudança ou não da porta de saída por parte dos adeptos ao longo da evacuação.

A partir desta dissertação, concluiu-se que o tempo necessário para a evacuação total do Estádio do Dragão, com capacidade para 50033 lugares, está compreendido entre 1004,0 e 1158,3 segundos (entre 16,7 e 19,3 minutos) para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente. A zona visitante do Estádio do Dragão, com lotação máxima, consegue ser evacuada entre 991,5 e 1117 segundos (entre 16,5 minutos e 18,6 minutos) para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente. A zona da claque (setor 08 e 09) é possível ser evacuada entre os 562,3 e 672,3 segundos (entre 9,4 e 11,2 minutos) para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente. A evacuação do staff dos escritórios do piso 3 pode ser realizada entre os 189,8 e 231,3 segundos (entre 3,2 e 3,9 minutos) para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente. Conclui-se ainda que um número elevado de adeptos, numa determinada bancada, não implica uma necessidade de maior tempo de evacuação. As duas bancadas Centrais e Laterais são aquelas que possuem mais adeptos. No entanto, precisam de menos tempo para uma evacuação total dos adeptos. Por outro lado, a arquibancada nascente e a zona visitante (bancadas com maior altura) são as zonas que necessitam de mais tempo de evacuação.

PALAVRAS-CHAVE

PathFinder, Simulação computacional, Evacuação, Estádio do Dragão, Cenário, Velocidade, Tempo de Evacuação

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The importance of an efficient and effective evacuation in football stadiums tends to increase these days. The necessity to evacuate a public space in times of natural and/or human disasters in order to ensure the safety of the occupants implies the existence of an evacuation plan. Computer simulation allows the study of several possibilities, finding out which one is the best for the situation under analysis.

The aim of this master's thesis concerns the analysis and improvement of the evacuation process at Estádio do Dragão, the official stadium of Futebol Clube do Porto. In this way, a computer simulation model of Estádio do Dragão was carried out using the *PathFinder* software, so that, later, it would be possible to study and analyze 10 different scenarios of evacuation of the stands. In the end, the scenarios were compared through the total evacuation times of each stand. Several combinations were also studied with the exit doors of Estádio do Dragão with different speeds and different values for *Current Door Preference* (variable present in the software), that allows supporters to change or not the exit door during the evacuation.

From this dissertation, it was concluded that the time required for the total evacuation of Estádio do Dragão, with capacity for 50033 seats, is between 1004,0 and 1158,3 seconds (between 16,7 and 19,3 minutes) for speeds of 1,6 and 1,2 m/s, respectively. The visitor area of Estádio do Dragão, with maximum capacity, can be evacuated between 991,5 and 1117 seconds (between 16,5 minutes and 18,6 minutes) for speeds of 1,6 and 1,2 m/s, respectively. The cheering zone (sectors 08 and 09) can be evacuated between 562,3 and 672,3 seconds (between 9,4 and 11,2 minutes) for speeds of 1,6 and 1,2 m/s, respectively. The evacuation of the staff from the offices on the 3rd floor can be carried out between 189,8 and 231,3 seconds (between 3,2 and 3,9 minutes) for speeds of 1,6 and 1,2 m/s, respectively. It was also concluded that a high number of supporters, in a given stand, does not imply a need for a longer evacuation time. The two Central and Side stands are those with the most supporters, however, they need less time for a total evacuation of supporters. On the other hand, the eastern stands and the visitor area (stands with greater height) are the areas that need more evacuation time.

KEYWORDS

PathFinder, Computer Simulation, Evacuation, Estádio do Dragão, Scenario, Speed, Evacuation Time

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XXV
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XXIX
1. INTRODUÇÃO	31
1.1. Enquadramento e pertinência	31
1.2. Questão e objetivos de investigação	32
1.3. Opções metodológicas	32
1.4. Apresentação da empresa Futebol Clube do Porto	33
1.5. Estrutura da dissertação	34
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1. Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão	35
2.2. Vantagens/Desvantagens da Simulação	37
2.3. Evacuação de eventos desportivos – Casos de Estudo	38
2.4. Evacuação: Conceito e Fatores	41
2.5. Tempos de Evacuação	43
2.6. Evacuação de Recintos Desportivos – Legislação.....	45
2.7. <i>Softwares</i> de apoio à evacuação	46
2.7.1. <i>PathFinder</i>	47
3. Estratégias de evacuação num estádio de futebol	49
3.1. Estádio do Dragão.....	49
3.2. Configuração Estádio do Dragão	50
3.2.1. Piso -3.....	52
3.2.2. Piso -2.....	52
3.2.3. Piso -1.....	53
3.2.4. Piso 0	55
3.2.5. Piso 1	56
3.2.6. Piso 2	56
3.2.7. Piso 3	57
3.2.8. Piso 4	58
3.2.9. Piso 5	58

3.3. Estudo da Simulação.....	59
3.3.1. Modelo Computacional	59
3.3.2. Validação do Modelo de Simulação.....	65
3.4. Análises de estratégia de evacuação	67
3.4.1. Cenário 1 – Estádio Completo - Todas saídas disponíveis	69
3.4.2. Cenário 2 – Bancada Superior Norte.....	73
3.4.3. Cenário 3 – Bancada Superior Sul	86
3.4.4. Cenário 4 – Bancada Central e Lateral Poente.....	97
3.4.5. Cenário 5 – Bancada Central e Lateral Nascente	109
3.4.6. Cenário 6 – Arquibancada Poente	120
3.4.7. Cenário 7 – Arquibancada Nascente	132
3.4.8. Cenário 8 – Evacuação Setor 47-50 (Zona Visitantes)	144
3.4.9. Cenário 9 – Evacuação Setor 08-09 (Zona Claque).....	148
3.4.10. Cenário 10 – Evacuação Escritórios Piso 3	153
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	159
5. CONCLUSÃO	163
5.1. Principais contributos da dissertação	163
5.2. Valor acrescentado para o Futebol Clube do Porto	163
5.3. Dificuldades encontradas	164
5.4. Trabalho Futuro	164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sede Futebol Clube do Porto (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.)	33
Figura 2 - Vista e Localização do Estádio do Dragão (Google Maps, 2022).....	49
Figura 3 - Planta Estádio do Dragão (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.-b)	50
Figura 4 - Planta Piso -3	52
Figura 5 - Planta Piso -2	53
Figura 6 - Planta Piso -1	53
Figura 7 - Galeria Inferior - Bancada Superior Norte	54
Figura 8 - Galeria Inferior - Bancada Central Poente.....	54
Figura 9 - Planta Piso 0	55
Figura 10 - Acesso a pessoas com mobilidade reduzida	55
Figura 11 - Exemplo de uma saída para o exterior do Estádio.....	56
Figura 12 - Planta Piso 1	56
Figura 13 - Planta Piso 2	57
Figura 14 - Planta Piso 3	57
Figura 15 - Planta Piso 4	58
Figura 16 - Planta Piso 5	58
Figura 17 - Interface PathFinder.....	59
Figura 18 - Importar plantas de cada piso	59
Figura 19 - Desenho da planta Piso -2.....	60
Figura 20 - Bancadas Estádio do Dragão	60
Figura 21 - Representação de uma porta numa divisão (a laranja)	60
Figura 22 - Representação de uma porta de saída	61
Figura 23 - Etapas de acrescentar rampa	61
Figura 24 – Etapas de acrescentar escada.....	61
Figura 25 - Etapas de acrescentar elevador	62
Figura 26 - Obstáculo Piso -2 (Parque de Estacionamento).....	62
Figura 27 - Perfis criados	63
Figura 28 - Ocupantes criados.....	63
Figura 29 - Configuração ocupantes.....	63
Figura 30 - Comportamentos criados	63
Figura 31 - Configuração dos comportamentos	64
Figura 32 - Vista Bancada Nascente.....	64

Figura 33 - Vista Bancada Coca-Cola	64
Figura 34 - Modelo de Simulação Estádio do Dragão.....	65
Figura 35 - Localização inicial - Validação.....	65
Figura 36 - Relação entre velocidade média e a iluminância média no piso (Ouellette & Rea, 1989).....	67
Figura 37 - Comportamento criado para pessoas com mobilidade reduzida.....	68
Figura 38 - Comportamento criado para auxiliar as pessoas com mobilidade reduzida	68
Figura 39 - Vista aérea do modelo Estádio do Dragão.....	69
Figura 40 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%.....	70
Figura 41 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%.....	70
Figura 42 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%.....	71
Figura 43 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%.....	71
Figura 44 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%.....	72
Figura 45 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%.....	72
Figura 46 - Representação da Bancada Superior Norte.....	73
Figura 47 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	74
Figura 48 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	74
Figura 49 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	75
Figura 50 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	76
Figura 51 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	77
Figura 52 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	77

Figura 53 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	78
Figura 54 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	79
Figura 55 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	80
Figura 56 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	80
Figura 57 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	81
Figura 58 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	81
Figura 59 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	82
Figura 60 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	83
Figura 61 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	83
Figura 62 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	84
Figura 63 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	85
Figura 64 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	85
Figura 65 - Bancada Superior Sul- representação	86
Figura 66 - Bancada Superior Sul – saídas laterais (laranja); saídas centrais - azul	86
Figura 67 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	87
Figura 68 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	87
Figura 69 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	88
Figura 70 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	88

Figura 71 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	89
Figura 72 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	90
Figura 73 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	91
Figura 74 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	91
Figura 75 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	92
Figura 76 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	92
Figura 77 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	93
Figura 78 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	93
Figura 79 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	94
Figura 80 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	94
Figura 81 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	95
Figura 82 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	96
Figura 83 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	97
Figura 84 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	97
Figura 85 - Representação da Bancada Central e Lateral Poente.....	98
Figura 86 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	99
Figura 87 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	99

Figura 88 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	100
Figura 89 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	100
Figura 90 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	101
Figura 91 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	101
Figura 92 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	102
Figura 93 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	102
Figura 94 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	103
Figura 95 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	104
Figura 96 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	104
Figura 97 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	105
Figura 98 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	106
Figura 99 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	106
Figura 100 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	107
Figura 101 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	107
Figura 102 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	108
Figura 103 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	108
Figura 104 - Representação saídas Bancada Nascente	109

Figura 105 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	110
Figura 106 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	110
Figura 107 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	111
Figura 108 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	111
Figura 109 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	112
Figura 110 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	112
Figura 111 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	113
Figura 112 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	114
Figura 113 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	114
Figura 114 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	115
Figura 115 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	116
Figura 116 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	116
Figura 117 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	117
Figura 118 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	117
Figura 119 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	118
Figura 120 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	118
Figura 121 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	119

Figura 122 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	119
Figura 123 - Representação Arquibancada Poente	120
Figura 124 - Representação saídas Arquibancada Poente	120
Figura 125 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	121
Figura 126 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	122
Figura 127 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	123
Figura 128 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	123
Figura 129 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	124
Figura 130 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	124
Figura 131 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	125
Figura 132 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	125
Figura 133 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	126
Figura 134 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	127
Figura 135 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	128
Figura 136 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	128
Figura 137 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	129
Figura 138 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	129
Figura 139 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	130

Figura 140 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	130
Figura 141 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	131
Figura 142 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	131
Figura 143 - Representação Arquibancada Nascente - Adeptos_casa	132
Figura 144 - Representação saídas disponíveis	132
Figura 145 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	133
Figura 146 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	133
Figura 147 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	134
Figura 148 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	135
Figura 149 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	135
Figura 150 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	136
Figura 151 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	137
Figura 152 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	137
Figura 153 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	138
Figura 154 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	138
Figura 155 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	139
Figura 156 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	139
Figura 157 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	140

Figura 158 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	141
Figura 159 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	141
Figura 160 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	142
Figura 161 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	143
Figura 162 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	143
Figura 163 - Zona galeria superior - zona visitante.....	144
Figura 164 - Representação saídas disponíveis - zona visitante.....	144
Figura 165 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	145
Figura 166 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	145
Figura 167 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	146
Figura 168 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	146
Figura 169 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	147
Figura 170 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	148
Figura 171 - Setor 08 e 09 - Claque	148
Figura 172 - Representação saídas disponíveis - setor 08 e 09	149
Figura 173 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	149
Figura 174 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	150
Figura 175 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	151
Figura 176 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	151

Figura 177 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	152
Figura 178 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	152
Figura 179 - Representação Escritórios Piso 3.....	153
Figura 180 - Possibilidades de saídas - zona Piso 3	153
Figura 181 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%	154
Figura 182 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%	154
Figura 183 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%	155
Figura 184 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%	155
Figura 185 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%	156
Figura 186 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%	156
Figura 187 - Percentagem de adeptos em cada bancada	159
Figura 188 - Tempos de evacuação mais rápidos de cada bancada.....	160
Figura 189 - Tempos de evacuação mais lentos de cada bancada.....	160

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens da Simulação	37
Tabela 2 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos	38
Tabela 3 - Tempos de pré-movimentação em diferentes tipos de espaço (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)	44
Tabela 4 - Softwares e as suas áreas de aplicação (Xiao et al., 2022).....	46
Tabela 5 - Número de ocupantes Estádio do Dragão por setor	51
Tabela 6 - Lotação máxima em cada bancada	51
Tabela 7 - Simulação Real vs Simulação Computacional.....	66
Tabela 8 - Cenário 1 - velocidade 1,2 m/s	69
Tabela 9 - Cenário 1 - velocidade 1,4 m/s	70
Tabela 10 - Cenário 1 - velocidade 1,6 m/s	72
Tabela 11 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	74
Tabela 12 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	75
Tabela 13 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	76
Tabela 14 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	78
Tabela 15 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	79
Tabela 16 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	80
Tabela 17 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	82
Tabela 18 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	83
Tabela 19 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	84
Tabela 20 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	87
Tabela 21 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	88
Tabela 22 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	89
Tabela 23 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	90
Tabela 24 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	91
Tabela 25 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	92
Tabela 26 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	94
Tabela 27 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	95
Tabela 28 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	96
Tabela 29 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	98
Tabela 30 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	99
Tabela 31 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	101

Tabela 32 - Cenário 4: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	102
Tabela 33 - Cenário 4: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	103
Tabela 34 - Cenário 4: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	104
Tabela 35 - Cenário 4: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	105
Tabela 36 - Cenário 4: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	106
Tabela 37 - Cenário 4: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	108
Tabela 38 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	109
Tabela 39 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	111
Tabela 40 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	112
Tabela 41 - Cenário 5: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	113
Tabela 42 - Cenário 5: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	114
Tabela 43 - Cenário 5: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	115
Tabela 44 - Cenário 5: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	117
Tabela 45 - Cenário 5: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	118
Tabela 46 - Cenário 5: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	119
Tabela 47 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	121
Tabela 48 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	122
Tabela 49 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	123
Tabela 50 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	125
Tabela 51 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	126
Tabela 52 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	127
Tabela 53 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	128
Tabela 54 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	129
Tabela 55 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	130
Tabela 56 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	133
Tabela 57 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	134
Tabela 58 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	135
Tabela 59 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,2 m/s)	136
Tabela 60 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,4 m/s)	137
Tabela 61 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,6 m/s)	139
Tabela 62 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,2 m/s)	140
Tabela 63 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,4 m/s)	141
Tabela 64 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,6 m/s)	142
Tabela 65 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	144

Tabela 66 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	146
Tabela 67 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	147
Tabela 68 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	149
Tabela 69 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	150
Tabela 70 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	151
Tabela 71 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)	154
Tabela 72 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)	155
Tabela 73 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)	156

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
F.C.P.	Futebol Clube do Porto

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo realiza-se o enquadramento do trabalho, abordando o problema de investigação bem como a sua importância. Seguidamente, é ainda apresentada a questão e os objetivos de investigação, expondo-se igualmente, as opções metodológicas bem como o plano de investigação que serviram de base a este projeto. Por fim, é apresentada a estrutura do presente trabalho.

1.1. Enquadramento e pertinência

Desde o início do século, assiste-se ao aumento da quantidade de desastres naturais (terramotos, cheias, tornados) e desastres causados por ação humana, como os ataques terroristas, que causam grandes perdas para a vida humana e são atentados para a segurança das pessoas em todo o Mundo (Xu et al., 2020) (Yazdani et al., 2021).

De modo a amenizar as consequências inerentes aos desastres naturais é importante incentivar à educação sobre a prevenção de desastres, bem como promover a evacuação precoce (Nakamura et al., 2017). Assim, para a redução dos riscos que advêm após os desastres naturais deve ter-se em conta três fases importantes: prevenção e preparação; resposta a emergências e; reconstrução e reparação (Pascapurnama et al., 2018).

Após a ocorrência de desastres é importante evacuar imediatamente as pessoas das áreas afetadas, com o intuito de diminuir o impacto causado pelos acontecimentos (Liu et al., 2020). A falta de um plano de evacuação eficiente e de preparação das pessoas para tomar decisões durante o processo de evacuação, devido às suas reações inesperadas em situações de pânico e de caos, pode causar consequências nefastas para os afetados (Rendón Rozo et al., 2019).

A criação de modelos de simulação de evacuação permite um estudo e análise de vários problemas que podem ocorrer durante o processo de evacuação, avaliando, assim, a eficácia de um determinado plano de evacuação (Takabatake et al., 2020).

A Simulação pode ser referida como uma das ferramentas que permite auxiliar no processo de tomada de decisão, possibilitando a projeção de um modelo real, bem como a análise do melhor comportamento do sistema, avaliando, assim, o impacto de diversas estratégias alternativas através de experiências (Ferreira et al., 2011) (Sá et al., 2022) (Luís Pinto Ferreira, Ares, et al., 2012).

Como é de conhecimento comum, recintos desportivos com elevada capacidade e taxa de utilização requerem planos de evacuação eficientes de pessoas, com o intuito de aumentar a segurança das mesmas e minimizar os possíveis estragos provenientes de desastres naturais ou desastres provocados pelo Homem. Assim, este projeto insere-se na necessidade de análise e de melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão, tendo sido um desafio proposto pela empresa Futebol Clube do Porto (FCP).

1.2. Questão e objetivos de investigação

Considerando o problema de investigação apresentado anteriormente, o presente trabalho pretende dar resposta à questão de investigação: de que forma é possível melhorar o processo de evacuação de um estádio de futebol, contribuindo para garantir o aumento da segurança e proteção dos adeptos, bem como para a diminuição do tempo de evacuação em caso de ocorrência de desastres naturais ou provocados pelo Homem?

Com base nesta questão inicial, o objetivo principal prende-se com a análise e melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão, sendo os objetivos específicos:

- Realização do modelo de simulação do Estádio do Dragão em *PathFinder*;
- Análise da estratégia de evacuação atualmente utilizada no Estádio do Dragão;
- Análise de diferentes estratégias de evacuação através de *PathFinder*;
- Comparação das diferentes estratégias realizadas;
- Avaliação da melhor estratégia realizada.

Ao longo da dissertação pretende-se abordar todos os objetivos específicos de modo a alcançar o objetivo principal.

1.3. Opções metodológicas

No que diz respeito aos métodos de investigação, neste projeto utiliza-se o Estudo do Caso, dado que se trata de um processo de investigação, com recolha de dados e posterior análise, descrição e compreensão dos mesmos (Morgado, 2012).

O estudo de caso também pode ser definido como um fenómeno contemporâneo em contexto real, associado ao conhecimento adquirido através da experiência e na observação dos factos e no estudo do fenómeno nas situações em que as fronteiras entre o fenómeno e o contexto não são claramente evidentes (Fernandes et al., 2020) (Crowe et al., 2011).

O desenvolvimento de um estudo de caso pode ser dividido em 3 etapas (Morgado, 2012):

- Investigação: onde se identifica o domínio da investigação, elementos-chave e os contornos do problema a estudar;
- Recolha de dados: devem ser recolhidos os dados necessários para o estudo através do método que melhor se adequa e com o maior rigor devido à elevada importância informativa dos dados para a fase seguinte;
- Análise, interpretação e divulgação dos resultados: onde se apresenta as conclusões retiradas do estudo realizado, sendo o mais usual a elaboração de um documento científico como relatório ou artigo.

Assim, neste trabalho pretende-se analisar e interpretar os resultados provenientes das diferentes estratégias de simulação de evacuação através do *software PathFinder*, de modo a ser possível atingir o objetivo principal: a melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão.

1.4. Apresentação da empresa Futebol Clube do Porto

A empresa Futebol Clube do Porto tem como principal objetivo a promoção e desenvolvimento da prática desportiva e cultural aos seus associados (Futebol Clube do Porto, n.d.-a).

A sua sede é no Estádio do Dragão (Figura 1), Via Futebol Clube do Porto na Entrada Poente e no Piso 3 (Futebol Clube do Porto, n.d.-b).



Figura 1 - Sede Futebol Clube do Porto (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.)

O Futebol Clube do Porto é constituído por outras empresas, nomeadamente “Serviços Partilhados”, “Porto Estádio”, “Porto Media”, “Avenida dos Aliados”, “Miragem”, “Porto Comercial”, “Dragon Tour”; “Porto Seguro”, “EuroAntas”, “InvestiAntas” e “Porto Multimédia” (Futebol Clube do Porto, n.d.-c).

1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

O capítulo 1 aborda a introdução do trabalho, onde são abordados o enquadramento e a pertinência, os objetivos de investigação bem como as opções metodológicas.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica de tópicos relacionados com o tema principal desta dissertação.

No capítulo 3 encontra-se o caso em análise, onde é apresentada a configuração do Estádio do Dragão bem como o modelo realizado do Estádio no *software PathFinder*. Salienta-se ainda a exposição de vários cenários de estudo do caso.

No capítulo 4 compara-se os resultados e realiza-se uma discussão dos mesmos.

No capítulo 5 são apresentados as principais conclusões da dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordadas algumas temáticas referentes ao tema do trabalho anteriormente supracitado. Assim, é analisada a simulação como ferramenta de apoio à decisão bem como as suas vantagens/desvantagens. Salienta-se ainda a apresentação de vários casos de estudo referentes à evacuação de recintos desportivos, o seu conceito, fatores que influenciam, bem como a legislação que é exercida na evacuação dos espaços desportivos. Por fim, são referidos vários *softwares* de evacuação de pessoas, dando maior importância ao *PathFinder*, que foi o *software* utilizado ao longo do projeto.

2.1. Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão

Num mundo em que a competitividade continua a aumentar diariamente, a Simulação revelou-se fundamental para a resolução de problemas, tornando possível o estudo, a análise e a avaliação de diversos cenários que não poderiam ser estudados de outra forma (Shannon, 1998) (Silva et al., 2021).

Segundo (Luís Pinto Ferreira et al., 2003), a Simulação é uma metodologia que possibilita idealizar e estudar o desempenho de sistemas e de processos complexos.

De acordo com (Gaziero & Cecconello, 2019), a Simulação pode ser definida como uma metodologia, um sistema de informação (SI) e de planeamento que tenta reproduzir o comportamento de um sistema real, através de modelo matemático tendo como intuito servir de apoio à tomada de decisão.

A Simulação é uma das ferramentas mais importantes que possibilita a previsão de um determinado desempenho dinâmico de um sistema complexo, interagindo entre os seus subsistemas num modelo computacional (Luís Pinto Ferreira, Gómez, et al., 2012).

Um fator da Simulação é a possibilidade de alteração dos parâmetros com maior facilidade de modo a analisar o desempenho do sistema com o principal objetivo de encontrar o conjunto de parâmetros que permite otimizar o desempenho do mesmo (Hong & Nelson, 2009).

Segundo (Luís Pinto Ferreira et al., 2011), a Simulação pode ser vista como a criação de um modelo representativo do real, bem como a análise do mesmo, com o intuito de averiguar o comportamento e estudar o impacto de certas estratégias.

Segundo (Oh et al., 2016), a Simulação pode ser usada como uma ferramenta de apoio à decisão de modo a analisar os diferentes impactos de cenários hipotéticos sobre as principais medidas de desempenho para observar as consequências de decisões específicas.

A Simulação de Apoio à Decisão pode ser uma combinação do sistema de apoio à decisão tradicional, análise quantitativa e consulta e gestão de banco de dados com o propósito de imitar algo e avaliar o impacto de determinados cenários através da manipulação de algumas variáveis. (Edmonds & O'Connor, 1999).

Segundo (Han et al., 2018), os métodos tradicionais de projeto encontram-se a ser substituídos gradualmente por novas metodologias de simulação baseadas em desempenho de modo a apoiar a tomada de decisão.

A Simulação apresenta cinco funções fundamentais: instrumento de pesquisa, uma metodologia de ensino, ferramenta de planeamento, mecanismo de balanceamento de recursos e ferramenta de suporte à decisão (Vicente, 2005).

A utilização da simulação tem permitido a várias empresas validar ou refutar possíveis oportunidades de melhoria nos seus processos (Silva et al., 2021). Um dos objetivos da simulação é a possibilidade de quantificar as melhorias de desempenho antes da tomada de decisão (Ares et al., 2012).

Para a Simulação conseguir apoiar a decisão é essencial que todos os conceitos, processos, propriedades e restrições relevantes estejam implementados no processo de especificação do problema (Tolk, 2010).

De modo a detetar problemas críticos, durante todas as etapas do projeto, a simulação tem sido utilizada nos sistemas de produção mais complexos (Luís Pinto Ferreira et al., 2005) (Luís Pinto Ferreira et al., 2013) (L. P. Ferreira et al., 2012).

Segundo (Gaziero & Cecconello, 2019) a Simulação tem várias áreas de aplicação tais como:

- Fluxo de trânsito;
- Stocks nos supermercados;
- Operações logísticas;
- Área da saúde.

2.2. Vantagens/Desvantagens da Simulação

A Simulação trouxe inúmeras vantagens que são importantes de serem mencionadas, no entanto é de salientar algumas das suas desvantagens como é possível verificar na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens da Simulação

Vantagens da Simulação	
(Kelton, 1983)	- Permite estimar o desempenho de um sistema existente através de certas condições; - Comparação de diferentes cenários; - Maior controlo; - Estudo detalhado do sistema com um longo período de tempo num tempo mais reduzido
(Vicente, 2005)	- Ocorre num ambiente controlado e fechado; - Consegue ter em conta uma grande quantidade de variáveis ao mesmo tempo.
(Gaziero & Cecconello, 2019)	- Permite uma maior exploração de cenários e avaliação de possíveis problemas; - Mais económico do que realizar o teste no sistema real; - Possibilidade de controlo do tempo.
(Luís Pinto Ferreira, Gómez, et al., 2012)	- Melhor compreensão do sistema; - Identificação das variáveis que influenciam o desempenho; - Permite um estudo mais detalhado num período de tempo mais prolongado; - Suporte para a tomada de decisão; - Possibilidade de testar o comportamento do sistema em situações novas e inesperadas.
Desvantagens da Simulação	
(Shannon, 1998)	- A qualidade do modelo depende da utilidade do estudo; - Recolha de dados demorada; - Não produzem solução ótima; - Simulação não pode compensar dados inadequados ou más decisões de gestão.
(Kelton, 1983)	- Custo elevado e elevada demora no desenvolvimento dos modelos de simulação; - Resultados apresentam informações pouco úteis sobre o sistema real; - O modelo não é uma representação válida do sistema em estudo

2.3. Evacuação de eventos desportivos – Casos de Estudo

Na Tabela 2 encontram-se diversos casos de estudo relativos a evacuação de eventos desportivos usado a simulação como ferramenta de apoio à decisão.

Tabela 2 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos

(M. Gravit et al., 2022)	Este estudo foi realizado para comparar as decisões de planeamento de espaço através do fluxo de pessoas durante a evacuação de dois recintos desportivos, o Coliseu de Roma, em Itália e o estádio Gazprom Arena na Rússia. Para realizar este estudo foi utilizado a simulação discreta de pessoas com recurso ao <i>software Sigma Simulation</i> . Os resultados mostram que as decisões de planeamento do espaço do Coliseu parecem trazer mais vantagens comparando com o Gazprom Arena, tanto a nível no tempo de evacuação como no processo de organização da evacuação. No Coliseu, o fluxo específico médio encontra-se em 1,14 pessoa/s/m, enquanto o fluxo específico médio do Gazprom Arena é de 0,65 pessoa/s/m.
(Mahmudzadeh et al., 2020)	O estudo propõe simuladores para cenários de evacuação da população com base na dinâmica de vários fatores, no estádio de futebol Nahshe Jahan no Irão. Pode ainda gerar gráficos estatísticos acerca da dinâmica da população, bem como dados como densidade populacional. Para realizar a simulação de evacuação foi utilizado o <i>Pedestrian Dynamic Software</i> , de modo que fosse possível a obtenção dos parâmetros salientando o tempo total de evacuação. Os resultados da simulação mostram que a evacuação total do estádio, quando completamente cheio, leva cerca de 20 minutos.
(Guigay & Snorrasson, 2014)	O projeto realizado pela <i>Verkís Consulting Engineers</i> na Islândia teve como objetivo uma nova avaliação de incêndio do edifício devido a novas obras no que diz respeito a termos de evacuação. O estudo da evacuação das pessoas foi simulada em três dimensões usando o <i>software PathFinder</i> . A partir dos resultados, verifica-se que a combinação de <i>PathFinder</i> com o <i>Fire Dynamics Simulator</i> mostrou ser muito eficiente para determinar o número máximo de ocupantes, bem como uma nova configuração das arquibancadas, permitindo um aumento da segurança dos espetadores. Salienta-se ainda que a evacuação permitiu concluir que, em caso de incêndio, seria possível 3966 ocupantes saírem em segurança.
(Minegishi & Takeichi, 2018)	Neste estudo são propostas novas diretrizes para o projeto e coordenação da evacuação de multidões, dado que no projeto de instalações desportivas os regulamentos não esclarecem como os evacuados devem ser protegidos, mostrando o processo numa situação real para um estádio situado no Japão. Para a realização deste estudo foi utilizado a simulação multiagentes com recurso ao <i>software SimTread</i> . Através dos resultados obtidos pelo estudo conclui-se que a maioria dos problemas acontece na acumulação de pessoas evacuadas e na sequência da acumulação.
(Ahn & Kong, 2021)	O estudo tem como principal objetivo a análise do tempo total gasto para realizar uma evacuação de incêndio simulada simultânea e sequencial num ginásio na

	Coreia do Sul. Para a realização deste estudo foi utilizado o programa de simulação de evacuação <i>PathFinder</i> . Foram realizados vários cenários, tais como a saída simultânea de todos os ocupantes e a saída sequencial de acordo com determinadas prioridades. Depois do estudo conclui-se que a situação em que a primeira prioridade se encontra nos ocupantes mais lentos é a mais eficaz para economizar tempo numa possível evacuação.
(Lin et al., 2015)	Este projeto desenvolvido no pavilhão multiusos em Taiwan denominado de Taipei Arena tem como principal objetivo desenvolver um modelo de simulação para evacuação de multidões num local de grande escala. Neste estudo foi utilizado o <i>software</i> de simulação baseado em agente <i>PathFinder</i> 2011. Através dos resultados obtidos e diferentes condições de simulação de evacuação é possível concluir que o movimento de direção do <i>PathFinder</i> é adequado para a simulação de multidões e o movimento em forma de L nas escadas.
(W. Zhang et al., 2018)	Este estudo apresenta um modelo baseado em agente desenvolvido para o estádio de futebol Georgia Tech nos Estados Unidos da América. Tem como principal propósito avaliar possíveis comportamentos sociais durante uma evacuação de modo a garantir a segurança dos cidadãos. Neste projeto recorreu-se a um modelo baseado em agente para o desenvolvimento da simulação intitulado de <i>NetLogo</i> . Os resultados do modelo não concordam necessariamente com o esperado devido, provavelmente, à baixa fidelidade do modelo. Salienta-se ainda a necessidade de o modelo ter em conta mais detalhes.
(Zale et al., 2018)	O projeto realizado na Universidade Mississippi do Sul nos Estados Unidos da América teve como objetivo a implementação de um modelo que permita otimizar o tempo de evacuação do estádio de futebol da Universidade. Neste estudo foi usado o <i>software Pedestrian Dynamic</i> para a evacuação dentro do estádio. Através dos resultados conclui-se que o tempo estimado de evacuação total do estádio foi de 20.82 minutos, enquanto a evacuação total do espaço do estádio e à sua volta foi de 165.01 minutos, tempos esses mais curtos do que os determinados pelo modelo.
(Kirik, Malyshev, et al., 2018)	O estudo realizado nos estádios da Copa das Confederações FIFA 2017 e espaços adjacentes na Rússia teve como objetivo a demonstração de como a simulação de movimento de pedestres pode ser aplicada na verificação da segurança e do conforto das pessoas nos estádios. Foi possível concluir que a identificação de zonas específicas permite planejar medidas de forma a minimizar as potenciais ameaças. A simulação por computador poderá ajudar a prever possíveis riscos nos estádios.
(Han Fang et al., 2022)	O estudo realizado na China tem como objetivo explorar os métodos de otimização para uma melhor eficiência na evacuação das pessoas nos edifícios públicos, neste caso estádio e hospital. Neste projeto foi usado o <i>software PathFinder</i> . Através dos resultados é possível averiguar que a estratégia de partição permite a redução do tempo total de evacuação em 10,55%.
(de Falco et al., 2016)	O projeto desenvolvido num estádio de futebol em Itália tem como intuito propor um modelo que permita analisar a conformidade de um recinto desportivo às normas de segurança do país. Para a realização dos diversos cenários para o estudo

	foi utilizado o <i>software AnyLogic</i> . Foi possível concluir que o estudo serve como um instrumento de investigação de verificação da conformidade de uma instalação desportiva com normas regulamentadas. Pode ainda ser utilizado como um instrumento de apoio à tomada de decisão para a melhoria dos níveis de segurança.
(Chen-Wei Chiu et al., 2015)	O estudo realizado num estádio polidesportivo em Taiwan teve como foco principal a análise dos nós lotados e a melhoria do caminho de evacuação através de modelos <i>Simulex</i> . Através dos resultados obtidos inferiu-se que para locais de curva verificou-se que a fixação do ângulo do plano não aumentou significativamente a eficiência geral da saída. Verificou-se ainda a largura de abertura do portão deve ser aumentada para 1 metro.
(M. V. Gravit et al., 2021)	O caso de estudo realizado no Coliseu de Roma em Itália tem como principal intuito analisar as características de planeamento em relação a espaço do anfiteatro em casos de necessidade de evacuação por causa de incêndio. Neste projeto foi utilizado o <i>software Sigma</i> para o estudo da evacuação. Foi possível concluir de que é possível realizar evacuação com maior sucesso do que em instalações desportivas mais modernas. Salienta-se ainda a não necessidade de um controlo de evacuação para equilibrar a carga de tráfego nas escadas.
(Liu, 2015)	Este projeto realizado num ginásio no campus Universitário no Norte da China tem como objetivo otimizar o desempenho de evacuação do local em análise. Assim, para atingir o objetivo recorreu ao <i>software Simulex</i> , um modelo de simulação baseado em agente. Os resultados obtidos revelam que existe suscetibilidade de ocorrer problemas de evacuação. De seguida, foram propostas novas propostas de design que permitiu reduzir significativamente em relação aos tempos anteriores.
(Aucoin et al., 2018)	Este projeto apresenta um novo conjunto de resultados e de modelagem de um estádio canadense anónimo contemporâneo de modo a dar mais informação aos seus praticantes quanto à variabilidade potencial de parâmetros comportamentais entre ensaios experimentais e simulados. Para este estudo foi utilizado o <i>software</i> de modelagem <i>MassMotion</i> como modo de comparação ao comportamento nos ensaios experimentais. Os resultados permitiram avaliar a situação de acordo com parâmetros que podem afetar tanto a tomada de decisão como a velocidade de caminhada durante a evacuação.
(Klүpfel & Meyer-König, 2005)	O caso de estudo realiza-se num estádio de futebol na Alemanha e tem como objetivo a aplicação do <i>software PedGo</i> na simulação de evacuações de estruturas grandes e complexas. Através dos resultados obtidos neste projeto concluiu-se de que a utilização do <i>software</i> é acessível e eficiente. Salienta-se ainda a importância da simulação permitindo uma análise da evacuação de forma mais intuitiva.
(Klүpfel, 2014)	O projeto realizado numa arena multidesportiva denominada de ESPRIT Arena em Düsseldorf na Alemanha tem como principal intuito fornecer melhor orientação aos visitantes, segurança e proteção. Para realizar a simulação foi utilizado o <i>software PedGo Guardian</i> . Os resultados mostram que este projeto permite reações flexíveis à situação real para a qual normalmente não existem planos de emergência.

	Salienta-se ainda o uso de um semáforo para categorizar densidades e riscos para a gestão de multidões.
(Giachini et al., 2010)	O estudo realizado no estádio de futebol <i>Scott Stadium</i> na Universidade de Virgínia tem como principal foco fornecer melhorias específicas que podem ser implementadas para minimizar os riscos e melhorar o processo de evacuação, permitindo ser uma base para simular e analisar a evacuação nos estádios no restante país. O <i>software</i> utilizado para a realização das simulações foi <i>Legion</i> . Através dos resultados verificou-se que 50% da população foi evacuada em 6 minutos e 95% da população evacuou em 15 minutos.
(Ren et al., 2007)	O projeto realizado num ginásio que vai servir de competição nos Jogos Olímpicos de Pequim 2008 tem como objetivo avaliar a segurança da utilização do espaço. Para isso, foram utilizados os <i>softwares</i> de FDS (<i>Fire Dynamics Simulator</i>) e ANSYS. A partir dos resultados verifica-se que é possível desenvolver um sistema integrado de avaliação de segurança baseado na simulação de incêndio e de análise estrutural.
(Wei et al., 2009)	O caso de estudo realizado numa instalação de badminton nos jogos olímpicos de Pequim tem como objetivo a simulação de comportamentos das pessoas durante os Jogos Olímpicos de Pequim 2008 com recurso ao <i>Software</i> de simulação LEGION. Através dos resultados obtidos verificou-se que a duração do horário de pico diminuiu, o nível de serviço aumentou na área das saídas e alguns potenciais problemas de segurança foram evitados.
(Kirik, Dekterev, et al., 2018)	O projeto realizado num estádio de gelo na Rússia tem como intuito mostrar como a simulação de evacuação em caso de incêndio pode ser aplicada para a verificação da segurança nos estádios. Os diversos cenários foram realizados no <i>software Sigma FS</i> . Através dos resultados, é possível verificar que a solução de ordenamento do primeiro andar e tribunas como foram projetadas não oferece condições de segurança durante uma evacuação. A decisão adequada da situação pode ser testada com a simulação.

Através da análise da Tabela 2 é possível concluir a importância que a simulação computacional tem no que diz respeito à segurança e à evacuação de pessoas em situações perigosas.

2.4. Evacuação: Conceito e Fatores

Segundo (Governo Portugal, 2020), evacuação consiste numa deslocação de pessoas disciplinada, segura e atempada que se encontram dentro de um edifício para uma zona de segurança, no caso de ocorrência de um incêndio ou de outros tipos de acidente.

A evacuação encontra-se dividida em três fases: a consciência do perigo por estímulos externos, a validação e a resposta aos indicadores de perigo, e o deslocamento para um local seguro (Kobes, Helsloot, De Vries, et al., 2010).

A evacuação de pessoas em situações que oferecem risco de vida aos intervenientes merece uma maior atenção devido às consequências das mesmas poderem ser fatais (Cordeiro & Marchetto, 2016).

Segundo (Pinto et al., 2008), é nos percursos nas escadas que ocorrem os maiores problemas, tais como a queda de pessoas e a aglomeração das mesmas devido à diminuição da velocidade de deslocação.

Nos edifícios com maior altura, aumenta-se a dificuldade em organizar um plano de evacuação na medida em que se deve controlar a sequência e os meios de evacuação para cada piso do mesmo, para que o processo de evacuação continue ordenado e eficiente (Hongqiang Fang et al., 2021).

Em situações de pânico, apesar de não ser uma opção segura, as pessoas reagem de uma forma inesperada e tentam encontrar o mais rápido possível a saída (Rendón Rozo et al., 2019).

No decorrer de uma evacuação ocorre o aumento do stress físico e psicológico dos intervenientes não treinados, reduzindo a sua consciência e aumentando a desorientação, no entanto, pessoas treinadas como os bombeiros conseguem tomar melhores decisões através da perceção, comunicação e conhecimento desse tipo de situações (Pelechano & Badler, 2006).

Efetivamente, existem vários fatores que podem condicionar uma correta evacuação das pessoas: características humanas; características do fogo e características do edifício (Kobes, Helsloot, de Vries, et al., 2010).

As características do corpo humano, como a largura média ou a profundidade dos ombros, são fatores essenciais para o cálculo de rotas de fuga em edifícios, influenciando a velocidade média de movimento por exemplo (Hofinger et al., 2014).

Os fatores humanos devem ser considerados na medida em que refletem o tempo necessário para que as pessoas reconheçam o alarme e também analisa o tempo em que as pessoas demoram para iniciar uma evacuação (Meacham, 1999).

Segundo (Kuligowski & Hoskins, 2011), pessoas mais velhas e com deficiência necessitarão de um maior tempo de pré-evacuação do que pessoas com uma maior experiência e com uma maior perceção do risco.

A questão da mobilidade reduzida é uma condição na qual se deve ter conta, uma vez que, essas pessoas se deslocarão com uma velocidade menor. A velocidade também será afetada por fatores como a idade, o gênero e o nível de condição física dos intervenientes (Hassanain, 2009).

Segundo (Mu et al., 2013), na ocorrência de incêndios, pessoas com deficiência tendem a necessitar de um maior tempo de reação à evacuação e fatores como a alta temperatura, a densidade do fumo, o barulho e o gás tóxico proveniente do fogo terá um impacto negativo na fisiologia e a psicologia das pessoas.

A existência de um conjunto de sinalizações permite facilitar a evacuação em grandes edifícios, permitindo uma melhor capacidade de resposta devido aos sinais de orientação, de advertência e de mensagem aos ocupantes do edifício (Zhou et al., 2019).

2.5. Tempos de Evacuação

O tempo total de evacuação é o tempo desde o começo da evacuação até à saída da última pessoa do edifício (Yi Li et al., 2021).

O tempo total de evacuação pode ser dividido em tempo de pré-evacuação e tempo de viagem, sendo o primeiro o intervalo entre o momento em que um sinal de alarme ou aviso é acionado e o primeiro momento de evacuação é realizado (Lovreglio et al., 2019).

O comportamento e o tempo de pré-evacuação são aspetos chave para o processo de evacuação de pessoas, sendo o último dividido em 3 fases: fase do pré-alarme; fase de procura de informação e a fase de resposta. A decisão de iniciar a evacuação é o ponto de transição da etapa pré-evacuação para evacuação (Bourhim & Cherkaoui, 2020).

O tempo de pré-evacuação está relacionado com características pessoais, psicológicas e experiência em desastre das pessoas (Chen et al., 2019). Salienta-se também a relação entre os tipos de avisos, a complexidade do edifício e a estratégia da gestão de segurança contra incêndio do local a evacuar (G. Chu et al., 2006). Este tempo pode ser também influenciado por fatores ambientais no que diz respeito ao tipo e modo de informação durante o acontecimento.

Através da Tabela 3, é possível ter em conta várias estimativas de tempo de pré-movimentação de outras fontes literárias (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009).

Tabela 3 - Tempos de pré-movimentação em diferentes tipos de espaço (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)

Tipo de Espaço	Descrição dos ocupantes	W1 (min)	W2 (min)	W3 (min)
Escritórios, escolas de todo o nível de ensino	- Acordados; - Têm o conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<1	3	>4
Lojas, museus e recintos desportivos	- Acordados; - Podem não ter o conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	3	>6
Dormitórios, edifícios residenciais	- Podem estar a dormir; - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	4	>5
Hotéis e pensões	- Podem estar a dormir; - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	4	>6
Hospital, lar de idosos e outras instituições	- Maioria dos ocupantes precisa de assistência	<3	5	>8
Legenda W1: sistema de comunicação de voz de uma sala de controlo ou diretivas ao vivo com funcionários bem treinados ouvidos por todos os ocupantes do espaço. W2: mensagens de voz pré-gravada com pessoal treinado. W3: sistema de alerta com alarme de incêndio e equipa sem treino.				

O tempo necessário para uma saída segura (RSET) e o tempo disponível para uma saída segura (ASET) são dois conceitos recentes na área da evacuação. Para uma evacuação segura, o ASET deverá ser maior que o RSET (Mirahadi & McCabe, 2021).

ASET é o intervalo de tempo entre o início de um incêndio até a um determinado ponto em que as condições do edifício não permitem a continuação da evacuação das pessoas. RSET é o tempo necessário para a evacuação das pessoas para uma determinada zona segura após a ocorrência de um incêndio (Wang et al., 2021).

2.6. Evacuação de Recintos Desportivos – Legislação

Através da Lei n.º 39/2009, de 30 de julho, no artigo 7, deverá existir uma definição de um plano de evacuação de pessoas nos regulamentos de segurança e de utilização dos espaços de acesso público (Assembleia da República, 2019).

De acordo com o Artigo 205.º Plano de Emergência Interno da Portaria N.º 1532/2008 o plano de emergência interno de um edifício ou recinto deve ser a sistematização da evacuação enquadrada dos intervenientes que se encontrem em risco (ANPC, 2013).

De acordo com o Artigo 13.º relativo às forças de segurança, a decisão de evacuação, total ou parcial, cabe ao comandante da força de segurança presente no local (Assembleia da República, 2019).

Pelo Artigo 3º da Portaria nº1522-B/2002 de 20 de dezembro, os assistentes do recinto desportivo desempenham diversas funções, uma delas a orientação dos espetadores em todas as situações de emergência, essencialmente as que impliquem a evacuação do recinto (Diário da República, 2021).

Pelo Artigo 11.º da Secção II “Procedimentos preventivos e de segurança nos jogos de risco elevado”, o promotor do espetáculo desportivo deve proceder à instalação de setores “zonas tampão” que possibilitam a separação física dos espetadores levando a uma rápida e eficaz evacuação do recinto desportivo (Federação Portuguesa de Futebol, 2015).

Pelo Artigo 23.º “Condições de permanência dos espetadores no recinto desportivo” da Secção IV, os espetadores não podem obstruir as vias de acesso e de evacuação, especialmente as vias de emergência (Federação Portuguesa de Futebol, 2015).

Pelo Artigo 6.º do Capítulo II do Decreto Regulamentar 10/2001 para as Condições Técnicas e de Segurança dos Estádios, as vias de acesso devem possibilitar o estacionamento das viaturas de socorro a uma distância inferior ou igual a 30 metros de qualquer saída do estádio que esteja incluído no percurso de evacuação (Ministério da Juventude e do Desporto, 2001).

2.7. Softwares de apoio à evacuação

Nos tempos de hoje, com o aumento do poder computacional, vários países realizam avaliação de segurança acerca da evacuação de pessoas utilizando *softwares* de simulação (Lin et al., 2015).

Os *softwares* são ferramentas que são utilizadas para calcular o tempo necessário para evacuar um determinado edifício (Berticelli et al., 2018).

Segundo (H. Chu et al., 2019) existem principalmente dois tipos de *software* de simulação de evacuação: *software* de simulação de evacuação comercial como *PathFinder*, *STEPS* e *software* de simulação de evacuação de código aberto como *Repast*, *NetLogo* e *Swarm*.

Segundo (Xiao et al., 2022), vários *softwares* de simulação de evacuação como *PathFinder*, *FDS+EVAC*, *Building Exodus*, *STEPS*, *Simulex* são muitas vezes utilizados em áreas de aplicação específicas como podemos observar na Tabela 4.

Tabela 4 - *Softwares e as suas áreas de aplicação* (Xiao et al., 2022)

<i>Software</i>	Áreas de aplicação
<i>Exodus</i>	- Aeroportos, estações e edifícios com grande quantidade de pessoas
<i>FDS+Evac</i>	- Fábricas de trabalho; estádios e outros locais públicos
<i>PathFinder</i>	- Adequado para grandes edifícios
<i>Simulex</i>	- Edifícios geométricos grandes e complexos com vários pisos e escadas
<i>STEPS</i>	- Vários tipos de construção e veículos

Segundo (Berticelli et al., 2018), o *FDS* (*Fire Dynamics Simulator*), desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) é dos *softwares* mais utilizados para simular um caso de incêndio através do computador devido à sua boa precisão.

Através da criação de modelos 3D de edifícios e o cálculo automático da distância percorrida, o *Simulex* permite definir os ocupantes de um dado edifício possibilitando a simulação do movimento das pessoas em caso de evacuação de edifícios mais complexos (Žydek et al., 2021).

Devido à elevada variedade de *softwares* de evacuação existente, os utilizadores devem escolher a ferramenta mais adequada para o seu projeto. A simulação de um determinado cenário usando *softwares* distintos poderá levar a resultados diferentes (Siyam et al., 2020).

2.7.1. *PathFinder*

PathFinder foi desenvolvido pela *American Thunderhead Engineering Company* com o objetivo de realizar simulação, baseando-se na movimentação de pessoas que entram e saem. (Zhao & Song, 2016)

PathFinder é um *software* de simulação baseado em agentes que permite a simulação de movimento visual dentro de vários grupos de movimento e de indivíduos independentes dentro do mesmo grupo (H. Zhang & Long, 2021).

Este *software* é definido um comportamento a cada ocupante determinando, assim, o objetivo do mesmo durante a simulação. Um exemplo de objetivo poderá ser chegar a uma determinada saída (Grigora, 2014).

Com este *software* é possível simular o comportamento humano na evacuação através de objetos como salas, pisos, escadas, portas, elevadores, entre outros (R. Jevtić, 2021).

O *PathFinder* oferece três visualizações principais para trabalhar em modelos de evacuação (Thunderhead Engineering, 2020):

- Visualização de navegação: é possível encontrar uma lista de todos os objetos no modelo num formato hierárquico. É usado para a localização e a modificação de objetos por nome;
- Visualização 3D: é exibido uma representação 3D do modelo atual que pode ser explorado e modificado com várias ferramentas;
- Visualização 2D: muito semelhante à visualização 3D, mas fornece uma grade de encaixe adicional e uma vista ortográfica do modelo.

O *software* suporta dois tipos de simulação de movimento (Yan Li et al., 2019) (Szilagyi, 2013):

- *SFPE (Society of Fire Protection Engineers)*: Os participantes não tentam evitar uns aos outros, não havendo congestionamento. No entanto, as portas influenciam o caminho e a velocidade é afetada pelo tamanho do grupo de participantes que saem.
- *Steering Mode (Modo de Direção)*: O sistema pode ser manipulado para manter a população a uma distância razoável. Neste modo de simulação, o *PathFinder* coordena o movimento das pessoas através da combinação do caminho, navegação e colisão das mesmas.

O *PathFinder* é um *software* de avaliação de evacuação simples de usar e de aplicar e ainda possui mais algumas vantagens (Xiao et al., 2022):

- Modelo com velocidade de cálculo rápido e consegue a avaliação e análise de grandes edifícios;
- Permite a importação de arquivos de modelagem;
- Considera de uma forma abrangente os parâmetros que afetam a evacuação das pessoas;
- Calcula com precisão a situação de evacuação num cenário específico.

Este *software* permite ainda a possibilidade de importar arquivos criados em CAD (*Computer Aided Design*), FDS (*Fire Dynamics Simulator*) e *PyroSim* que poderão permitir economizar significativamente o tempo necessário para concluir toda o projeto da evacuação. Salienta-se ainda que a geometria importada resulta numa representação gráfica limpa e rápida dos dados (R. B. Jevtić, 2016).

3. ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM ESTÁDIO DE FUTEBOL

3.1. Estádio do Dragão

Efetivamente, como foi mencionado anteriormente, o objetivo deste trabalho prende-se com a análise de diferentes estratégias de evacuação num estádio de futebol, usando simulação computacional através do *software PathFinder*. Assim, o estádio de futebol em análise foi o Estádio do Dragão, na cidade do Porto, em Portugal, com o endereço de Via Futebol Clube do Porto, 4350-415. Na Figura 2 podemos observar a localização do Estádio no *Google Maps*.

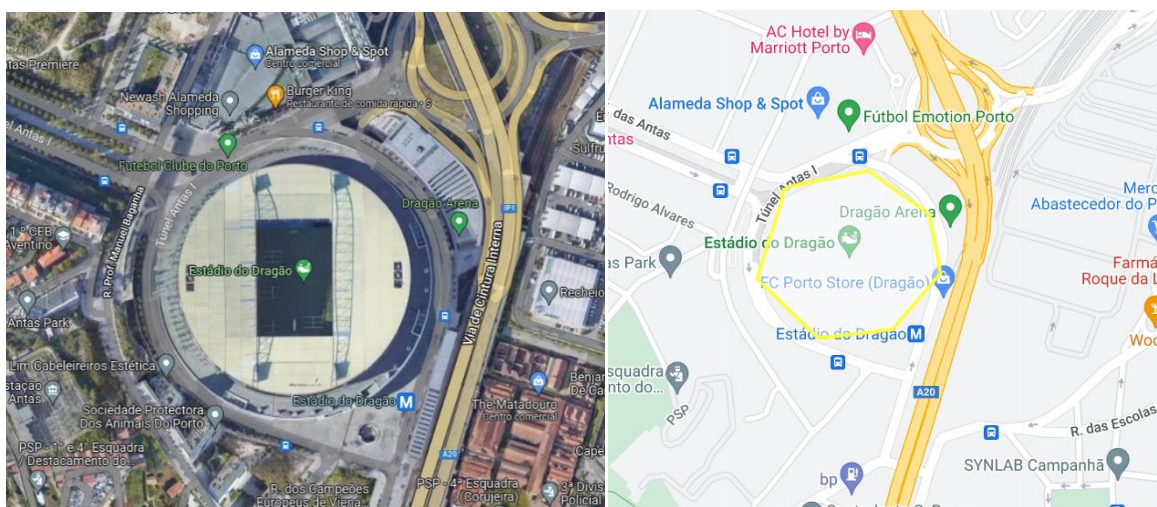


Figura 2 - Vista e Localização do Estádio do Dragão (Google Maps, 2022)

Este estádio foi inaugurado a 16 de novembro de 2003 e é considerado como um ponto de referência tanto a nível desportivo como cultura da cidade do Porto. A realização do Euro 2004 possibilitou a mudança do antigo estádio (Estádio das Antas) para o atual, tendo sido uma obra do arquiteto Manuel Salgado (*FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão*, n.d.-a).

O recinto desportivo tem capacidade para 50033 espetadores, tendo sido já palco de diversos concertos como os *Coldplay*, *Muse* e *Rolling Stones* (*FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão*, n.d.-a).

Na Figura 3 é possível observar a planta do Estádio do Dragão.



Figura 3 - Planta Estádio do Dragão (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.-b)

3.2. Configuração Estádio do Dragão

O Estádio do Dragão é constituído por 9 pisos, desde o piso -3 até ao piso 5:

- Piso -3: constituído, maioritariamente, por lugares de estacionamento, vestiários, controlo de estacionamento, balneários, sala de media, acesso à clínica do Dragão e ainda vários armazéns.
- Piso -2: constituído por lugares de estacionamento público com dois acessos aos pisos.
- Piso -1: constituído por lugares de estacionamento público e galerias de acesso às bancadas: Galeria Inferior Nascente, Galeria Inferior Norte, Galeria Visitantes, Galeria Inferior Poente e Galeria Inferior Sul.
- Piso 0: composto pelas entradas para os diversos setores do estádio.
- Piso 1: engloba os camarotes, a cozinha, restaurante e bares.
- Piso 2: engloba as galerias de acesso às bancadas superiores: Galeria Superior Nascente e a Galeria Superior Poente.
- Piso 3: constituído por vários escritórios.
- Piso 4: engloba as áreas técnicas nascente e poente.
- Piso 5: constituído pela plataforma superior do estádio.

Na Tabela 5 pode ser observado o número de ocupantes em cada zona do Estádio do Dragão.

Tabela 5 - Número de ocupantes Estádio do Dragão por setor

Setor	Lotação	Setor	Lotação	Setor	Lotação	Setor	Lotação	Setor	Lotação
01	813	11	969	21	1019	31	1218	41	578
02	862	12	953	22	953	32	862	42	582
03	1219	13	1013	23	969	33	580	43	639
04	1293	14	1295	24	1111	34	638	44	815
05	1009	15	1245	25	1111	35	815	45	813
06	946	16	952	26	1111	36	815	46	811
07	970	17	963	27	975	37	MEDIA*	47	811
08	1111	18	952	28	957	38	816	48	809
09	1111	19	1246	29	1011	39	815	49	554
10	1111	20	1286	30	1284	40	638	50	485
Family Box Nascente				84	Family Box Poente				176
Mobilidade Reduzida (Norte)				68	Mobilidade Reduzida (Sul)				68
Box Nascente				174	Tribuna Nascente				1030
Tribuna VIP				1150	Camarotes (total)				1369

É importante salientar que a zona dos adeptos visitantes está compreendido entre o setor 47 e o setor 50 e a zona da principal claque do FCP encontra-se no setor 08 e 09.

Na Tabela 6 é possível analisar o número de lotação máxima de adeptos em cada bancada do estádio, que servirá de base à realização dos diversos cenários.

Tabela 6 - Lotação máxima em cada bancada

Bancada	Lotação
Bancada Superior Norte + Mobilidade Reduzida	7255
Bancada Superior Sul + Mobilidade Reduzida	7239
Central + Lateral Poente	9571
Central + Lateral Nascente	9971
Arquibancada Poente	5695
Arquibancada Nascente	6319
Zona Visitante	2659
Zona Claque Principal	2222

3.2.1. Piso -3

A planta do Piso -3 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 4.

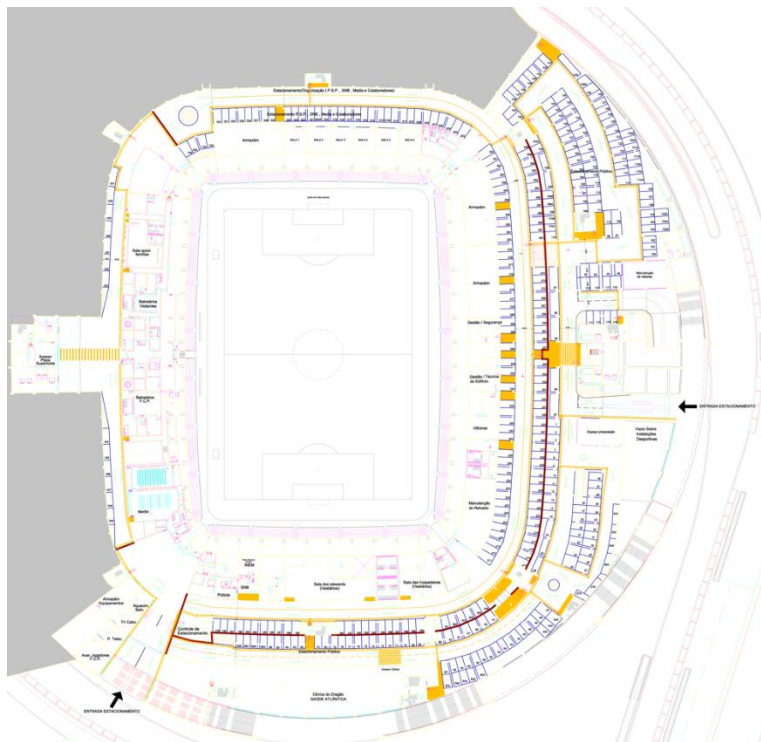


Figura 4 - Planta Piso -3

O piso -3 é constituído por anel interior e anel exterior. No anel interior existem 13 lugares de estacionamento para jogadores no setor poente, acrescentando mais 156 lugares de estacionamento no setor norte/nascente/sul para P.S.P (Polícia de Segurança Pública), SNB (Serviço Nacional de Bombeiros), Media e Colaboradores. No anel exterior é constituído por 201 lugares de estacionamento público. O piso possui ainda dois acessos aos pisos superiores através de um conjunto de escadas ou por 10 elevadores.

Este piso ainda permite ter um acesso à Clínica do Dragão Saúde Atlântica e possui duas entradas de estacionamento.

3.2.2. Piso -2

A planta do Piso -2 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 5.

O piso -1 possui 169 lugares de estacionamento nos setores norte, nascente e sul e ainda possui dois acessos aos pisos adjacentes, através de escadas ou por 11 elevadores. Este piso ainda é constituído por bares de venda ao público. Salienta-se a existência das galerias que permitem a entrada e saída das bancadas para o exterior do estádio (galeria inferior sul, galeria inferior nascente, galeria inferior poente, galeria inferior norte e galeria visitantes). Existem ainda diversos WC's ao longo do piso.

As Figuras 7 e 8 mostram as galerias inferiores das bancadas Superior Norte e Central Poente, respetivamente.

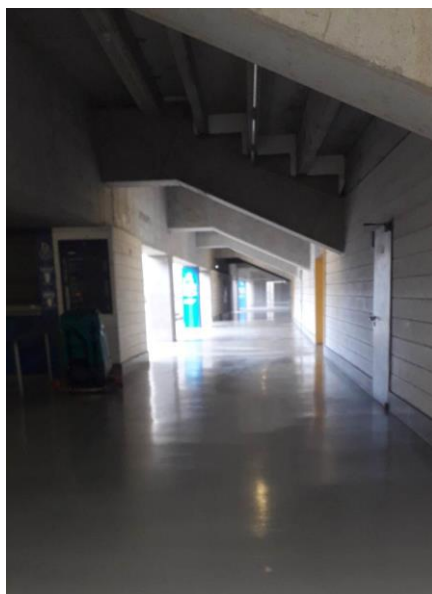


Figura 7 - Galeria Inferior - Bancada Superior Norte

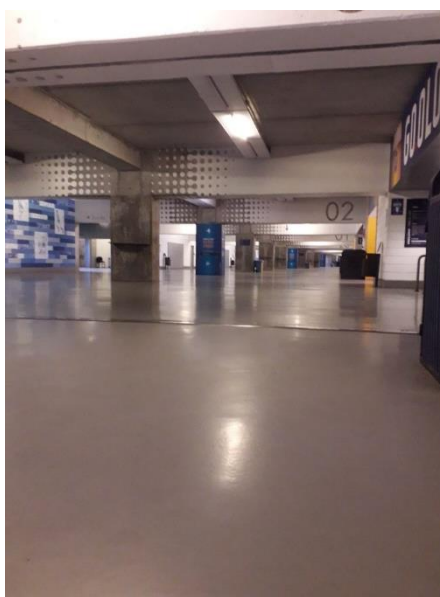


Figura 8 - Galeria Inferior - Bancada Central Poente

3.2.4. Piso 0

A planta do Piso 0 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 9.

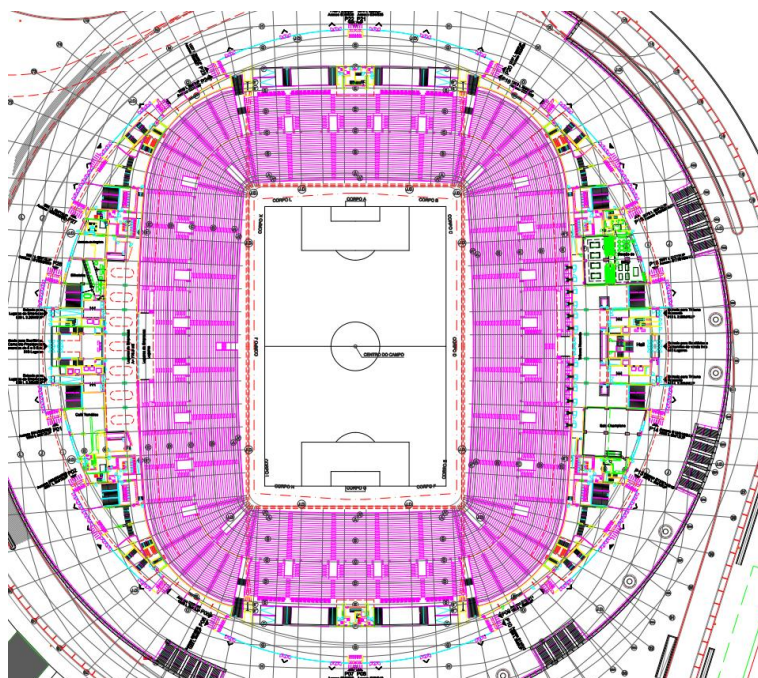


Figura 9 - Planta Piso 0

O piso 0 abrange toda a praça existente à volta do Estádio do Dragão bem como todas as entradas: para lugares de empresas, para escritórios, camarotes, bilheteira e secção de bilhar. Salienta-se ainda, a tribuna nascente e a sua entrada, bem como a sala *Champions*. Existem ainda 28 entradas para ingresso de adeptos às bancadas. O acesso aos pisos adjacentes pode ser realizado através de escadas ou por elevador. O acesso para pessoas com mobilidade reduzida também se encontra neste piso.

A Figura 10 mostra a acessibilidade a pessoas com mobilidade reduzida. A Figura 11 expõe um exemplo de uma porta de saída de adeptos para o exterior do Estádio do Dragão.

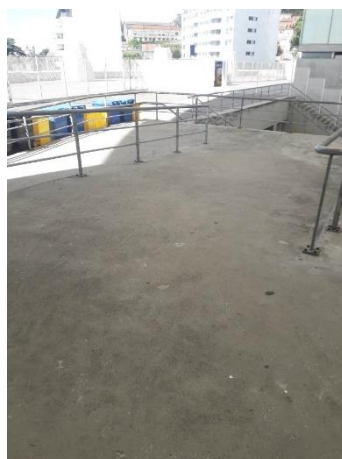


Figura 10 - Acesso a pessoas com mobilidade reduzida

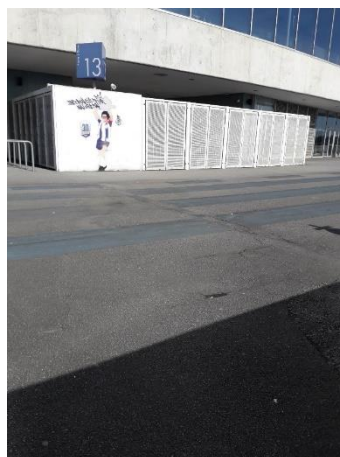


Figura 11 - Exemplo de uma saída para o exterior do Estádio

3.2.5. Piso 1

A planta do Piso 1 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 12.

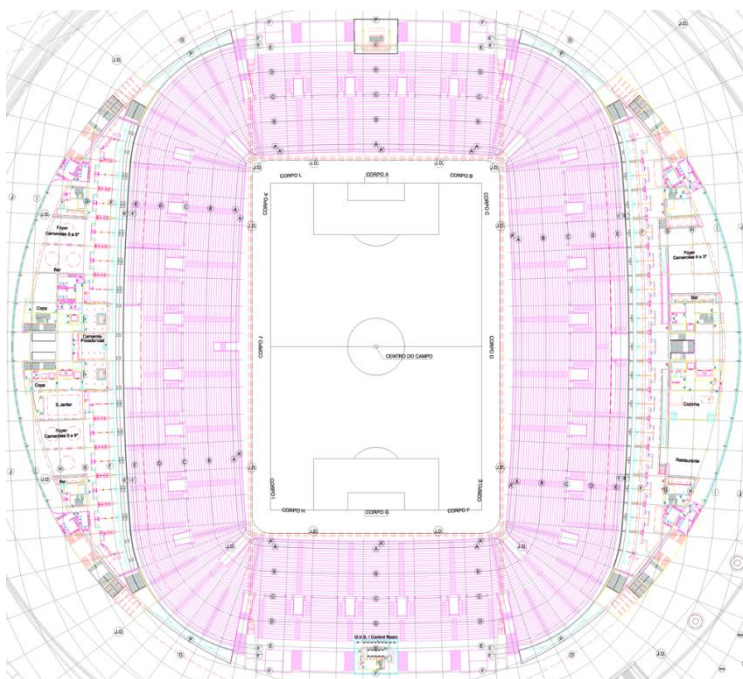


Figura 12 - Planta Piso 1

O piso 1 é constituído, maioritariamente, pelos camarotes, tanto o presidencial como os camarotes 3,4,5 e 6*. Salienta-se ainda a existência da sala de controlo neste piso. O acesso aos pisos adjacentes pode ser realizado através de escadas ou por elevador.

3.2.6. Piso 2

A planta do Piso 2 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 13.

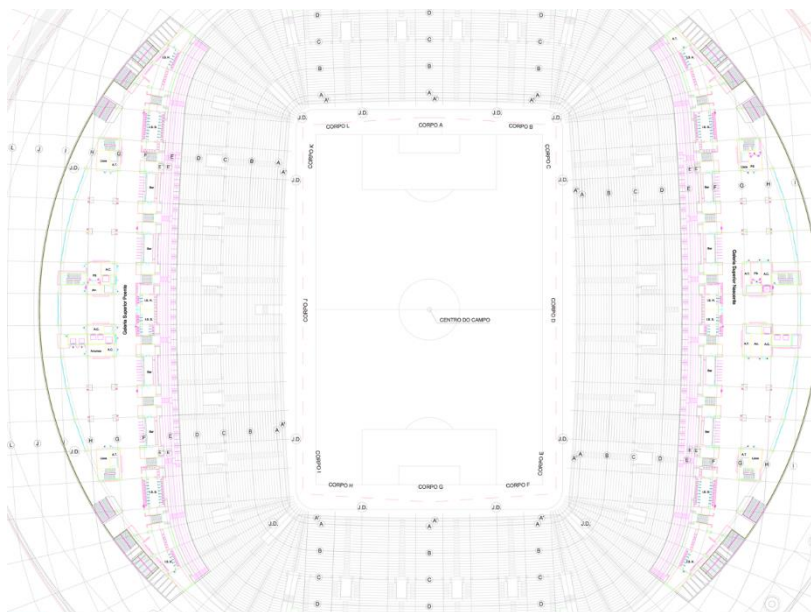


Figura 13 - Planta Piso 2

O piso 2 é constituído pelas duas galerias: galeria superior nascente e poente. Estas galerias permitem a entrada e saída dos adeptos das bancadas superior nascente e poente. O acesso aos pisos adjacentes pode ser efetuado através das escadas ou por elevadores. Este piso ainda é constituído por bares de venda ao público e ainda diversos WC's.

3.2.7. Piso 3

A planta do Piso 3 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 14.

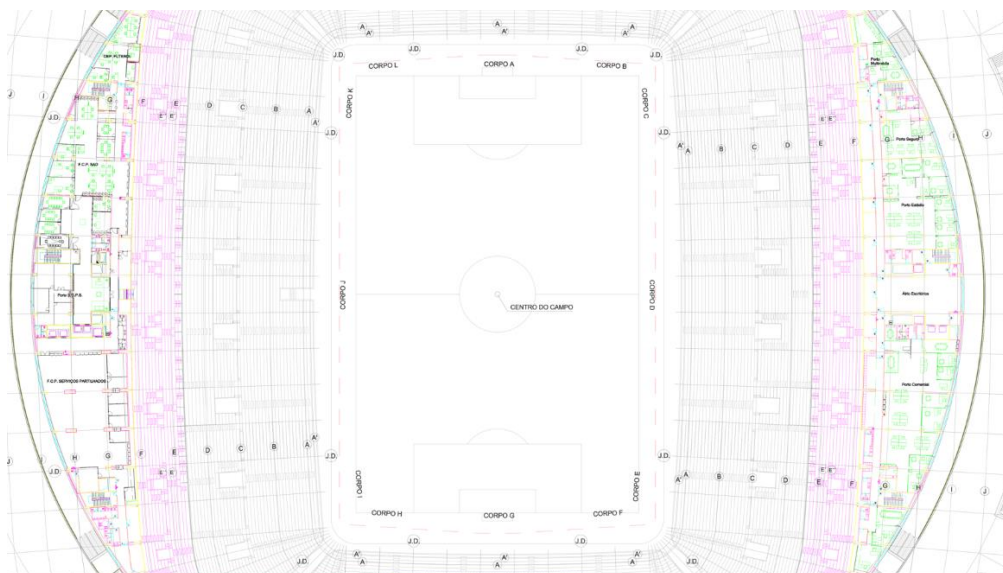
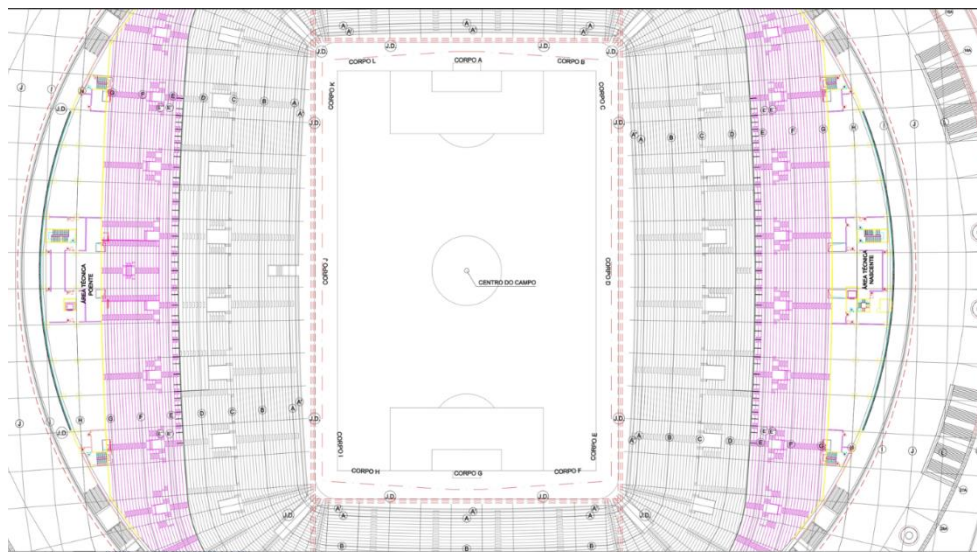


Figura 14 - Planta Piso 3

O piso 3 é constituído pelos diversos escritórios relacionados com o Futebol Clube do Porto: *Porto Multimédia*, *Porto Seguro*, *Porto Estádio*, *Porto Comercial*, *F.C.P. SAD* e *F.C.P. Serviços Partilhados*.

3.2.8. Piso 4

A planta do Piso 4 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 15.



O piso 4 é constituído pelas áreas técnicas poente e nascente. O acesso a este piso através dos pisos adjacentes é realizado por escadas ou por elevador.

3.2.9. Piso 5

A planta do Piso 5 do Estádio do Dragão pode ser analisada na Figura 16.

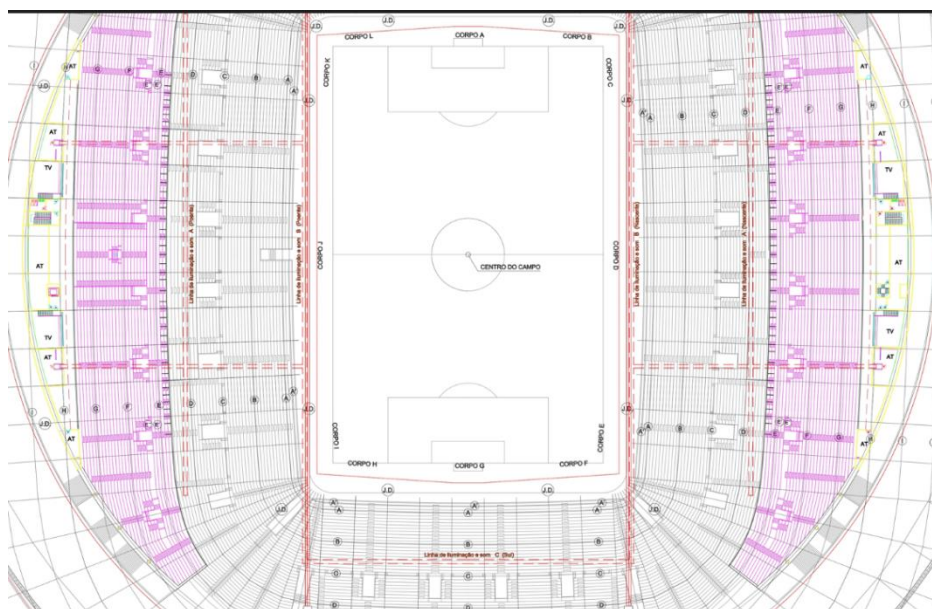


Figura 16 - Planta Piso 5

A plataforma superior do estádio encontra-se localizada neste piso. Ainda neste piso, é possível encontrar a linha de iluminação e de som do estádio em todos os seus setores.

3.3. Estudo da Simulação

3.3.1. Modelo Computacional

O modelo de simulação do Estádio do Dragão foi realizado através do *software* *PathFinder*, já abordado anteriormente. Inicialmente, foi necessário realizar medições e analisar detalhadamente as plantas fornecidas, pelo Diretor de Segurança, do Estádio do Dragão. Na Figura 17 é possível observar a interface inicial do *software* utilizado.

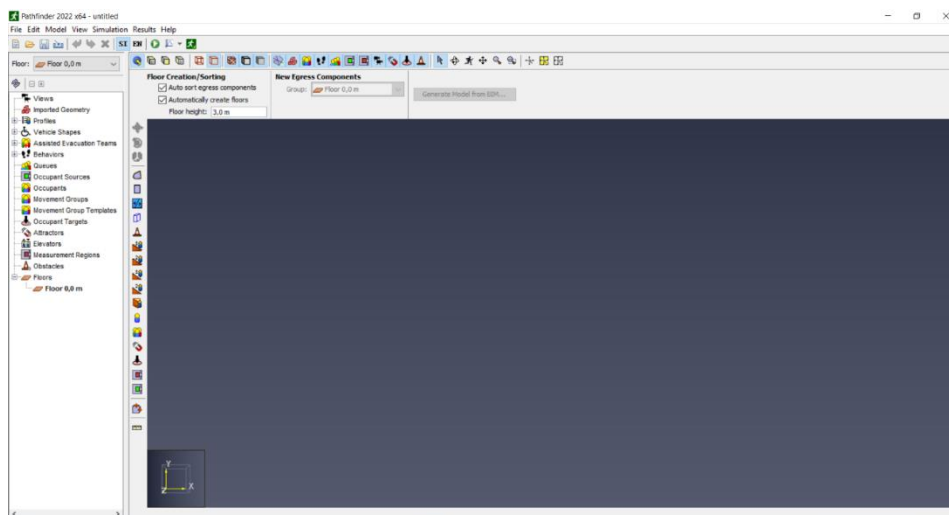


Figura 17 - Interface PathFinder

De seguida, foi necessário utilizar uma funcionalidade do *software* que permite importar plantas como modo de ajudar na elaboração de cada piso, através do caminho “Model” - >”Add a Background Image..” (Figura 18).

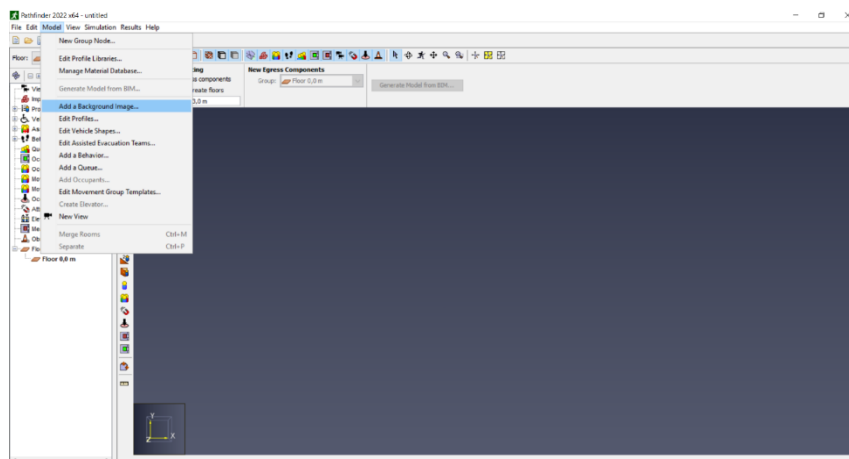


Figura 18 - Importar plantas de cada piso

A partir da planta já importada para o *PathFinder*, é possível através da funcionalidade “Add a polygonal room” ou “Add rectangular room” criar as divisões de cada piso. Na Figura 19, pode ser analisado um exemplo desta funcionalidade.

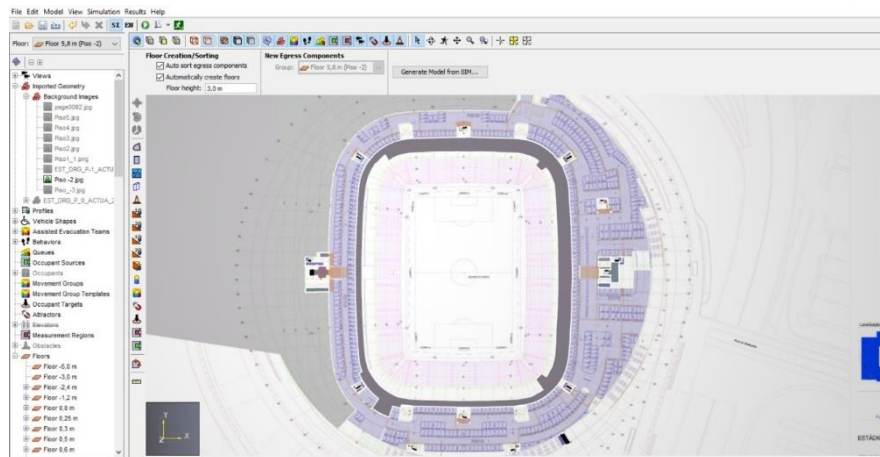


Figura 19 - Desenho da planta Piso -2

Com esta funcionalidade, foi ainda possível elaborar todas as bancadas referentes ao Estádio do Dragão (Figura 20).

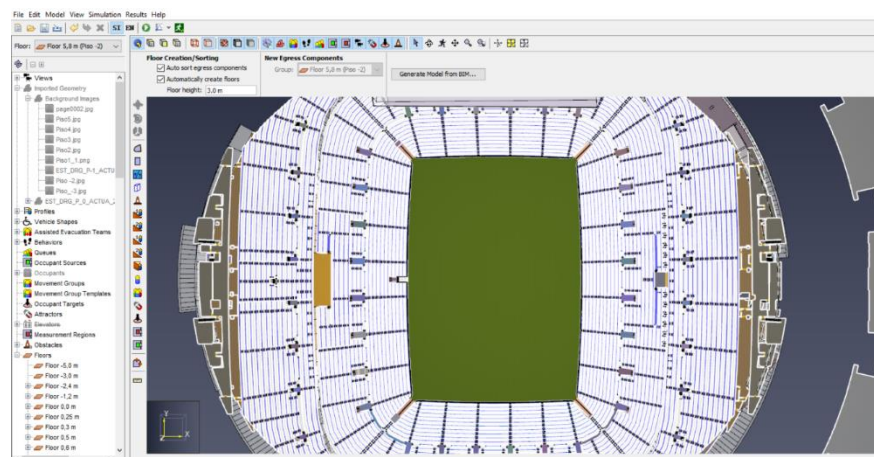


Figura 20 - Bancadas Estádio do Dragão

Para os pisos ficarem completos, foram acrescentadas as portas, que podem ser consideradas portas de saída ou, simplesmente, portas, dependendo do local de inserção das mesmas. Para isso, utilizou-se a funcionalidade “Add a new door”. Na Figura 21 e na Figura 22 é possível observar um exemplo de uma porta e de uma porta de saída, respetivamente.



Figura 21 - Representação de uma porta numa divisão (a laranja)

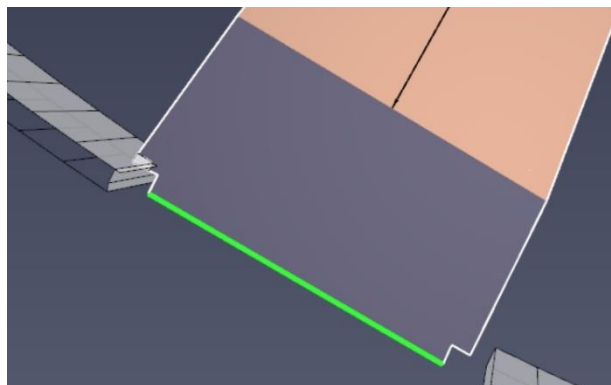


Figura 22 - Representação de uma porta de saída

Como acesso aos pisos subjacentes, foram criadas escadas, rampas e/ou elevadores. De seguida, é possível observar como foi acrescentada uma escada ao modelo. Na Figura 23, é possível analisar um exemplo do processo de criação de uma rampa.

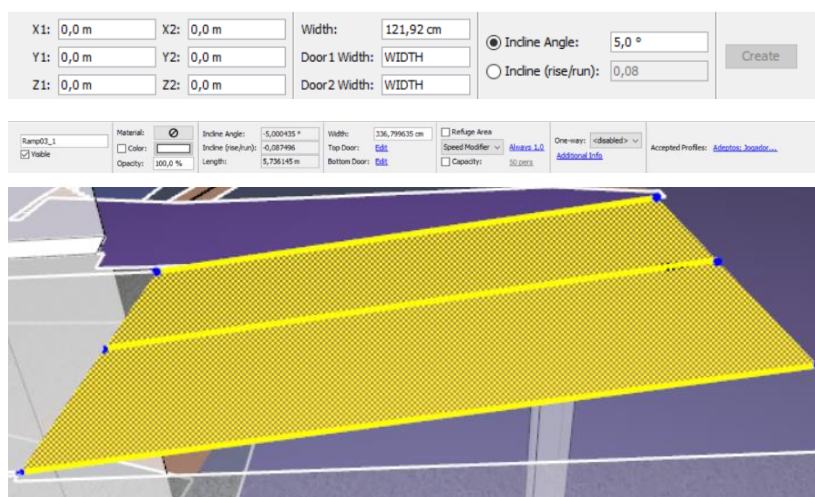


Figura 23 - Etapas de acrescentar rampa

Na Figura 24, é possível analisar um exemplo do processo de criação de uma escada.

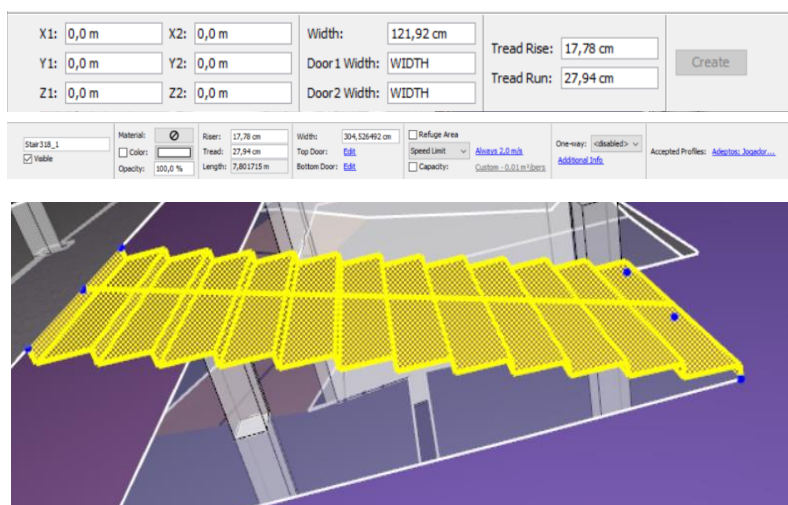


Figura 24 – Etapas de acrescentar escada

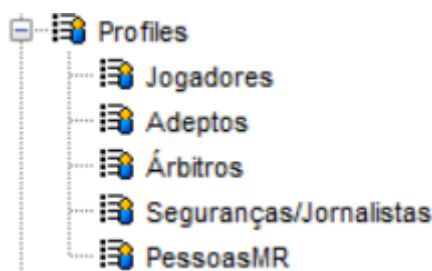


Figura 27 - Perfis criados

Seguidamente, foi necessário adicionar os diversos ocupantes, no interior do Estádio do Dragão. Na Figura 28, é possível averiguar os diferentes ocupantes criados. Salienta-se que “PessoasC_1” e “PessoasC” representam as pessoas com mobilidade reduzida, em cada lado da bancada específica para as mesmas.



Figura 28 - Ocupantes criados

Ainda foi necessário configurar corretamente os ocupantes. As pessoas com mobilidade reduzida foram representados como um polígono, com um formato de “Default Wheelchair”, enquanto os restantes adeptos foram representados como cilindro. Na Figura 29, é possível analisar o modo de configurar os ocupantes no *PathFinder*.

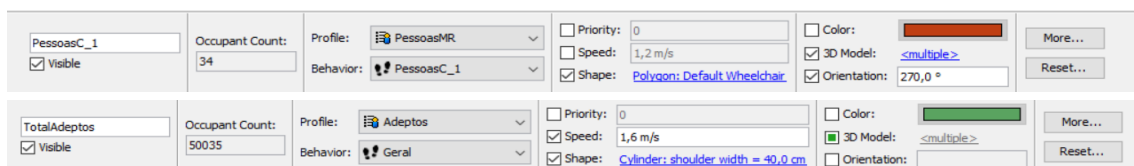


Figura 29 - Configuração ocupantes

Para a evacuação ocorrer corretamente, foi necessário criar comportamentos de saída para os todos os intervenientes do Estádio do Dragão (Figura 30).

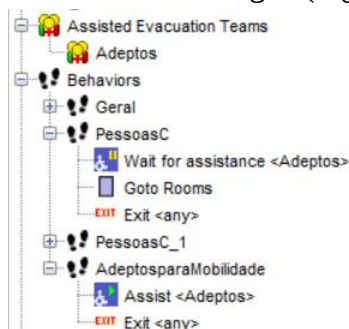


Figura 30 - Comportamentos criados

Na Figura 31, é possível observar que existem várias possibilidades de configuração dos comportamentos dos ocupantes, dependendo do objetivo e do local de refúgio dos mesmos.

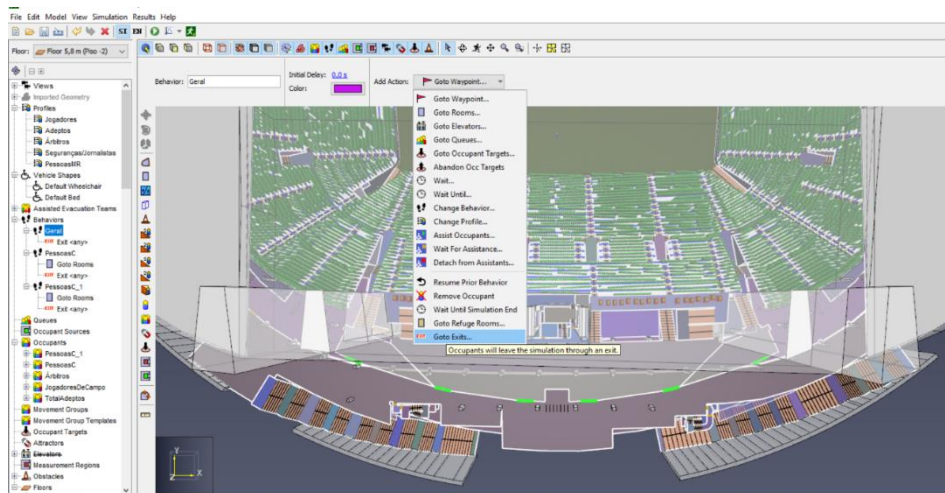


Figura 31 - Configuração dos comportamentos

Para que depois fosse possível analisar a evacuação do Estádio do Dragão mais detalhadamente, foram criadas vistas com diferentes perspetivas. Nas Figuras 32 e 33, é possível observar dois exemplos de vistas criadas.

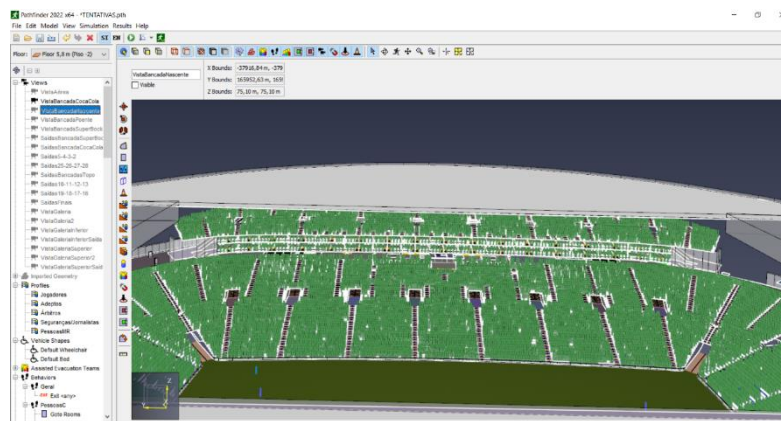


Figura 32 - Vista Bancada Nascente

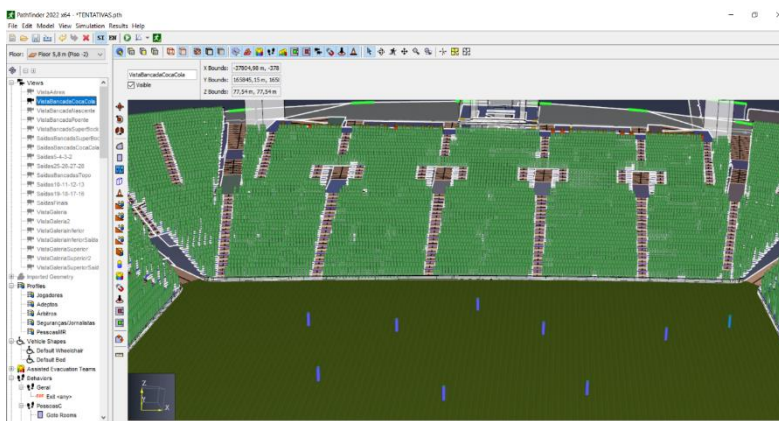


Figura 33 - Vista Bancada Coca-Cola

Por fim, na Figura 34, encontra-se o modelo de simulação do Estádio do Dragão.

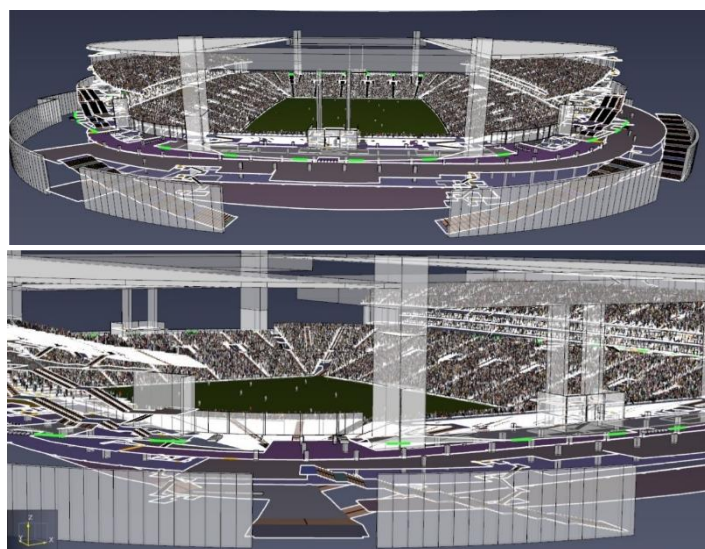


Figura 34 - Modelo de Simulação Estádio do Dragão

3.3.2. Validação do Modelo de Simulação

De modo a validar o modelo de simulação no *PathFinder*, abordado anteriormente, foram medidos os tempos de evacuação numa situação real, para que fosse possível comparar com os tempos obtidos do modelo realizado. Estas medições representam o tempo que uma pessoa demora, numa situação real, num determinado ponto do estádio até à saída mais próxima. Foram realizadas 29 medições em diversos pontos do Estádio do Dragão e, na Figura 35 é possível analisar todas as localizações iniciais dessas medições. De seguida, será calculado o erro percentual entre a simulação computacional e a simulação real.



Figura 35 - Localização inicial - Validação

Salienta-se que, nestas medições, a pessoa tentou manter uma velocidade constante e adequada para um processo de evacuação.

Na Tabela 7 podem ser analisados os dois tempos, bem como o erro percentual de cada um deles.

Tabela 7 - Simulação Real vs Simulação Computacional

Localização Inicial			Simulação Real (s)	Simulação computacional (PathFinder) (s)	Erro Percentual (%)
Bancada Coca-Cola (Superior Norte)	1	Setor 23 – Fila 1	52,4	50,8	3,05
	2	Setor 27 – Fila 1	50,7	50,6	0,20
	3	Setor 23 – Fila 40	37,79	37,1	1,83
	4	Setor 27 – Fila 40	37,1	36,8	0,81
	5	Setor 25 – Fila 1	59,1	58,1	1,69
Bancada Super Bock	6	Setor 7 – Fila 1	51,3	50,1	2,34
	7	Setor 11 – Fila 1	53,4	50,6	5,24
	8	Setor 7 – Fila 40	36,5	37,0	1,37
	9	Setor 11 – Fila 40	35,3	36,7	3,97
	10	Setor 9 – Fila 1	60,1	58,4	2,83
Bancada Central Poente	11	Setor 31 – Fila 1	72,5	70,6	2,62
	12	Setor 31 – Fila 46	75,1	74,1	1,33
	13	Setor 3 – Fila 1	64,3	63,0	2,02
	14	Setor 3 – Fila 46	69,7	68,4	1,87
Bancada Lateral Poente	15	Setor 30 – Fila 1	63,1	62,5	0,95
	16	Setor 4 – Fila 1	64,2	63	1,87
	17	Setor 30 – Fila 46	64,9	63,7	1,85
Bancada Central Nascente	18	Setor 19 – Fila 1	69,6	64,1	7,90
	19	Setor 15 – Fila 1	63,2	63,4	0,32
	20	Setor 19 – Fila 46	74,1	73,8	0,40
	21	Setor 15- Fila 46	66,2	68,5	3,47
Arquibancada Poente	22	Setor 34 – Fila 1	81,1	84	3,58
	23	Setor 34 – Fila 29	105,8	100,4	5,10
	24	Setor 39 – Fila 1	81,2	77,5	4,56
	25	Setor 39 – Fila 29	103,2	95	7,95
Arquibancada Nascente	26	Setor 49 – Fila 1	82	77	6,10

27	Setor 49 – Fila 29	97	91,5	5,67
28	Setor 44 – Fila 1	85,2	93	9,15
29	Setor 44 – Fila 29	100,8	96,3	4,46

Através da Tabela 7 pode constatar-se que o menor erro percentual existente é de 0,20% e o maior é de 9,15%. A média dos erros percentuais presentes na Tabela 7 é de 3,26%, o que permite concluir que o modelo de simulação do Estádio do Dragão é válido.

3.4. Análises de estratégia de evacuação

Para as análises das estratégias de evacuação foi necessário criar variáveis, de modo a ser possível averiguar o comportamento dos intervenientes num jogo de futebol. Assim, num jogo realizado neste recinto, podem estar presentes 50033 adeptos (lotação máxima de adeptos).

Assim, os diferentes cenários baseiam-se na alteração de algumas variáveis para averiguar o tempo total de duração da evacuação do Estádio do Dragão. Essas variáveis são:

- Número de saídas: nos cenários o número de saídas e a combinação das mesmas foram alvo de estudo para averiguar o comportamento dos adeptos, bem como o tempo total de evacuação.
- Velocidade de evacuação: Segundo (Ouellette & Rea, 1989), a velocidade de evacuação das pessoas pode ser influenciada pelo nível de iluminação no piso. Na Figura 36 é possível analisar a relação entre estas duas variáveis.

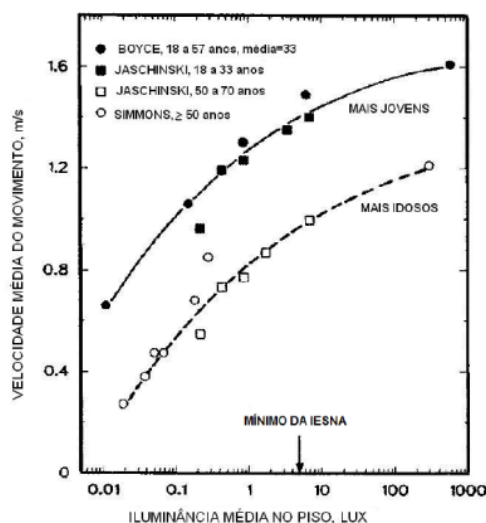


Figura 36 - Relação entre velocidade média e a iluminância média no piso (Ouellette & Rea, 1989)

Uma pessoa com mobilidade reduzida, utilizando cadeira de rodas, a velocidade é de 0,69 m/s. No entanto, se a deslocação for realizada por outra pessoa, a velocidade aumenta igualando a velocidade de uma pessoa sem limitações (Lúcia Lourenço et al., 2012).

Assim, a velocidade dos adeptos com mobilidade reduzida manteve-se constante (1,2 m/s), enquanto a velocidade dos restantes intervenientes será alterada e analisada nos diversos cenários (1,2 m/s; 1,4 m/s e 1,6 m/s).

- *Current Door Preference*: esta variável permite aos ocupantes mudarem ou não de porta ao longo da evacuação (0% permite os ocupantes mudarem de saída - 100% não permite mudar de saída).
- *Comportamento*: o comportamento dos ocupantes do modelo de simulação computacional prende-se na procura da saída existente mais próxima e adequada. As pessoas com mobilidade reduzida são auxiliadas na evacuação através da ajuda dos “Adeptos para Mobilidade” criados especificamente para esta ação. A Figura 37 e a Figura 38 são exemplos da criação de comportamentos.

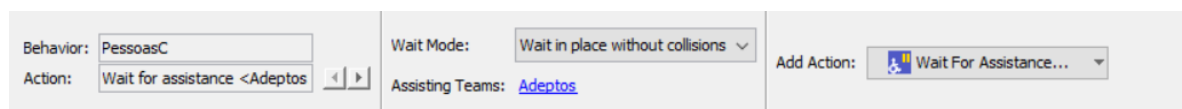


Figura 37 - Comportamento criado para pessoas com mobilidade reduzida

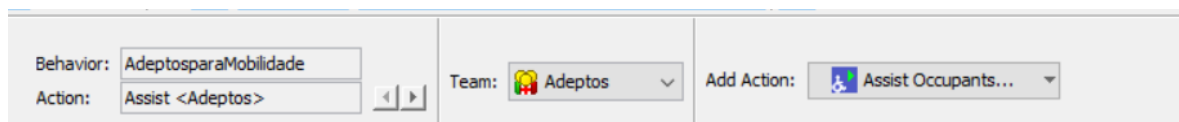


Figura 38 - Comportamento criado para auxiliar as pessoas com mobilidade reduzida

3.4.1. Cenário 1 – Estádio Completo - Todas saídas disponíveis

Neste cenário, todas as saídas do Estádio estão disponíveis a serem utilizadas pelas pessoas na sua evacuação. A velocidade e a *Current Door Preference* são variáveis a serem analisadas. Neste caso, o objetivo é estudar o tempo necessário para evacuar o estádio completo com todos os ocupantes criados no *PathFinder*. O número de ocupantes são todos os adeptos presentes no Estádio do Dragão quando lotado, incluindo as pessoas com mobilidade reduzida, sendo o total de 50033 pessoas. Na Figura 39, é possível observar uma vista aérea da representação do Estádio do Dragão quando lotado.



Figura 39 - Vista aérea do modelo Estádio do Dragão

Na Tabela 8, são apresentados os resultados para o cenário 1 para as duas possibilidades de estudo.

Tabela 8 - Cenário 1 - velocidade 1,2 m/s

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference</i> (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1038,3	1845,5
Tempo total (s)	1158,3	1965,5

Pela Tabela 8 verifica-se a necessidade de 1158,3 segundos para a evacuação dos 50033 adeptos presentes no Estádio do Dragão. Salienta-se o elevado impacto que a variável *Current Door Preference* tem para o tempo total de evacuação, causando uma diferença de quase 800 segundos.

As Figuras 40 e 41 apresentam a evolução da evacuação do número de adeptos ao longo do processo.

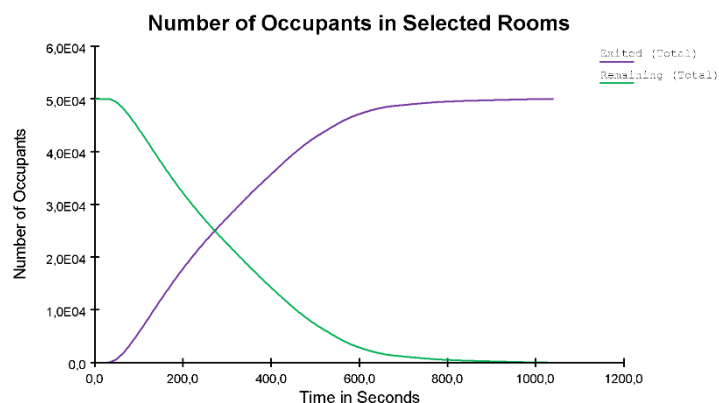


Figura 40 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 40 verifica-se que, aos 300 segundos, os primeiros 50% de adeptos terminaram o processo de evacuação. No entanto, o decréscimo no fluxo de saída dos adeptos a partir dos 400 segundos levou à necessidade de mais de 1000 segundos para a realização da evacuação total do Estádio.

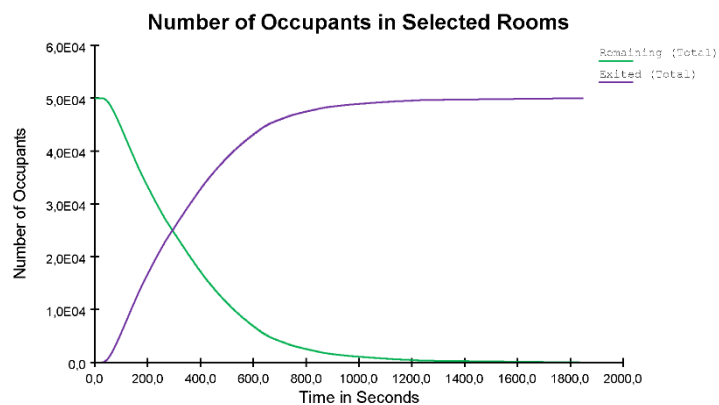


Figura 41 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 41 constata-se que, nos primeiros 300 segundos, ocorreu a evacuação da primeira metade dos adeptos, sendo que a restante só terminou o processo aos 1800 segundos, aproximadamente, devido ao elevado decréscimo no fluxo de saída dos adeptos.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados para o cenário 1, quando a velocidade dos adeptos é de 1,4 m/s.

Tabela 9 - Cenário 1 - velocidade 1,4 m/s

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	968,3	1517
Tempo total (s)	1088,3	1637

Através da Tabela 9 constata-se que o menor tempo de evacuação obtido foi de 1088,3 segundos (aproximadamente 18 minutos). Note-se a diferença de quase 600 segundos entre os dois tempos de evacuação obtidos.

As Figuras 42 e 43 representam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

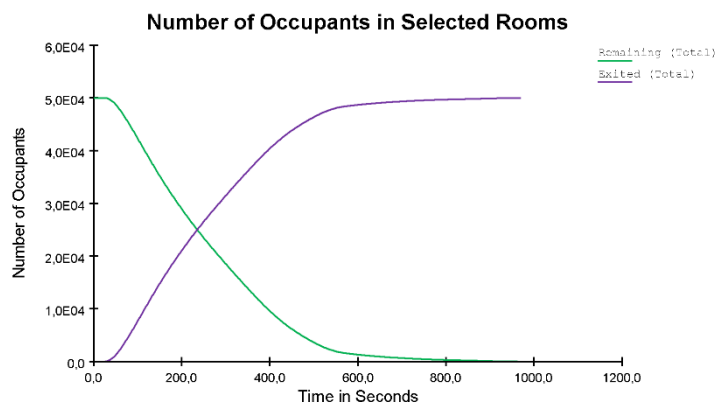


Figura 42 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 42 conclui-se a necessidade de quase 1000 segundos para a evacuação total do Estádio. Salienta-se ainda que os primeiros 50% de adeptos são evacuados antes dos 300 segundos. Os últimos 1000 adeptos demoraram quase 600 segundos para serem evacuados.

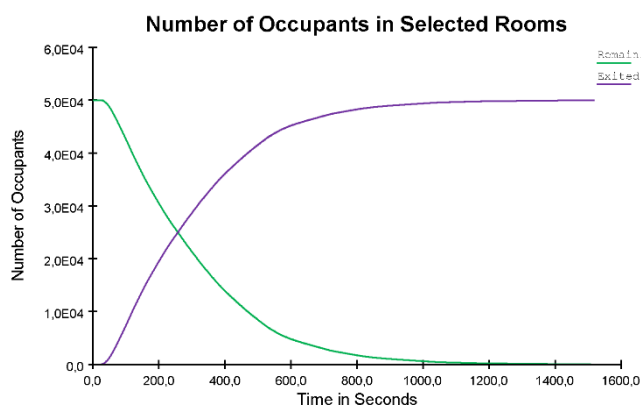


Figura 43 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 43 verifica-se a necessidade de mais de 1400 segundos para uma evacuação completa do Estádio. Os primeiros 50% de adeptos realizaram a evacuação em menos de 300 segundos. Os últimos 1000 adeptos foram evacuados em 1000 segundos aproximadamente.

Na Tabela 10 são expostos os resultados obtidos pela simulação computacional, referentes ao cenário 1, quando a velocidade dos adeptos é de 1,6 m/s.

Tabela 10 - Cenário 1 - velocidade 1,6 m/s

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	884	1376,5
Tempo total (s)	1004	1496,5

Através da Tabela 10 conclui-se que foram necessários 1004 segundos (aproximadamente 16,7 minutos) para a evacuação total dos adeptos para o exterior do Estádio.

As Figuras 44 e 45 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

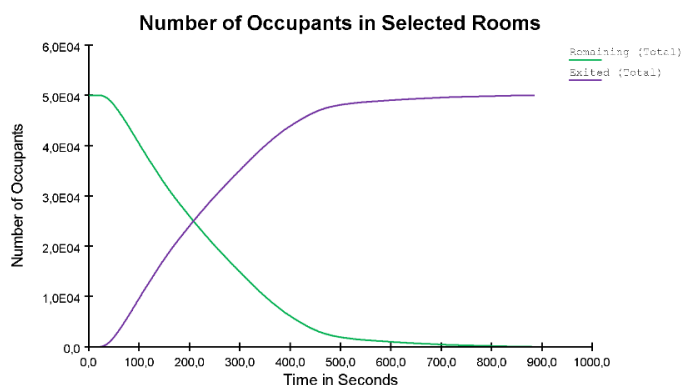


Figura 44 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 44 verifica-se a necessidade de, aproximadamente, 200 segundos para a evacuação dos primeiros 50% de adeptos, sendo que, decorridos 400 segundos, ocorreu um decréscimo acentuado no fluxo de saída de adeptos levando à necessidade de quase 900 segundos para a evacuação total do Estádio do Dragão.

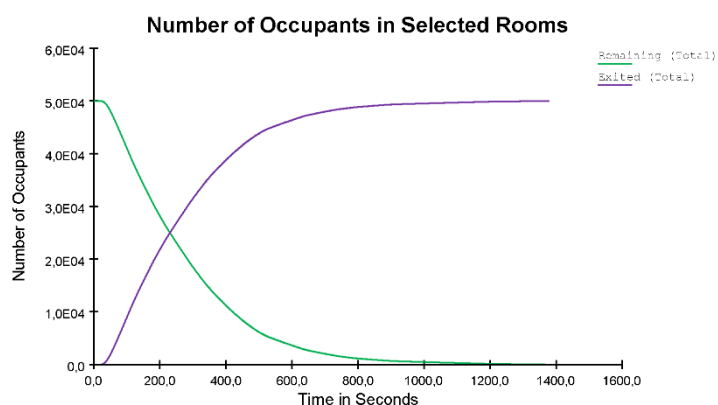


Figura 45 - Evolução do número de adeptos (cenário 1) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 45 verifica-se que, aos 200 segundos, os primeiros 50% de adeptos ainda não tinham conseguido ser evacuados para o exterior do Estádio. O decréscimo no fluxo de saída a partir dos 400 segundos levou à necessidade de quase 1400 segundos para a evacuação total dos 50033 adeptos presentes no Estádio.

3.4.2. Cenário 2 – Bancada Superior Norte

Neste cenário 2 serão analisadas várias possibilidades de saída dos adeptos, na Bancada Superior Norte do Estádio do Dragão, tais como:

- Todas as saídas disponíveis;
- Só saídas centrais disponíveis;
- Só saídas laterais disponíveis.

Na Figura 46 é possível observar uma representação da bancada em estudo, bem como as suas saídas.

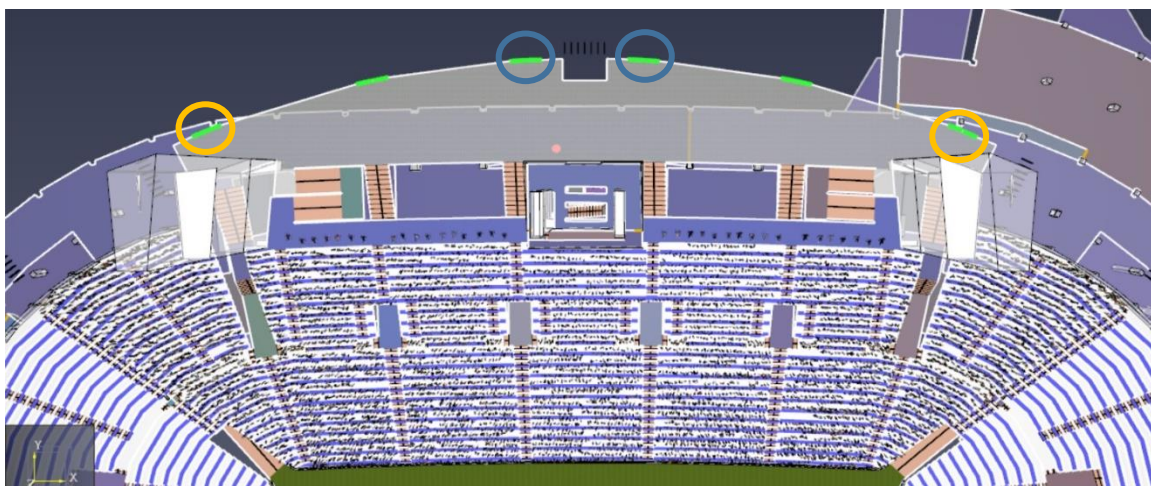


Figura 46 - Representação da Bancada Superior Norte

As saídas rodeadas a azul são consideradas as saídas centrais, enquanto as rodeadas de laranja são as laterais.

O número de ocupantes para este cenário são 7255 adeptos (lotação máxima para esta bancada).

- Todas as saídas disponíveis

Neste conjunto de cenários, as saídas estão todas disponíveis para a evacuação dos adeptos, sendo a velocidade e *Current Door Preference* as variáveis a serem analisadas.

De seguida, na Tabela 11, é possível verificar os resultados obtidos para uma velocidade igual a 1,2 m/s.

Tabela 11 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	679,9	912
Tempo total (s)	799,9	1032

A partir da Tabela 11 é possível concluir que, com a mesma velocidade, o tempo de evacuação total é menor quando a variável *Current Door Preference* é de 0%, isto é, quando os adeptos podem mudar a sua trajetória (optar por outra saída) durante a evacuação. Neste caso, o melhor tempo de evacuação total foi de 799,9 segundos (aproximadamente 13,3 minutos).

Nas Figuras 47 e 48 é possível analisar dois gráficos que permitem compreender a evolução do número de pessoas evacuadas, ao longo do tempo, com a velocidade de 1,2 m/s.

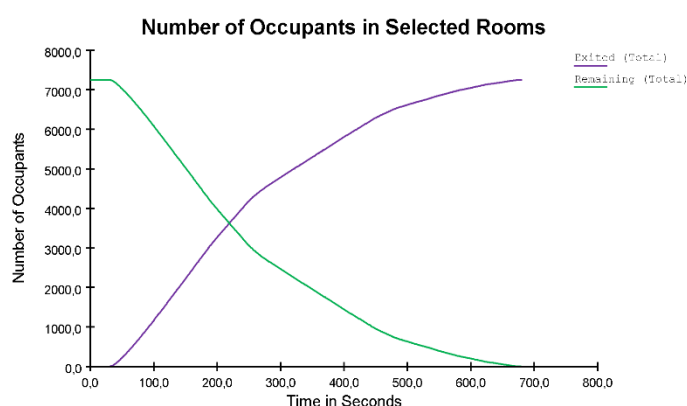


Figura 47 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 47 é possível concluir que metade das pessoas conseguiram sair do estádio passados, aproximadamente, 200 segundos. O tempo total de evacuação foi de cerca de 680 segundos, sendo esse o tempo necessário para a segunda metade de adeptos se deslocar para o exterior do Estádio.

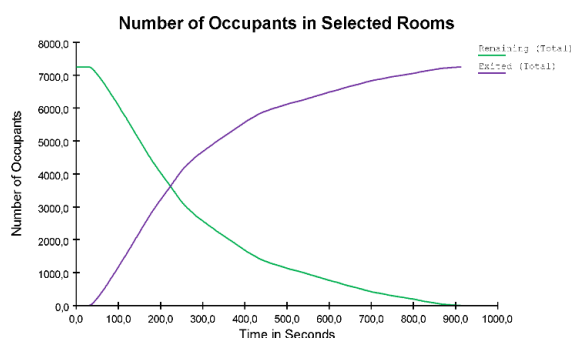


Figura 48 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 48 é possível concluir que metade dos adeptos foram evacuados em, aproximadamente, 200 segundos. A questão da variável *Current Door Preference* ser igual a 100% influenciou o tempo total de evacuação da segunda metade dos adeptos, para a qual já foram necessários aproximadamente 900 segundos.

Na Tabela 12 é possível observar os resultados para a velocidade igual a 1,4 m/s.

Tabela 12 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
<i>Current Door Preference</i> (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	603,8	835
Tempo total (s)	723,8	955

Pela Tabela 12 conclui-se que o aumento da variável *Current Door Preference* tem a consequência de aumentar o tempo de evacuação total dos adeptos. O aumento da velocidade de 1,2 m/s para 1,4 m/s implicou uma diminuição de cerca de 76 segundos. Com velocidade a 1,4 m/s, o tempo total de evacuação passou para 723,8 segundos (aproximadamente 12 minutos).

Nas Figuras 49 e 50 é possível observar dois gráficos que permitem analisar a evolução do número de pessoas evacuadas, ao longo do tempo, com a velocidade de 1,4 m/s.

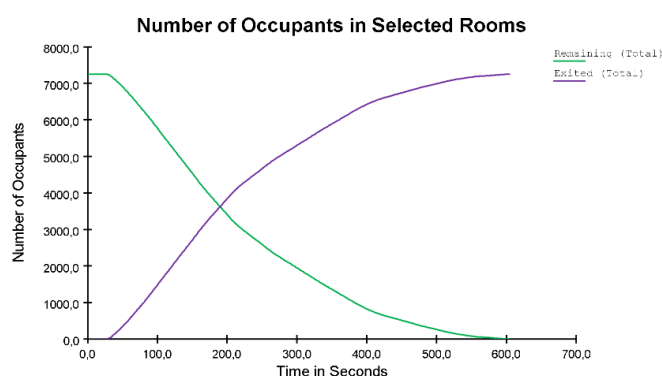


Figura 49 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; *Current Door Preference* 0%

Através da Figura 49 é possível verificar que, em 200 segundos, mais de metade dos adeptos conseguiu atingir o exterior do estádio. Foram necessários 600 segundos, aproximadamente, para que a outra metade dos adeptos terminasse o processo de evacuação.

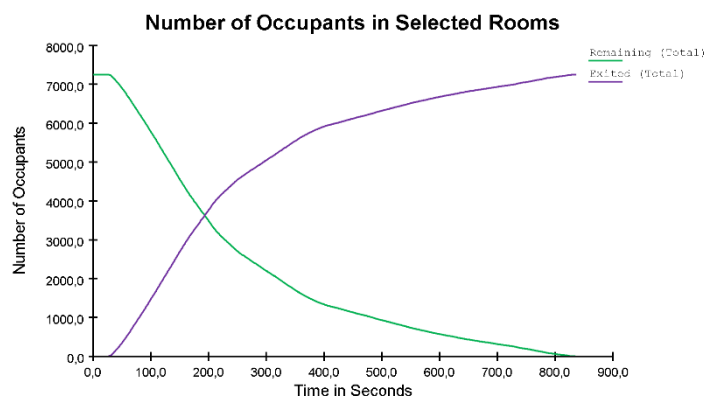


Figura 50 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

Através da Figura 50 volta a constatar-se o comportamento que a variável *Current Door Preference* apresenta na segunda metade dos adeptos, atrasando-os no processo de retirada do estádio. No mesmo tempo de evacuação de 200 segundos, mais de metade dos adeptos foram evacuados. Foram necessários mais de 800 segundos, aproximadamente, para a realização da evacuação dos restantes adeptos.

Na Tabela 13 apresenta-se os resultados obtidos para a velocidade igual a 1,6 m/s.

Tabela 13 - Cenário 2: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	537,3	755,3
Tempo total (s)	657,3	875,3

Pela Tabela 13 é possível verificar que o aumento da velocidade permitiu um menor tempo total de evacuação, como era expectável. O menor tempo de evacuação total foi de 657,3 segundos (aproximadamente 11 minutos).

Na Figura 51 e na Figura 52 é possível analisar dois gráficos que permitem aferir a evolução do número de pessoas evacuadas, ao longo do tempo, com a velocidade de 1,6 m/s.

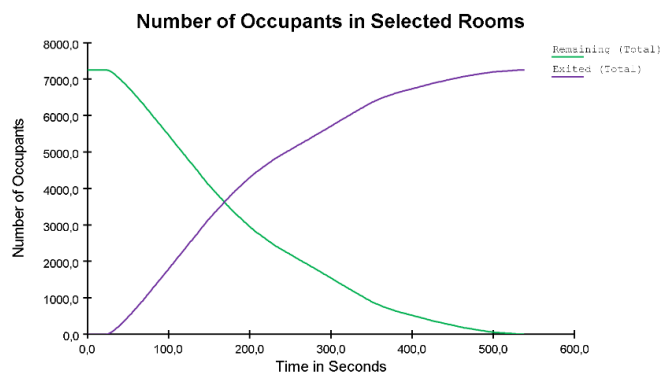


Figura 51 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 51 verifica-se que, até aos 200 segundos, ocorreu a saída de mais de metade de adeptos do Estádio. Quando foi atingida a margem dos 400 segundos, o fluxo de saídas decresceu significativamente.

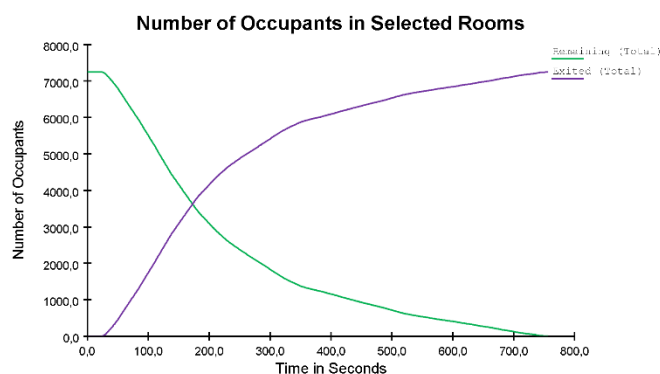


Figura 52 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 52 verifica-se que a variável *Current Door Preference* não influencia o tempo de evacuação da primeira metade dos adeptos, tendo um papel negativo no processo de evacuação dos restantes. Salienta-se, ainda, uma saída constante de adeptos até aos 300 segundos.

- Só saídas centrais disponíveis

Nestes cenários, só as saídas centrais se encontram disponíveis para o processo de evacuação dos adeptos, tendo como objetivo principal verificar o papel da velocidade e da variável *Current Door Preference*, no tempo total de evacuação.

Assim, na Tabela 14, é possível verificar os resultados obtidos com velocidade igual a 1,2 m/s.

Tabela 14 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	689,3	836
Tempo total (s)	809,3	956

Pela Tabela 14 é possível concluir que, no cenário que prevê apenas as saídas centrais disponíveis, o tempo de evacuação total, com a permissão dos adeptos de alterarem as suas saídas ao longo do trajeto, manteve-se menor relativamente aos adeptos que não alteraram as saídas ao longo da trajetória. O menor tempo de evacuação total foi de 809,3 segundos (aproximadamente 13,5 minutos).

As Figuras 53 e 54 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas com a velocidade de 1,2 m/s.

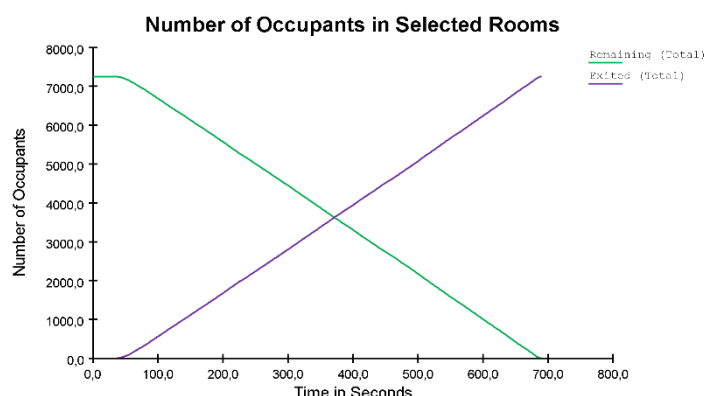


Figura 53 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 53 verifica-se que, quando apenas as saídas centrais para a evacuação se encontram disponíveis, este facto não teve grande influência no tempo de evacuação dos adeptos, ocorrendo uma diferença de apenas 10 segundos (com todas as saídas disponíveis: 679,9 s; apenas com saídas centrais: 689,9 s). A existência apenas das saídas centrais implica uma saída dos adeptos praticamente constante.

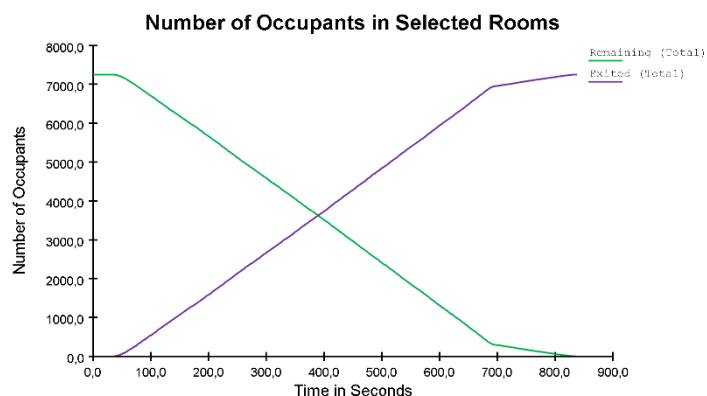


Figura 54 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 54 conclui-se que a evacuação dos adeptos se manteve praticamente constante em todo o processo, ocorrendo uma diminuição do fluxo de saída de pessoas nos últimos 100 segundos. Salienta-se a necessidade de ter de passar mais de 800 segundos para a segunda metade dos adeptos ser evacuados (tempo esse muito superior em relação ao cenário com todas as saídas disponíveis).

Na Tabela 15 é possível analisar os resultados obtidos para a velocidade igual a 1,4 m/s.

Tabela 15 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	610,3	731,8
Tempo total (s)	730,3	851,8

Pela Tabela 15 verifica-se que o aumento da velocidade levou a um menor tempo de evacuação total dos adeptos. O menor tempo total de evacuação foi de 730,3 segundos (aproximadamente 12 minutos). Como já era de esperar, quando aos adeptos é permitido alterar as suas saídas, o tempo de evacuação é substancialmente menor (diferença de cerca de 2 minutos).

As Figuras 55 e 56 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas, com a velocidade de 1,4 m/s.

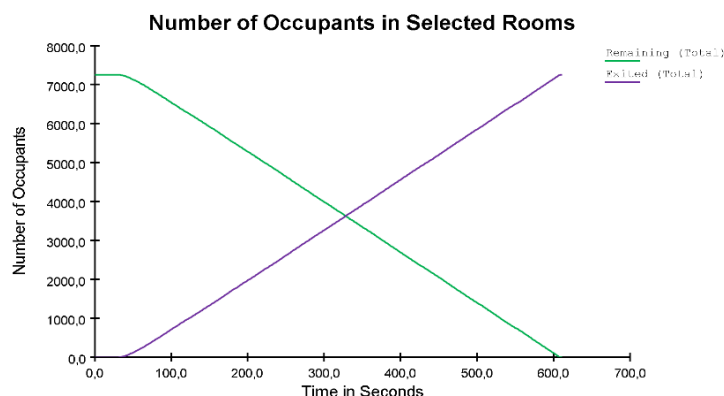


Figura 55 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 55 é possível verificar que, quando existe apenas a disponibilidade de usar as portas centrais para o processo de evacuação, o fluxo de saída dos adeptos permanece constante, durante todo o processo de evacuação.

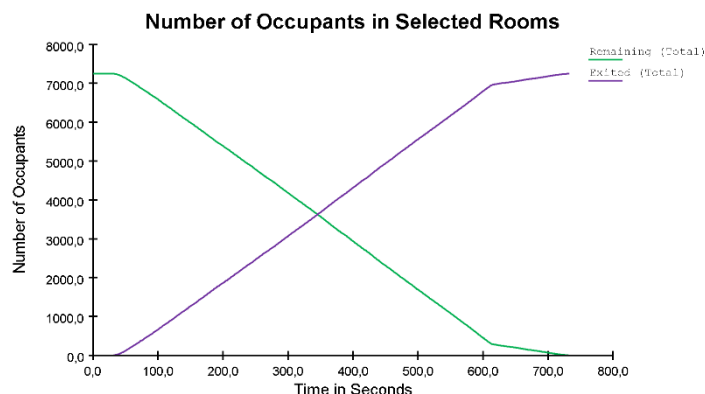


Figura 56 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 56 é possível constatar um fluxo constante de saída de adeptos pelas saídas centrais até aos 600 segundos, sendo que, depois, ocorre um decréscimo no número de saídas por intervalo de tempo.

Na Tabela 16 é possível analisar os resultados obtidos para a velocidade igual a 1,6 m/s.

Tabela 16 - Cenário 2: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	555	736,8
Tempo total (s)	675	856,8

Pela Tabela 16 comprova-se que o menor tempo de evacuação, neste cenário, foi de 675 segundos (aproximadamente 11,3 minutos). Na situação em que os adeptos podem alterar as suas saídas ao longo da sua trajetória verifica-se um menor tempo de evacuação em relação a uma situação em que não o podem fazer.

As Figuras 57 e 58 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas, com a velocidade de 1,6 m/s.

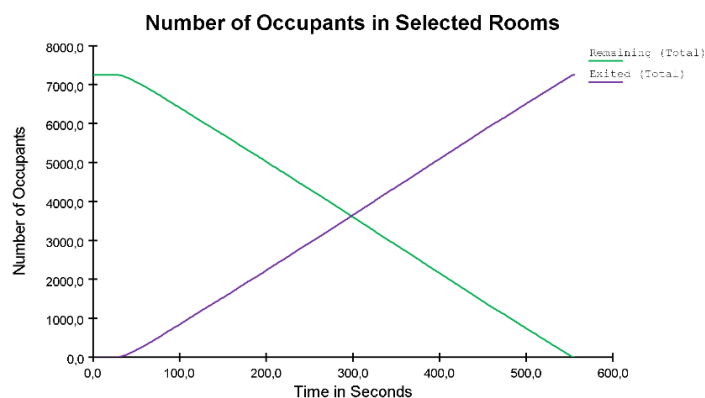


Figura 57 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 0%

Pela Figura 57 conclui-se que metade dos adeptos são evacuados passados 300 segundos do início do processo. O fluxo de saídas dos adeptos permanece praticamente constante ao longo de 555 segundos.

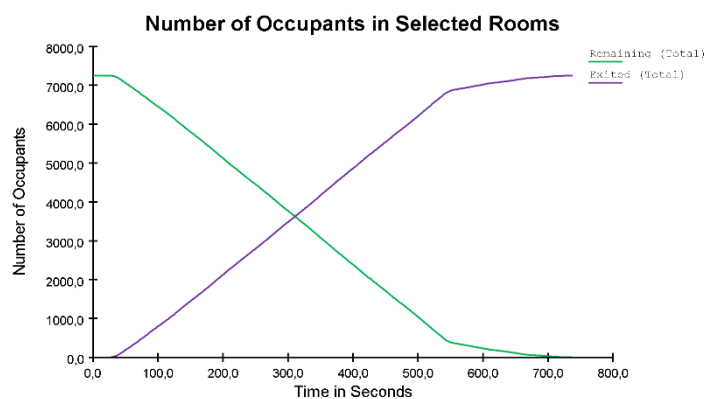


Figura 58 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 58 afere-se que metade dos adeptos são evacuados passados 300 segundos. No entanto, a partir dos 550 segundos, ocorre um decréscimo no fluxo de saídas dos adeptos, para o exterior do estádio.

- Só saídas laterais disponíveis

Nestes cenários, só as saídas laterais se encontram disponíveis para o processo de evacuação dos adeptos. O objetivo prende-se com verificar a influência da velocidade e da possibilidade ou não dos adeptos alterarem as suas saídas, durante a trajetória, no tempo total de evacuação.

Assim, na Tabela 17, é possível constatar os resultados obtidos com velocidade igual a 1,2 m/s.

Tabela 17 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	700	984,3
Tempo total (s)	820	1104,3

Pela Tabela 17 verifica-se que, com apenas as saídas laterais disponíveis para o processo de evacuação, e com a possibilidade de os adeptos mudarem as suas saídas durante a trajetória, o tempo de evacuação é de 820 segundos (aproximadamente 13,7 minutos).

As Figuras 59 e 60 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas à velocidade de 1,2 m/s.

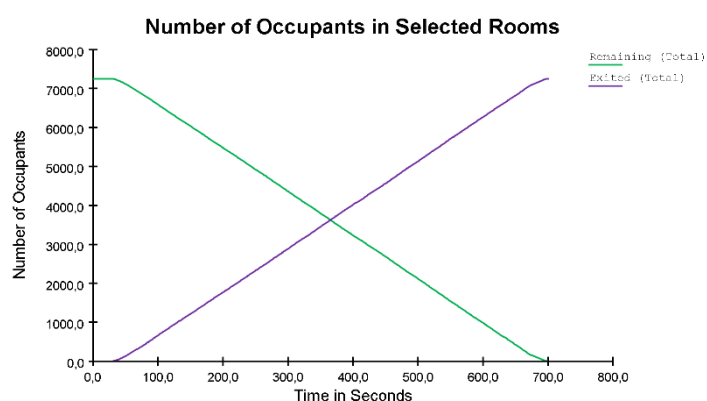


Figura 59 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 59 verifica-se que, antes dos 400 segundos, metade dos adeptos já terminou o processo de evacuação do estádio. Com apenas as portas laterais disponíveis, o fluxo de saída das pessoas manteve-se constante.

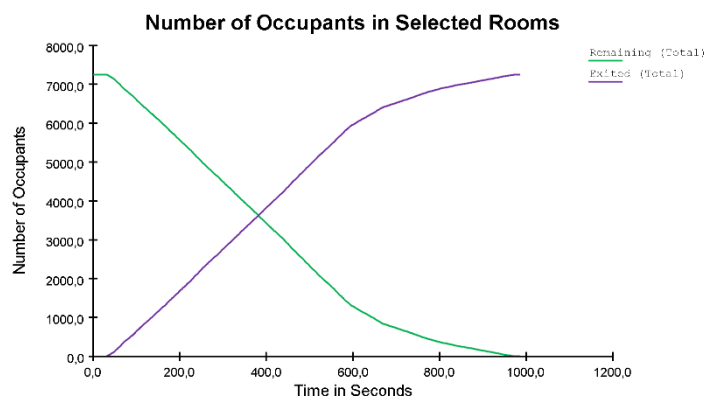


Figura 60 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 60, o tempo necessário para a evacuação de metade dos adeptos foi de cerca de 400 segundos. No entanto, o fluxo constante de saída dos adeptos termina aos 600 segundos, diminuindo até ao final da evacuação.

A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos da simulação com a velocidade a 1,4 m/s.

Tabela 18 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	609,8	891,3
Tempo total (s)	729,8	1011,3

Pela Tabela 18 verifica-se que o menor tempo de evacuação registado foi de 729,8 segundos, com velocidade de 1,4 m/s (aproximadamente 12 minutos).

As Figuras 61 e 62 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas, com a velocidade de 1,4 m/s.

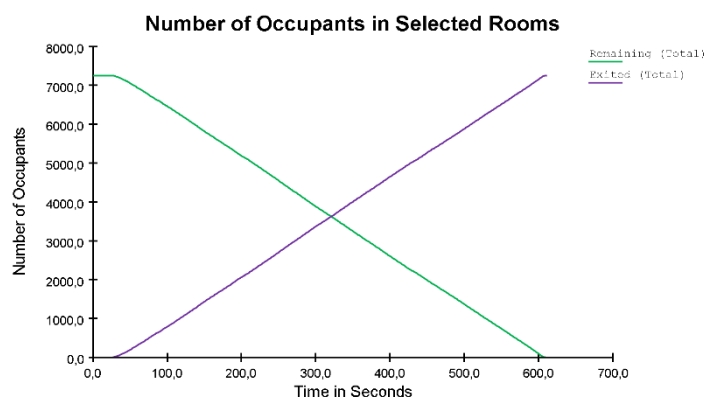


Figura 61 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 61, metade dos adeptos presentes na bancada em análise são evacuados passados, aproximadamente, 300 segundos, ocorrendo um fluxo constante de saída dos adeptos até ao final do processo.

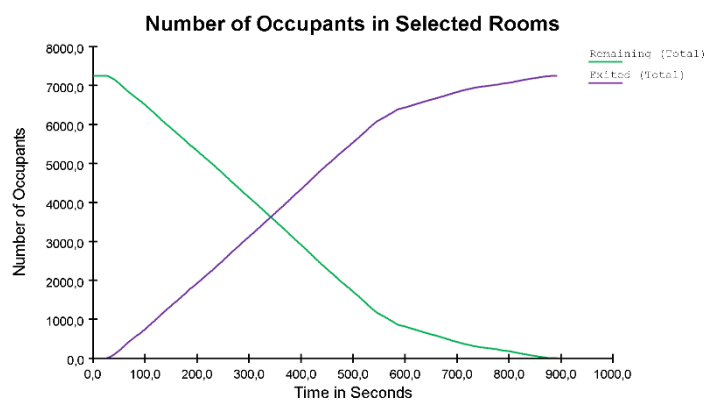


Figura 62 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 62, o tempo necessário para evacuação de metade das pessoas é semelhante ao da Figura 61. No entanto, a partir dos 600 segundos, ocorre uma diminuição no fluxo de pessoas até ao final.

De seguida, na Tabela 19, são apresentados os resultados com a velocidade a 1,6 m/s.

Tabela 19 - Cenário 2: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	561,8	825,8
Tempo total (s)	681,8	945,8

Pela Tabela 19 verifica-se que o menor tempo de evacuação foi de 681,8 segundos, aproximadamente, 11,4 minutos, para a saída dos adeptos da bancada.

As Figuras 63 e 64 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas com a velocidade de 1,6 m/s.

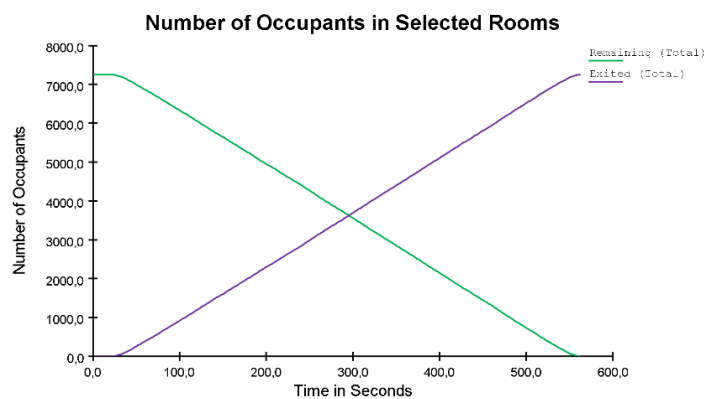


Figura 63 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 63 verifica-se a existência de um fluxo constante até ao término da evacuação, sendo que 50% dos adeptos são evacuados passados 300 segundos aproximadamente.

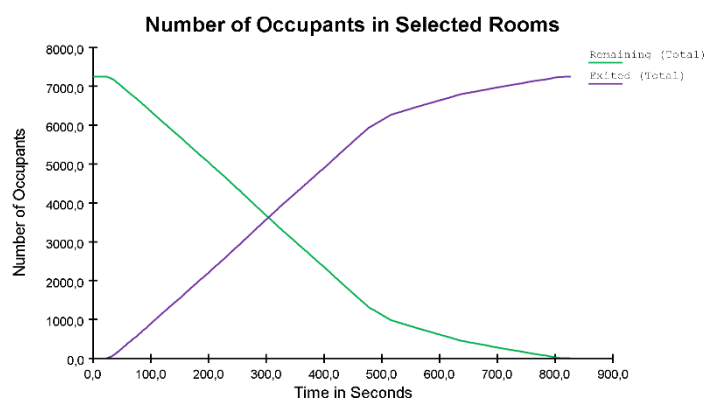


Figura 64 - Evolução do número de adeptos (cenário 2 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 64 constata-se que existe um fluxo constante de saída de adeptos até aos 500 segundos, sendo que, depois, ocorre uma diminuição do mesmo até ao fim do processo. Os primeiros 50% de adeptos foram evacuados em, aproximadamente, 300 segundos.

3.4.3. Cenário 3 – Bancada Superior Sul

O objetivo do cenário 3 é averiguar o impacto da velocidade, da *Current Door Preference* e da disponibilidade das portas no tempo necessário para a evacuação da Bancada Superior Sul, no que diz respeito aos setores 6, 7, 10, 11 e 12.

- Todas as saídas disponíveis;
- Só saídas centrais disponíveis;
- Só saídas laterais disponíveis.

As Figuras 65 e 66 mostram, respetivamente, uma representação da bancada em análise e as suas saídas disponíveis.

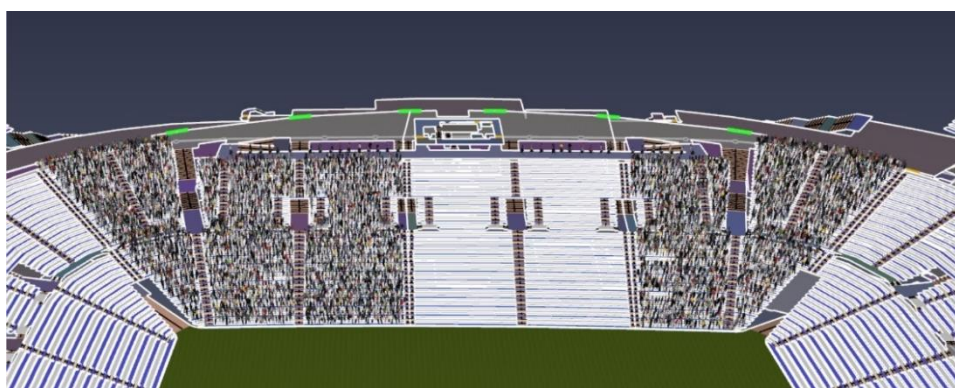


Figura 65 - Bancada Superior Sul- representação

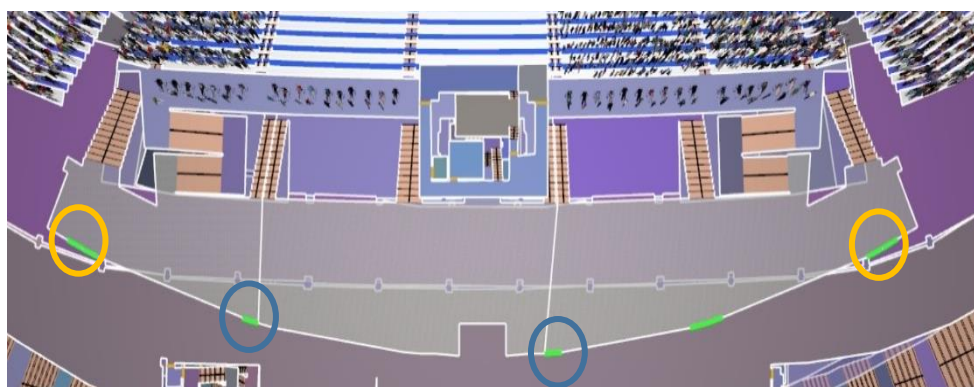


Figura 66 - Bancada Superior Sul – saídas laterais (laranja); saídas centrais - azul

O número de ocupantes para este cenário é de 5017, incluindo os 4949 adeptos nas bancadas e os 68 na bancada afeta à mobilidade reduzida.

- Todas as saídas disponíveis

Na Tabela 20 são apresentados os resultados para o cenário 3, quando todas as saídas estão disponíveis e quando os adeptos se deslocam a uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 20 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	663	896,8
Tempo total (s)	783	1016,8

Através da Tabela 20 conclui-se que o menor tempo total de evacuação foi de 783 segundos (aproximadamente 13 minutos).

As Figuras 67 e 68 representam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

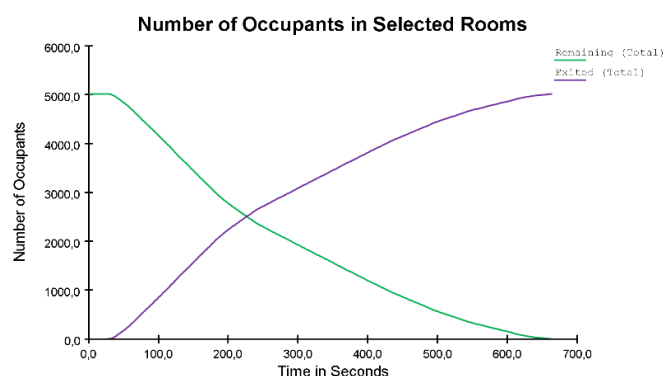


Figura 67 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 0%

Através da Figura 67 constata-se que os primeiros 50% de adeptos realizaram a evacuação em, aproximadamente, 200 segundos. Os restantes 50% terminaram o processo em mais de 600 segundos.

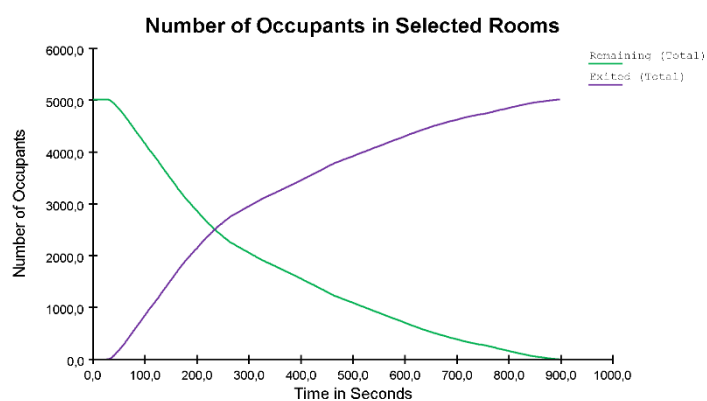


Figura 68 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Através da Figura 68 verifica-se que a evacuação dos primeiros 50% de adeptos foi realizada no intervalo entre 200 e 300 segundos. O tempo total necessário para a evacuação de todos os adeptos presentes é de, aproximadamente, 900 segundos.

Na Tabela 21 são apresentados os resultados para uma velocidade de evacuação de 1,4 m/s.

Tabela 21 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	567,5	793
Tempo total (s)	687,5	913

A Tabela 21 permite concluir que o menor tempo de evacuação total foi de 687,5 segundos (aproximadamente 11,5 minutos).

Nas Figuras 69 e 70 é possível analisar o número de pessoas que ainda se encontram no interior e as que já estão no exterior do Estádio ao longo da evacuação.

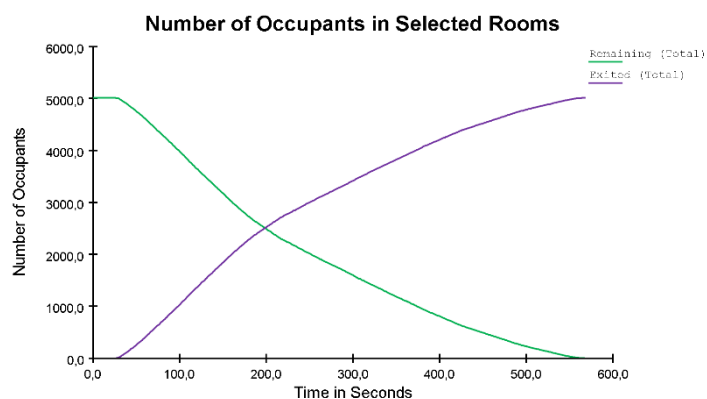


Figura 69 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

A Figura 69 permite concluir que foram necessários 200 segundos para a evacuação dos primeiros 50% de adeptos. Note-se a necessidade de, aproximadamente, 550 segundos para a evacuação de todos os adeptos.

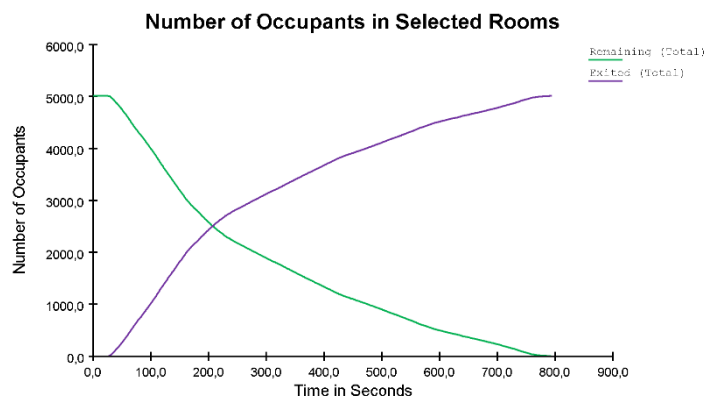


Figura 70 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Através da Figura 70 verifica-se que foram necessários 200 segundos, aproximadamente, para a evacuação dos primeiros 50% de adeptos. Refira-se o decréscimo no fluxo de saída de adeptos, levando à necessidade de, aproximadamente, 800 segundos para a evacuação total.

A Tabela 22 expõe os resultados obtidos pela simulação computacional para quando a velocidade dos adeptos é de 1,6 m/s.

Tabela 22 - Cenário 3: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	513,5	784,5
Tempo total (s)	633,5	904,5

Pela Tabela 22, verifica-se que o menor tempo de evacuação total foi de 633,5 segundos (aproximadamente 10,5 minutos).

As Figuras 71 e 72 mostram a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

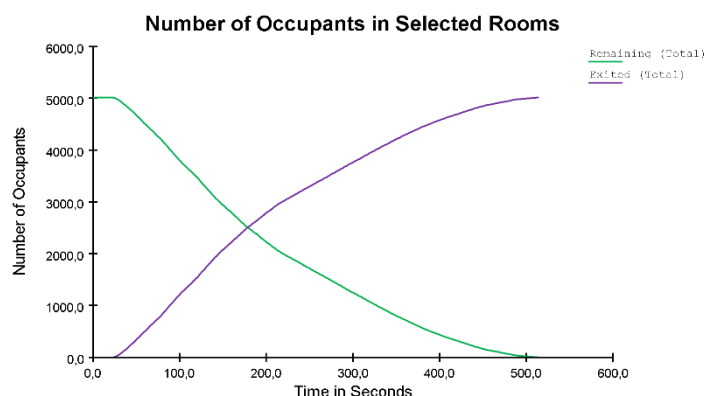


Figura 71 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 71 constata-se que, aos 200 segundos, 50% de adeptos já tinham sido evacuados para o exterior do Estádio do Dragão. Destaca-se o tempo de 500 segundos, aproximadamente, necessário para a evacuação total da bancada em estudo.

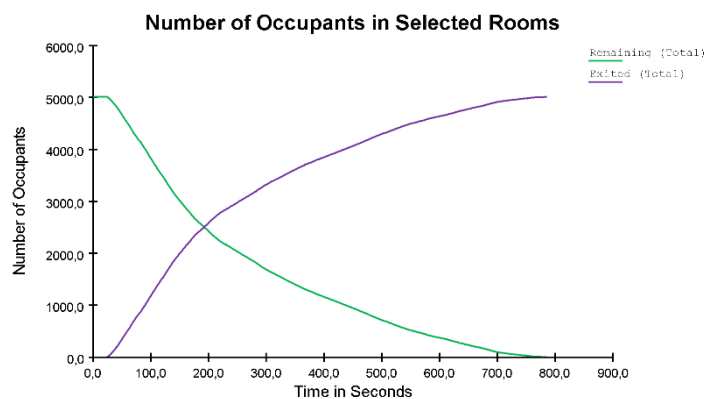


Figura 72 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 72 constata-se a necessidade de 200 segundos para a evacuação dos primeiros 50% de adeptos. Note-se o impacto negativo que a variável *Current Door Preference* tem para o tempo de evacuação, elevando para quase 800 segundos o tempo total de evacuação.

- Só saídas centrais disponíveis

Na Tabela 23 são apresentados os resultados referentes ao cenário 3, quando só as saídas centrais se encontram disponíveis e com uma velocidade dos adeptos de 1,2 m/s.

Tabela 23 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1164,8	1157,3
Tempo total (s)	1284,8	1277,3

Pela Tabela 23 conclui-se a necessidade de 1277,3 segundos (aproximadamente 21 minutos) para a evacuação completa da bancada em análise. Note-se a pequena diferença entre os dois valores de tempo de evacuação total obtidos.

As Figuras 73 e 74 apresentam uma evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

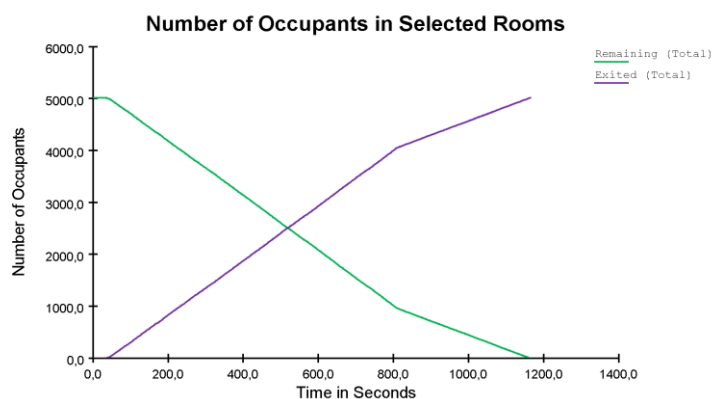


Figura 73 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 0%

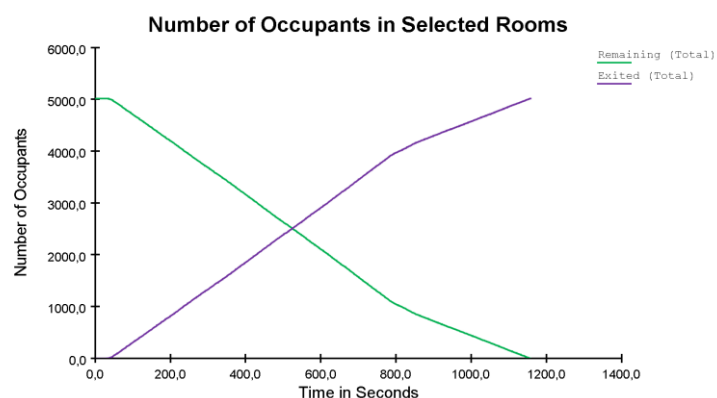


Figura 74 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

As Figuras 73 e 74 permitem concluir que a variável *Current Door Preference* não tem qualquer impacto nesta situação, visto que os tempos de evacuação dos primeiros 50% de adeptos são idênticos (entre os 500 e 600 segundos). O tempo de evacuação total permanece praticamente o mesmo entre as duas situações.

Na Tabela 24 são apresentados os resultados quando a velocidade é igual a 1,4 m/s.

Tabela 24 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1024,5	1041
Tempo total (s)	1144,5	1161

Pela Tabela 24, constata-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1144,5 segundos (aproximadamente 19 minutos). Verifica-se ainda o baixo impacto que a variável *Current Door Preference* tem nesta situação.

As Figuras 75 e 76 expõem a evolução do número de adeptos que se encontram no interior e no exterior do Estádio.

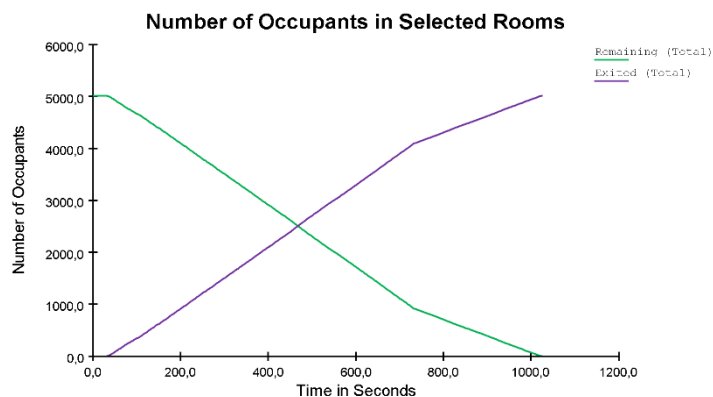


Figura 75 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 0%

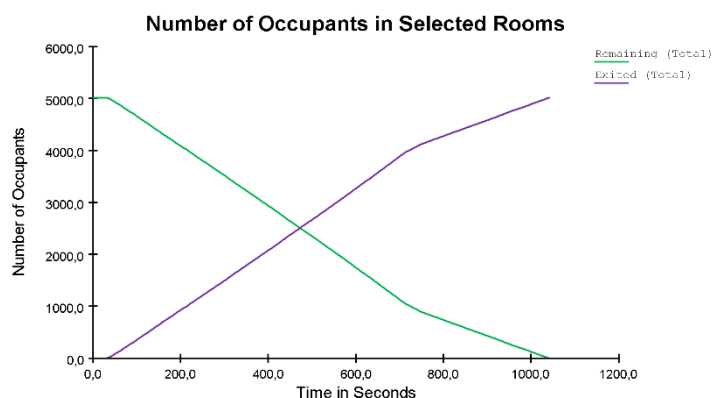


Figura 76 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

Através das Figuras 75 e 76 é possível constatar a semelhança entre os tempos de evacuação dos primeiros 50% de adeptos, bem como o tempo de evacuação total dos mesmos. Assim, a variável *Current Door Preference* não possui qualquer impacto no tempo de evacuação dos adeptos nesta situação.

Na Tabela 25 é possível analisar os tempos obtidos pela simulação computacional com a velocidade igual a 1,6 m/s.

Tabela 25 - Cenário 3: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	925,8	923,8
Tempo total (s)	1045,8	1043,8

Pela Tabela 25 conclui-se a necessidade de 1043,8 segundos para a evacuação total da Bancada Superior Sul. Note-se a pequena diferença entre os dois valores de tempo de evacuação total obtidos.

As Figuras 77 e 78 mostram a evolução do número de adeptos para a evacuação quando só as saídas centrais se encontram disponíveis e com uma velocidade de 1,6 m/s.

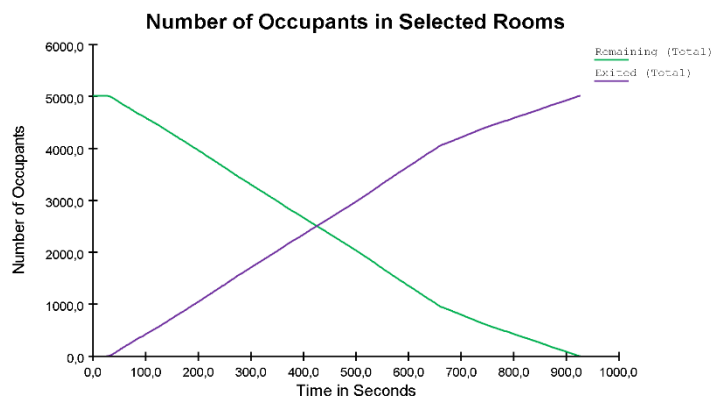


Figura 77 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 0%

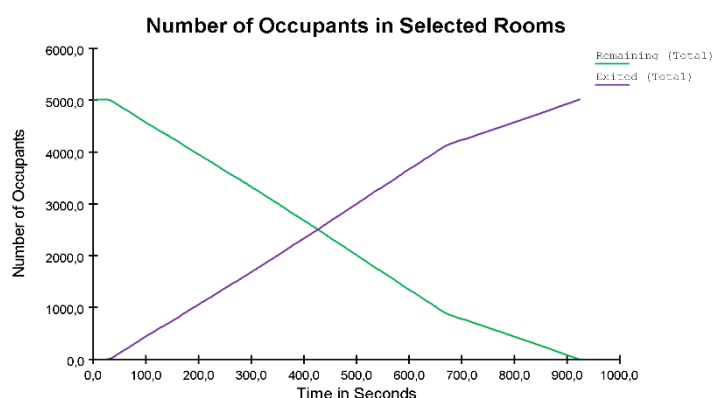


Figura 78 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 100%

Através das Figuras 77 e 78 verifica-se que o tempo necessário para a evacuação dos primeiros 50% de adeptos permanece igual para as duas situações. Refira-se a semelhança entre os dois tempos de evacuação total, salientando a ausência de impacto que a variável *Current Door Preference* possui nesta situação em análise.

- Só saídas laterais disponíveis

Na Tabela 26 é possível observar os resultados obtidos pela simulação computacional referentes ao cenário 3, quando só as saídas laterais se encontram disponíveis.

Tabela 26 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	679,8	1005,8
Tempo total (s)	799,8	1125,8

A Tabela 26 permite constatar a necessidade de 799,8 segundos (aproximadamente 13 minutos) para a evacuação total da Bancada Superior Sul, quando só as saídas laterais se encontram disponíveis.

As Figuras 79 e 80 mostram a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

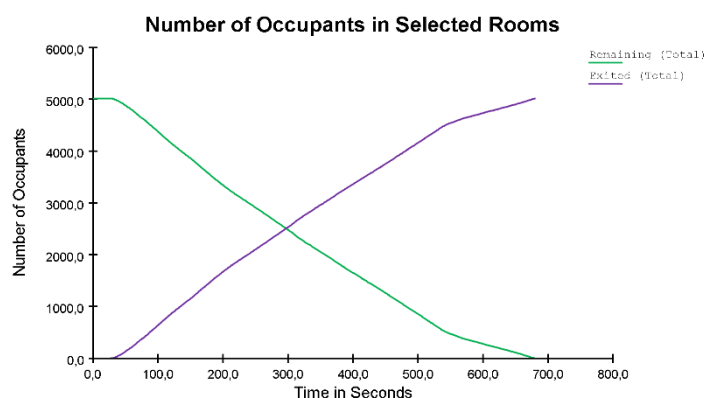


Figura 79 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 79 verifica-se que os primeiros 50% de adeptos foram evacuados em, aproximadamente, 300 segundos, ocorrendo um decréscimo no fluxo de saída ao longo da evacuação. Assim, foram necessários quase 700 segundos para a evacuação total dos adeptos presentes na bancada.

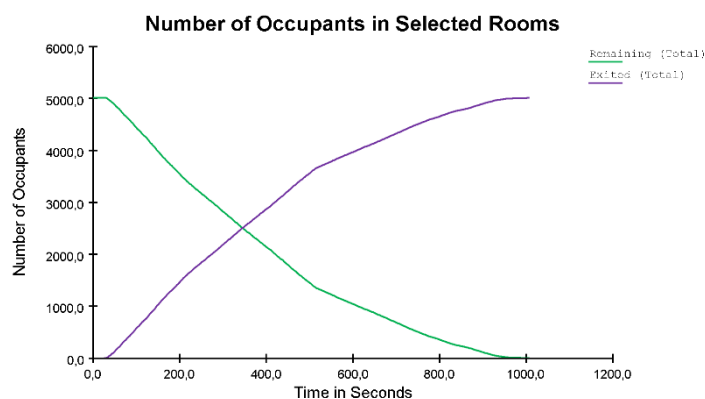


Figura 80 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 80 é possível verificar que, aos 300 segundos, os primeiros 50% de adeptos ainda não tinham sido evacuados para o exterior do Estádio. Ocorre ainda um decréscimo no fluxo de saída, levando à necessidade de quase 1000 segundos para a evacuação total.

Na Tabela 27 observam-se os resultados obtidos pela simulação computacional para quando só as saídas laterais se encontram disponíveis e para uma velocidade dos adeptos de 1,4 m/s.

Tabela 27 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	571,5	845
Tempo total (s)	691,5	965

Pela Tabela 27 existe a necessidade de 691,5 segundos (~11 minutos) para a evacuação neste caso. Verifica-se uma diferença de quase 5 minutos entre os dois tempos.

As Figuras 81 e 82 mostram a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

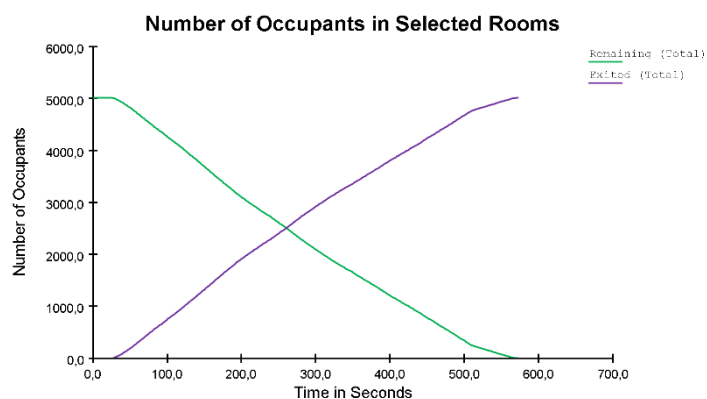


Figura 81 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

A partir da Figura 81 é possível que, aos 300 segundos, os primeiros 50% de adeptos já tenham sido evacuados em segurança para o exterior do Estádio. O decréscimo no fluxo de saída aos 500 segundos levou a que o tempo necessário para a evacuação total se situasse entre os 550 e 600 segundos.

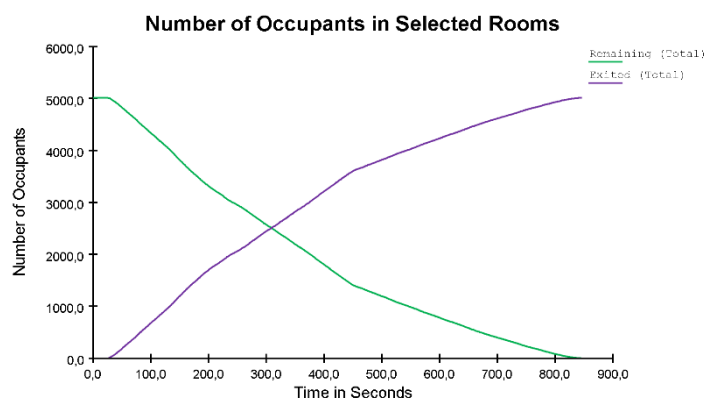


Figura 82 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

Através da Figura 82 é possível constatar que, aos 300 segundos, a etapa dos 50% de adeptos evacuados ainda não tinha sido atingida. Refira-se que o decréscimo no fluxo de saída de adeptos depois dos 400 segundos levou a um aumento do tempo de evacuação total superior a 800 segundos.

Na Tabela 28 é possível analisar os resultados obtidos pela simulação computacional referentes ao cenário, só com as saídas laterais disponíveis e a uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 28 - Cenário 3: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	514,5	825,3
Tempo total (s)	634,5	945,3

Através da Tabela 28 verifica-se que foram necessários 634,5 segundos para a Bancada Superior Sul ser totalmente evacuada.

As Figuras 83 e 84 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação, nas duas situações em análise.

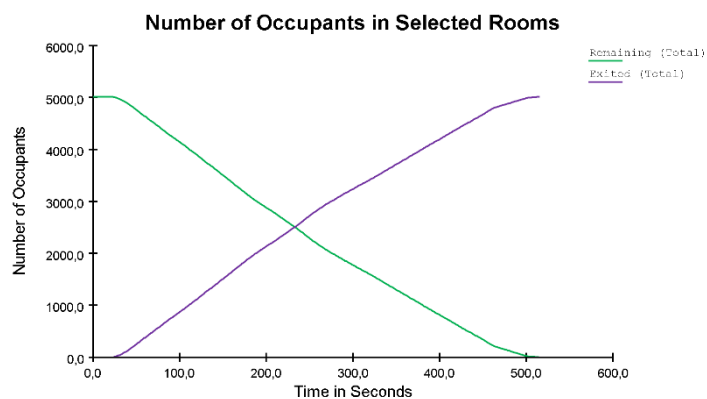


Figura 83 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 0%

Através da Figura 83 é possível constatar a necessidade de, praticamente, 500 segundos para a evacuação total dos adeptos presentes na bancada. Os primeiros 50% foram evacuados em, aproximadamente, 200 segundos.

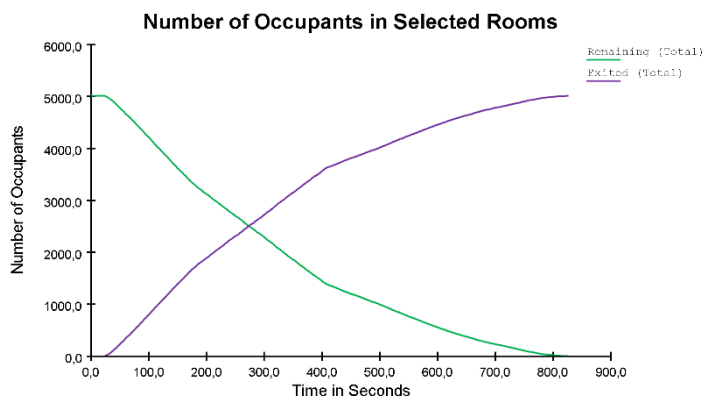


Figura 84 - Evolução do número de adeptos (cenário 3 - só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 84 verifica-se que, aproximadamente aos 300 segundos, a evacuação atingiu o valor de 50% de adeptos evacuados. O decréscimo no fluxo de saída levou à necessidade de quase 800 segundos para a evacuação total.

3.4.4. Cenário 4 – Bancada Central e Lateral Poente

Neste cenário 4 foram analisadas várias possibilidades de saída dos adeptos na Bancada Central e Lateral Poente, em conjunto com a Tribuna VIP, sendo o número de ocupantes para este cenário de 10721.

- Todas as saídas disponíveis;
- Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis;
- Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis.

Na Figura 85 é possível observar uma representação da bancada em estudo, bem como as suas saídas.

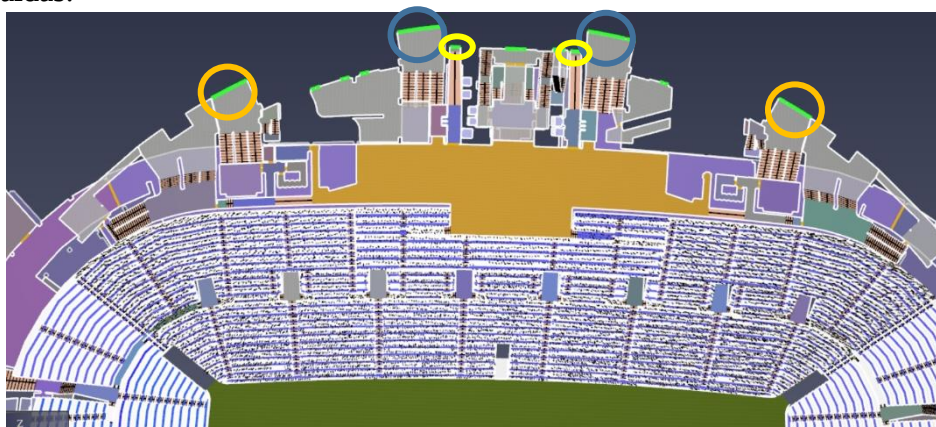


Figura 85 - Representação da Bancada Central e Lateral Poente

As saídas rodeadas a azul são consideradas as saídas centrais, enquanto as rodeadas de laranja, são as laterais. As saídas rodeadas a amarelo representam as saídas da Tribuna VIP.

- Todas as saídas disponíveis

Neste conjunto de cenários, todas as saídas estão disponíveis para a evacuação dos adeptos, tendo como objetivo analisar o impacto da velocidade e *Current Door Preference* no tempo total de evacuação.

De seguida, na Tabela 29, é possível verificar os resultados obtidos, para uma velocidade igual a 1,2 m/s.

Tabela 29 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	583,8	771,3
Tempo total (s)	703,8	891,3

Pela Tabela 29 conclui-se que o menor tempo de evacuação é de 703,8 segundos (aproximadamente 11,7 minutos).

As Figuras 86 e 87 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas ao longo do processo.

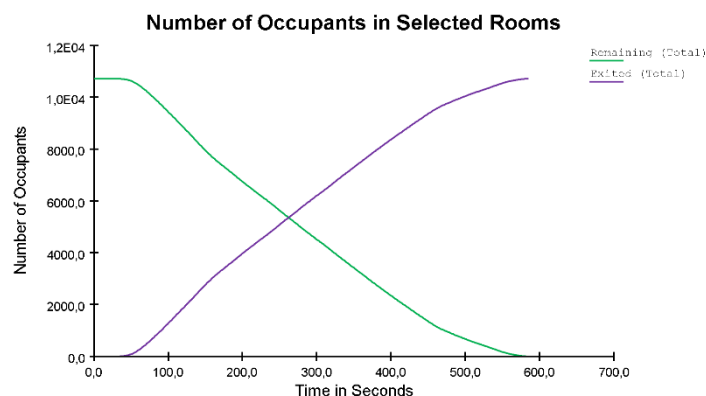


Figura 86 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 0%

Pela Figura 86 verifica-se que metade dos adeptos são evacuados antes dos 300 segundos, salientando-se um fluxo constante de saída a partir dos 100 até aos 500 segundos.

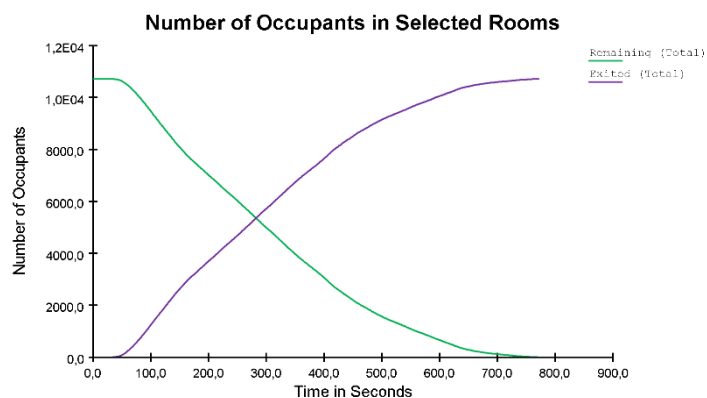


Figura 87 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 87 observa-se a existência de um fluxo de saída constante depois dos 100 segundos. Salienta-se ainda que, aos 600 segundos, ocorre um decréscimo no fluxo do número de adeptos. Ainda se afere que, aos 300 segundos, a primeira metade dos adeptos da bancada é evacuada.

De seguida, na Tabela 30, é possível verificar os resultados obtidos quando a velocidade é igual a 1,4 m/s.

Tabela 30 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	518,8	706,3
Tempo total (s)	638,8	826,3

Através da Tabela 30, o menor tempo de evacuação foi de 638,8 segundos (aproximadamente 10,6 minutos).

As Figuras 88 e 89 apresentam a evolução do número de pessoas evacuadas ao longo do processo.

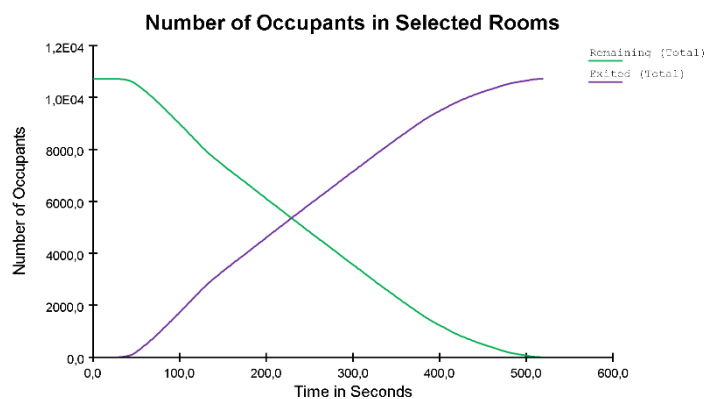


Figura 88 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 88 observa-se que ocorreu um fluxo constante de saída até, aproximadamente, 400 segundos. Aos 250 segundos, já terá decorrido uma evacuação de 50% da bancada.

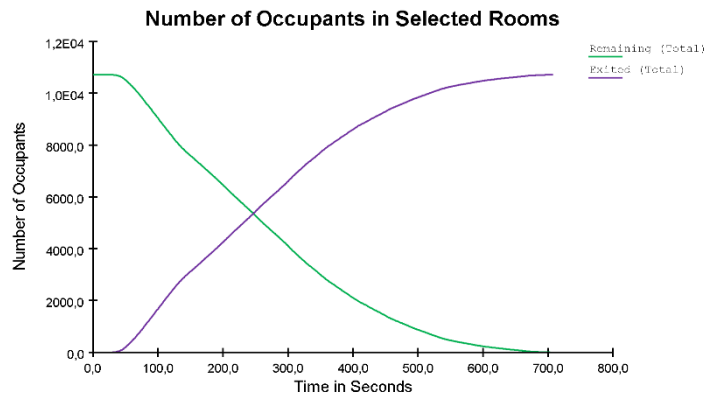


Figura 89 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 89, o tempo de evacuação ultrapassa os 700 segundos, salientando-se, ainda, um fluxo constante de saída, aproximadamente, até aos 400 segundos.

Na Tabela 31 são apresentados os resultados obtidos, na situação em que a velocidade é igual a 1,6 m/s.

Tabela 31 - Cenário 4: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	467,8	663,3
Tempo total (s)	587,8	783,3

Pela Tabela 31 verifica-se que o menor tempo de evacuação total foi de 587,8 segundos (aproximadamente 9,8 minutos).

As Figuras 90 e 91 expõem os resultados obtidos com a velocidade igual a 1,6 m/s.

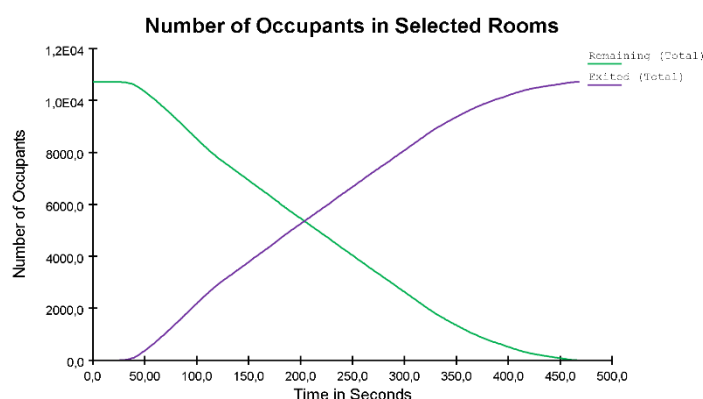


Figura 90 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 90, aos 200 segundos, 50% dos adeptos já terminaram o processo de evacuação. Ocorre ainda um fluxo constante de saída desde os 50 segundos até aos 350 segundos, aproximadamente.

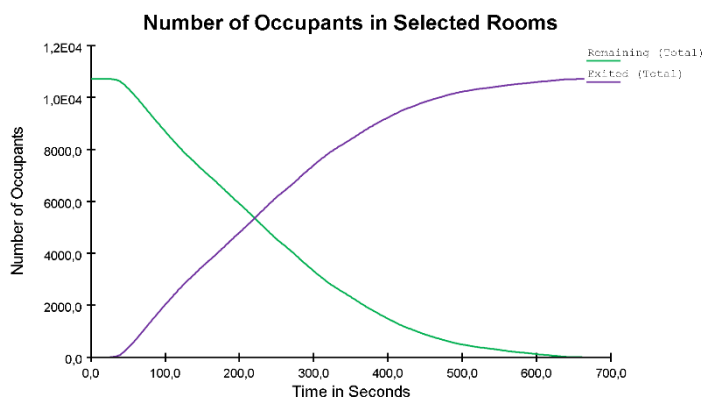


Figura 91 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 91 constata-se a diminuição do fluxo de saída, a partir dos 400 segundos. Aos 250 segundos, a percentagem do número de adeptos no exterior do estádio encontra-se perto dos 50%.

- Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis

Na Tabela 32 constata-se os resultados de simulação, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 32 - Cenário 4: Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	821,8	835,5
Tempo total (s)	941,8	955,5

Através da Tabela 32 conclui-se que o menor tempo de evacuação para esta bancada, com a disponibilidade de saídas centrais, é de 941,8 segundos (15,7 minutos).

As Figuras 92 e 93 expõem os resultados obtidos com uma velocidade igual a 1,2 m/s.

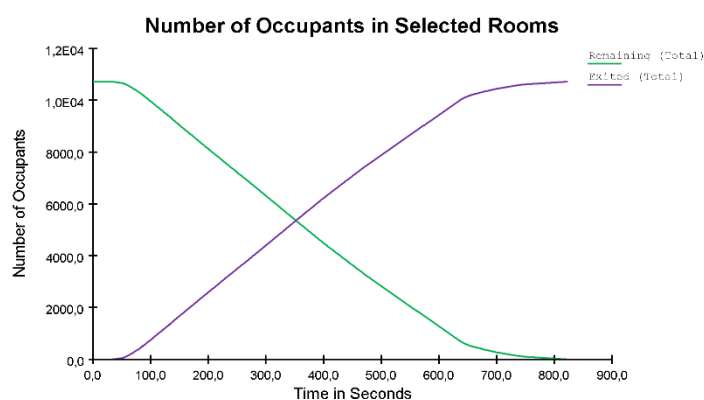


Figura 92 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 92 verifica-se que ocorre um decréscimo do fluxo de saída, a partir dos 650 segundos, sendo que, até a esse momento, verifica-se um fluxo de saída praticamente constante. Aos 400 segundos, mais de metade dos adeptos já se encontra fora do Estádio.

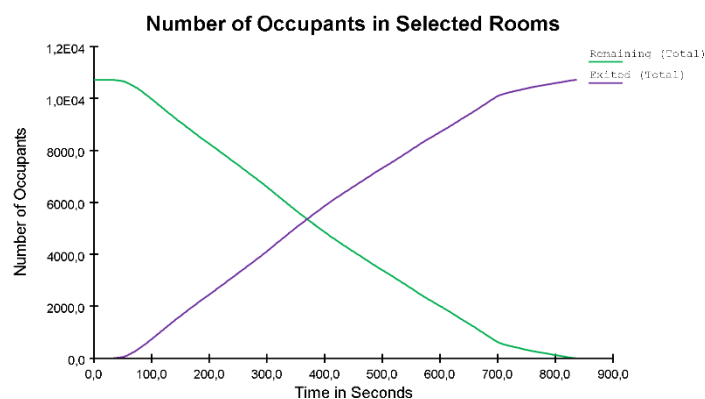


Figura 93 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

A partir da Figura 93 constata-se que, a partir dos 700 segundos, o fluxo de saída diminui. Até a esse momento, o fluxo de saída era praticamente constante.

Na Tabela 33 observam-se os resultados obtidos, para uma velocidade igual a 1,4 m/s.

Tabela 33 - Cenário 4: Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	699	743,3
Tempo total (s)	819	863,3

Pela Tabela 33 concluiu-se que o menor tempo de evacuação total foi de 819 segundos (aproximadamente 13,7 minutos).

As Figuras 94 e 95 expõem os resultados obtidos, com a velocidade igual a 1,4 m/s.

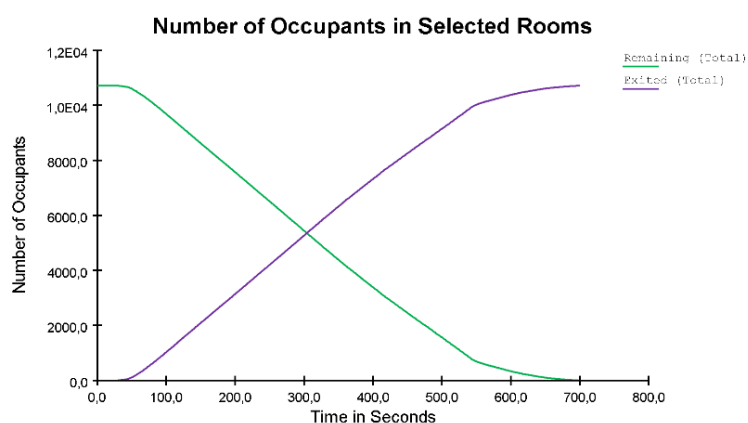


Figura 94 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 94 é possível verificar que, aos 300 segundos, praticamente metade dos adeptos se encontra fora do recinto desportivo. A partir dos 550 segundos, ocorre uma diminuição do fluxo de saída. Até então, o fluxo de saída era praticamente constante.

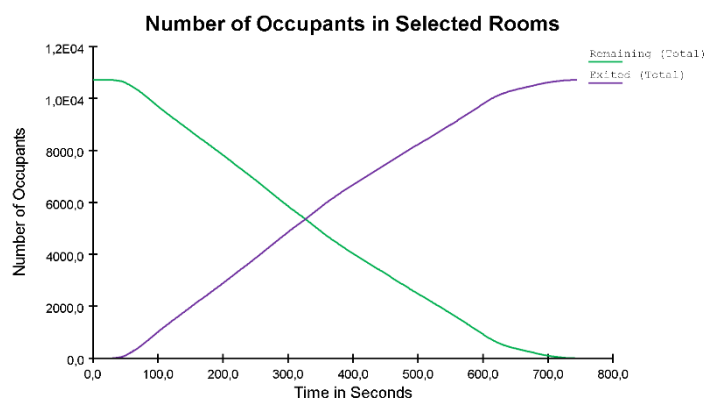


Figura 95 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 95 constata-se que, aos 300 segundos, o número de pessoas evacuadas não atingiu os 50% da lotação total. A partir dos 600 segundos, ocorre uma diminuição de fluxo de saída.

Na Tabela 34 é possível analisar os resultados obtidos da simulação computacional, com velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 34 - Cenário 4: Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	628,8	651,8
Tempo total (s)	748,8	771,8

Pela Tabela 34 verifica-se que o menor tempo de evacuação foi de 748,8 segundos (aproximadamente 12,5 minutos).

As Figuras 96 e 97 apresentam os resultados obtidos com uma velocidade igual a 1,6 m/s.

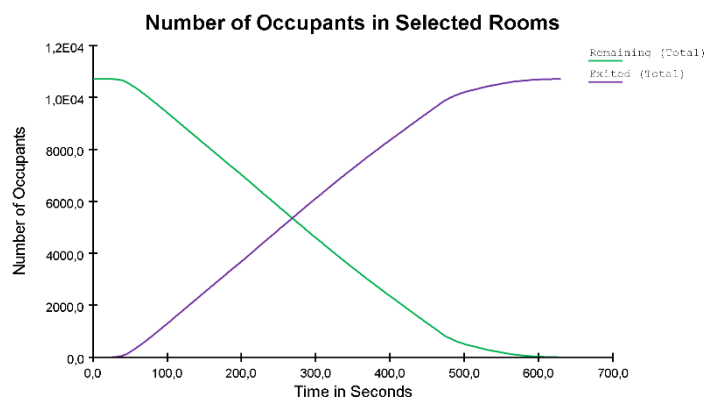


Figura 96 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 96 observa-se que, aos 300 segundos, a evacuação já excedeu os 50% da totalidade da bancada, ocorrendo um fluxo de saída constante, aproximadamente, até aos 500 segundos.

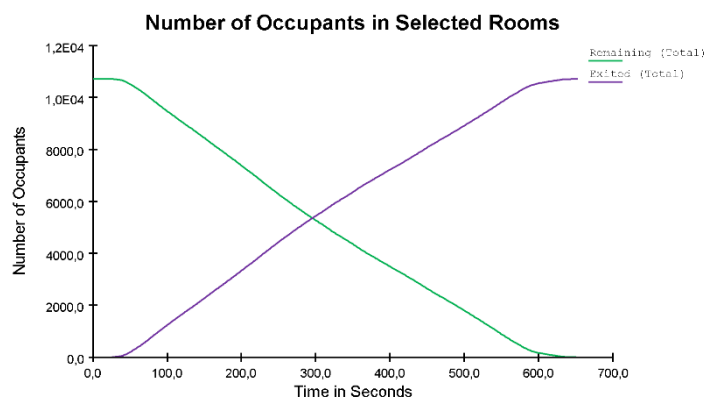


Figura 97 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas centrais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 97, aos 300 segundos, o processo de evacuação atingiu os 50%. Salienta-se, ainda, um fluxo constante de saída até aos 600 segundos, aproximadamente.

- Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis

Na Tabela 35 constata-se os resultados de simulação obtidos para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 35 - Cenário 4: Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	720,5	842,5
Tempo total (s)	840,5	962,5

Pela Tabela 35 verifica-se que o menor tempo de evacuação total foi de 840,5 segundos (aproximadamente 14 minutos).

As Figuras 98 e 99 revelam os resultados obtidos com uma velocidade igual a 1,2 m/s.

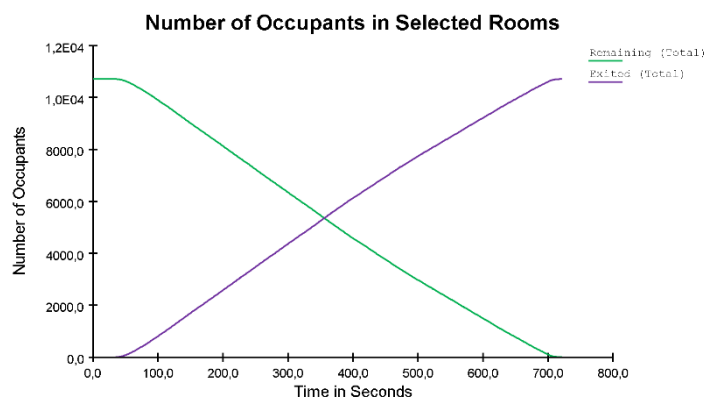


Figura 98 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 98 é possível verificar que, em todo o processo de evacuação, ocorre um fluxo de saída constante. Salienta-se ainda que 50% dos adeptos são evacuados em, aproximadamente, 350 segundos.

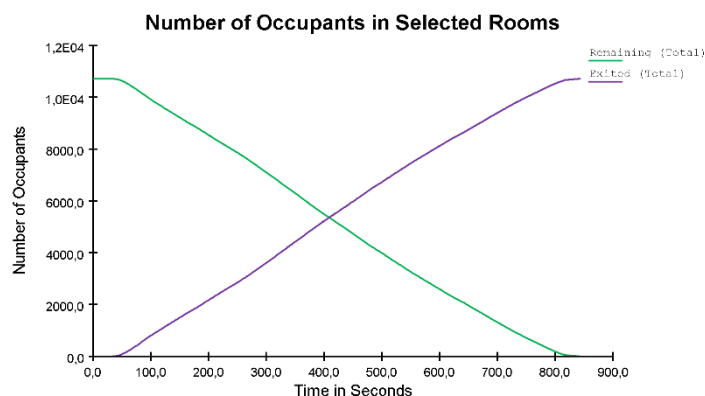


Figura 99 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 99 constata-se que, em toda a evacuação dos adeptos, existe um fluxo constante na sua saída do recinto desportivo. Destaca-se o tempo de 400 segundos para a evacuação de 50% da lotação máxima da bancada.

Na Tabela 36 são apresentados os resultados de simulação obtidos para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 36 - Cenário 4: Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	636,3	725,3
Tempo total (s)	756,3	845,3

Pela Tabela 36 verifica-se que o menor tempo de evacuação é de 756,3 segundos (aproximadamente 12,6 minutos).

Nas Figuras 100 e 101 é possível analisar os resultados obtidos, para uma velocidade igual a 1,4 m/s.

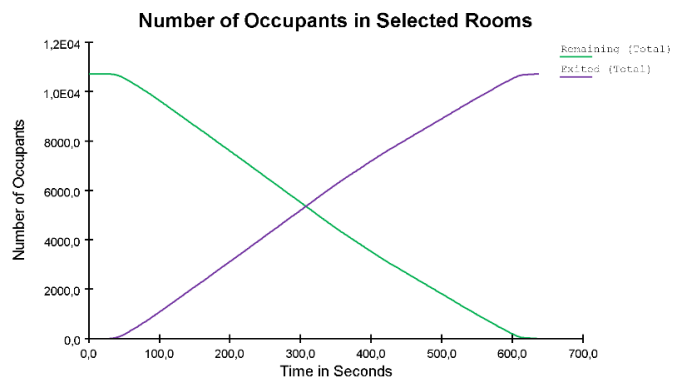


Figura 100 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 100 verifica-se que existe um fluxo de saída constante em todo o processo de evacuação. Aproximadamente aos 300 segundos ocorre a evacuação de 50% dos adeptos da bancada.

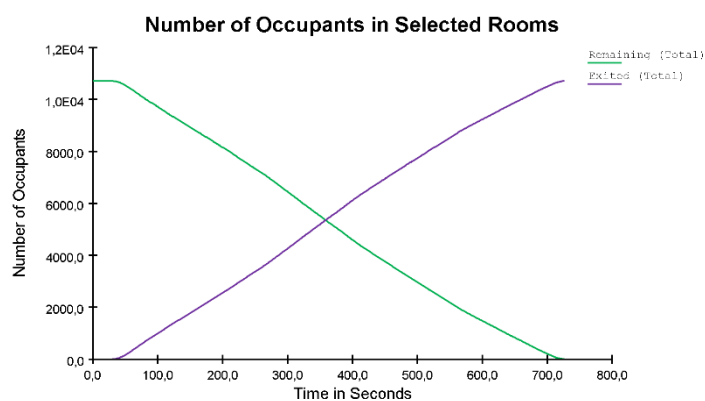


Figura 101 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 101 verifica-se que, aos 400 segundos, mais de metade dos adeptos já foram evacuados. Em todo o processo ocorre um fluxo constante de saída para o exterior do recinto.

A Tabela 37 expõe os resultados de simulação obtidos para uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 37 - Cenário 4: Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	561,5	660,3
Tempo total (s)	681,5	780,3

Pela Tabela 37 verifica-se que o menor tempo de evacuação total foi de 681,5 segundos (aproximadamente 11,4 minutos).

Nas Figuras 102 e 103 é possível observar a evolução do número de adeptos na saída.

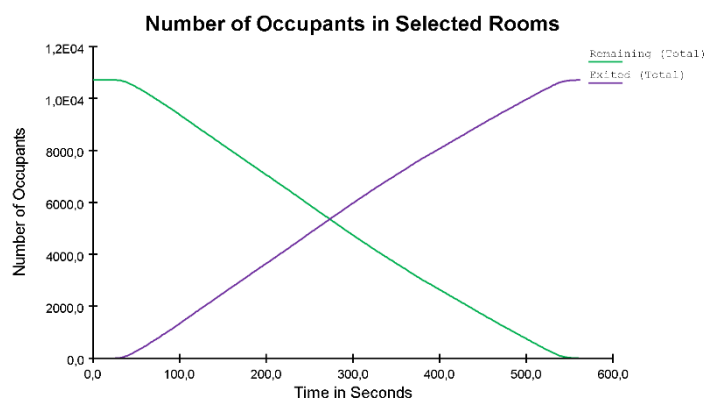


Figura 102 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 102 constata-se que, aos 300 segundos, mais de 50% dos adeptos foram evacuados. É verificado um fluxo constante de saída, praticamente em todo o processo.

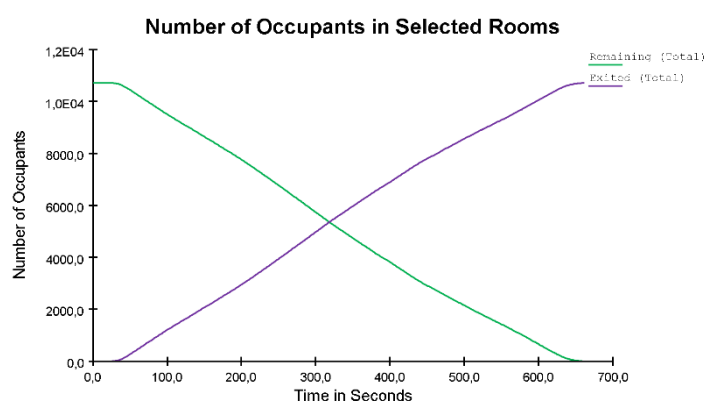


Figura 103 - Evolução do número de adeptos (cenário 4 – Saídas laterais + saídas Tribuna VIP disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 103 confirma-se que foram necessários mais de 300 segundos para a evacuação atingir o valor de 50% do processo.

3.4.5. Cenário 5 – Bancada Central e Lateral Nascente

O objetivo do cenário 5 é averiguar o comportamento do tempo de evacuação com algumas variáveis, na Bancada Central e Lateral Nascente, em conjunto com a Tribuna Nascente e Box Nascente, sendo o número de ocupantes para este cenário de 11175.

- Todas as saídas disponíveis;
- Saídas centrais disponíveis + saídas Tribuna e Box Nascente;
- Saídas laterais disponíveis + saídas Tribuna e Box Nascente.

Na Figura 104 é possível observar uma representação da bancada em estudo, bem como as suas saídas.



Figura 104 - Representação saídas Bancada Nascente

As saídas rodeadas a azul são consideradas as saídas centrais, enquanto as rodeadas de laranja, as laterais. As saídas rodeadas a amarelo representam as saídas Tribuna e Box Nascente.

- Todas as saídas disponíveis

Na Tabela 38 são apresentados os resultados obtidos pela simulação computacional, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 38 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	661,3	757,5
Tempo total (s)	781,3	877,5

Pela Tabela 38 verifica-se que o menor tempo de evacuação foi de 781,3 segundos (aproximadamente 13 minutos).

As Figuras 105 e 106 permitem analisar a evolução do número de pessoas evacuadas para o exterior do Estádio do Dragão.

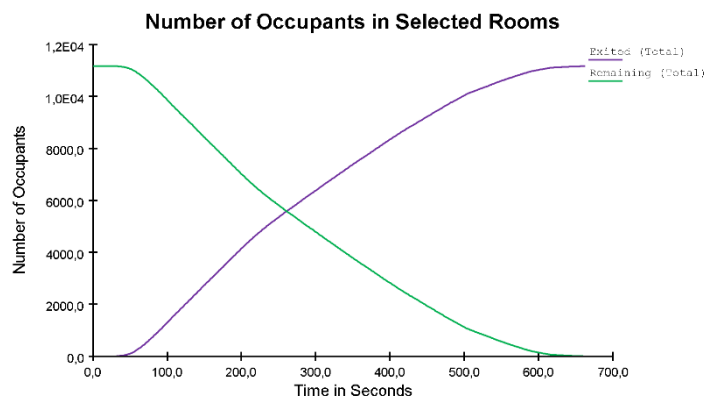


Figura 105 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 105 constata-se que, aos 300 segundos, já mais de 50% dos adeptos se encontram fora das instalações. Cerca de 2000 pessoas foram evacuadas, nos últimos 100 segundos.

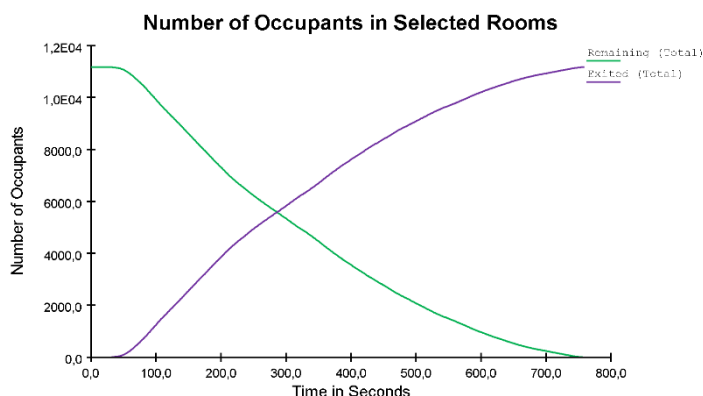


Figura 106 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 106 verifica-se que, foram necessários 300 segundos para a evacuação atingir os 50%. Aproximadamente 2000 pessoas foram evacuadas nos últimos 200 segundos.

Na Tabela 39 são apresentados os resultados para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 39 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	725	735,8
Tempo total (s)	845	855,8

Através da Tabela 39 conclui-se que, com uma velocidade de 1,4 m/s, foram necessários 845 segundos (aproximadamente 14 minutos) para terminar o processo de evacuação.

As Figuras 107 e 108 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

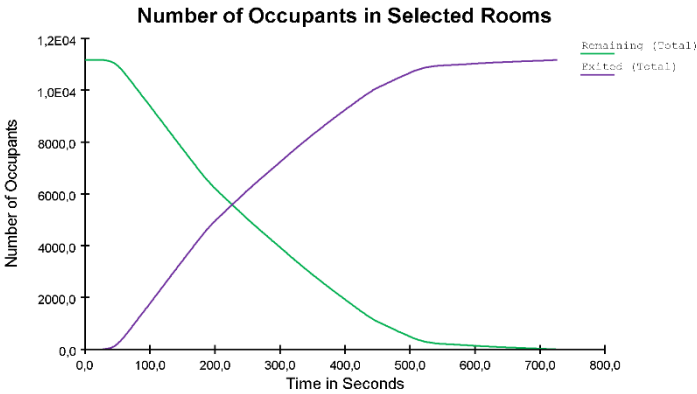


Figura 107 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 107 verifica-se que, entre os 200 e os 250 segundos, foram evacuados metade dos adeptos presentes na bancada. Ocorreu um fluxo de saída constante, até aos 500 segundos, sendo que, nos últimos 200 segundos, esse fluxo decresceu abruptamente.

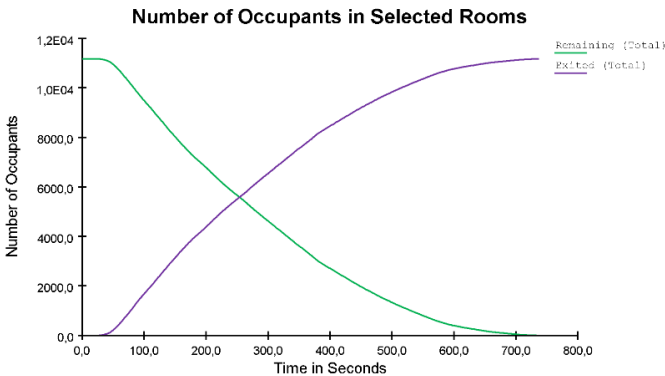


Figura 108 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 108, a margem de 50% de adeptos evacuados foi alcançada no intervalo de 250-300 segundos. Ocorreu ainda um fluxo constante de saída até aos 500 segundos.

Na Tabela 40 são apresentados os resultados obtidos pela simulação computacional para uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 40 - Cenário 5: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	518,3	713,3
Tempo total (s)	638,3	833,3

Pela Tabela 40 constata-se que, com uma velocidade de 1,6 m/s, o menor tempo de evacuação na bancada foi de 638,3 segundos (aproximadamente 10,7 minutos).

As Figuras 109 e 110 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação, para uma velocidade de 1,6 m/s.

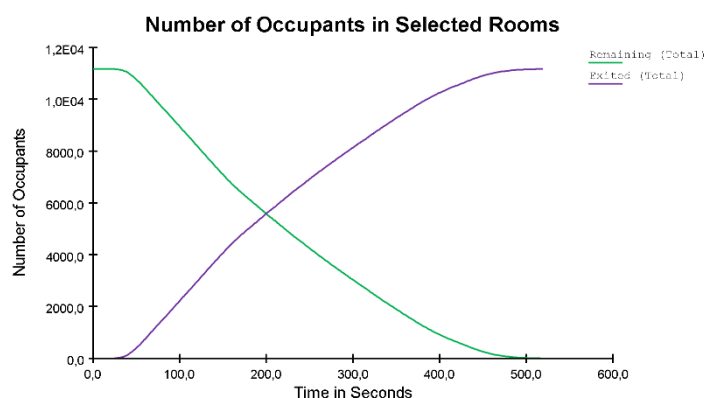


Figura 109 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 109 verifica-se que, aos 200 segundos, 50% dos adeptos já se encontra no exterior do recinto. Entre os 100 e 400 segundos, ocorre uma taxa de saída praticamente constante dos adeptos.

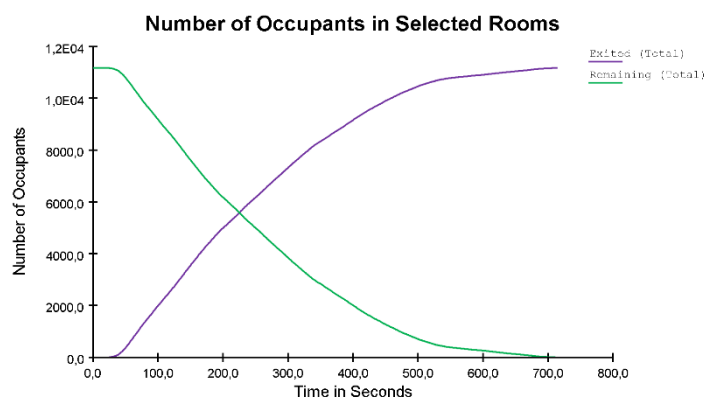


Figura 110 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 110 observa-se que o valor de 50% da evacuação realizada, só foi atingida depois dos 200 segundos. A taxa constante de saída ocorreu entre os 100 e os 400 segundos, sendo que foram necessários, aproximadamente, 700 segundos para a evacuação estar 100% realizada.

- Saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis

Na Tabela 41 são apresentados os resultados obtidos para o cenário 5, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 41 - Cenário 5: saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	909,5	936,3
Tempo total (s)	1029,5	1056,3

Pela Tabela 41 verifica-se que o menor tempo total de evacuação foi de 1029,5 segundos (aproximadamente 17 minutos).

As Figuras 111 e 112 mostram a evolução do número de adeptos na evacuação.

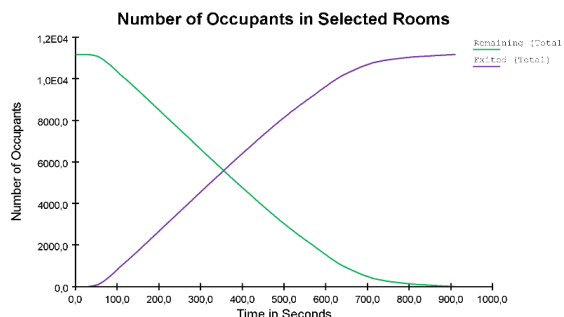


Figura 111 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 111 verifica-se que, aos 400 segundos, 50% dos adeptos presentes na bancada encontra-se fora do recinto. Salienta-se, ainda, a existência de uma taxa de saída constante dos adeptos até aos 600 segundos, aproximadamente.

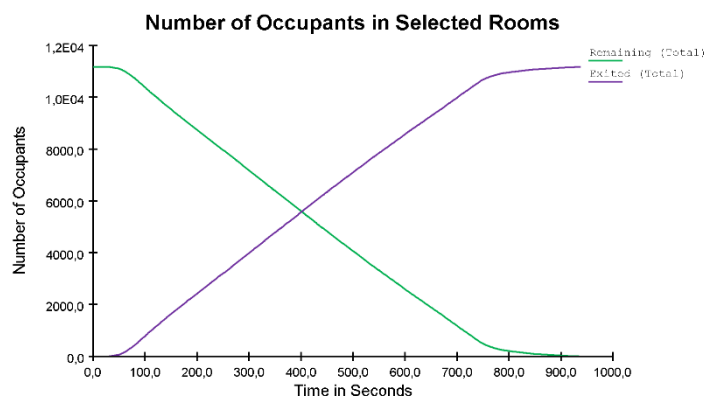


Figura 112 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 112 verifica-se que o valor de 50% de adeptos evacuados só foi atingido aos 400 segundos. Salienta-se, ainda, uma taxa de saída constante até aos 700 segundos, sendo que, nos últimos 200 segundos, ocorreu um decréscimo na taxa.

Na Tabela 42 é possível observar os tempos obtidos pela simulação computacional.

Tabela 42 - Cenário 5: saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	823,3	861,5
Tempo total (s)	943,3	981,5

Pela Tabela 42 verifica-se que o menor tempo de evacuação foi de 943,3 segundos (aproximadamente 15,7 minutos), para os 100% dos adeptos presentes na bancada.

As Figuras 113 e 114 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

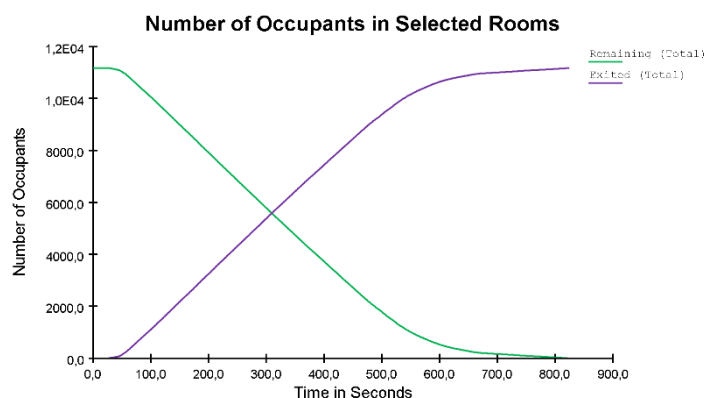


Figura 113 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 113 verifica-se que, aproximadamente aos 300 segundos, 50% dos adeptos foram evacuados em segurança. Salienta-se, ainda, a duração de quase 300 segundos para a evacuação dos últimos 2000 adeptos.

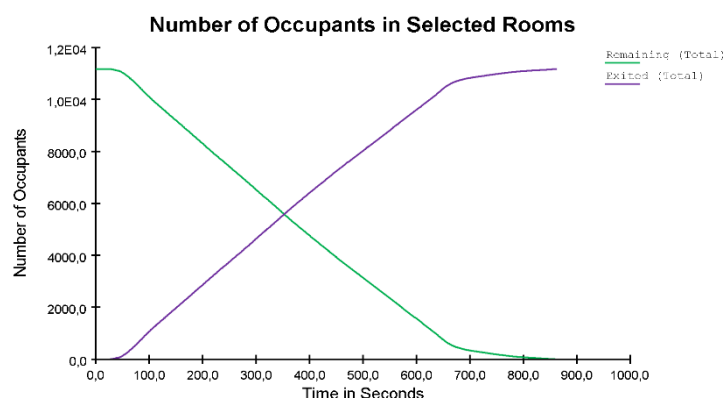


Figura 114 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 114, o tempo necessário para a evacuação de 50% dos adeptos já foi de 350 segundos, aproximadamente. No entanto, foram necessários mais 300 segundos para a evacuação dos últimos 2000 adeptos.

Na Tabela 43 são apresentados os resultados da simulação computacional, para a velocidade a 1,6 m/s dos adeptos.

Tabela 43 - Cenário 5: saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	749,8	765,8
Tempo total (s)	869,8	885,8

Pela Tabela 43 conclui-se que o menor tempo necessário para a evacuação de todos os adeptos foi de 869,8 segundos (aproximadamente 14,5 minutos).

As Figuras 115 e 116 apresentam a evolução do número de ocupantes ao longo do processo de evacuação.

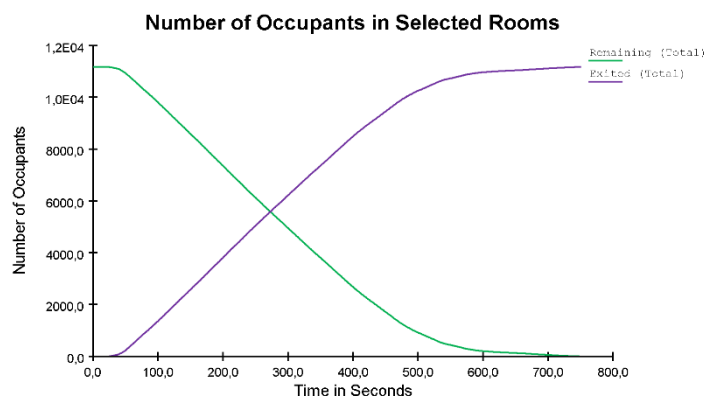


Figura 115 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 115 constata-se que, aos 300 segundos, o valor de 50% de adeptos em segurança no exterior do Estádio foi atingido. Salienta-se, ainda, que nos últimos 300 segundos foram evacuados 2000 adeptos.

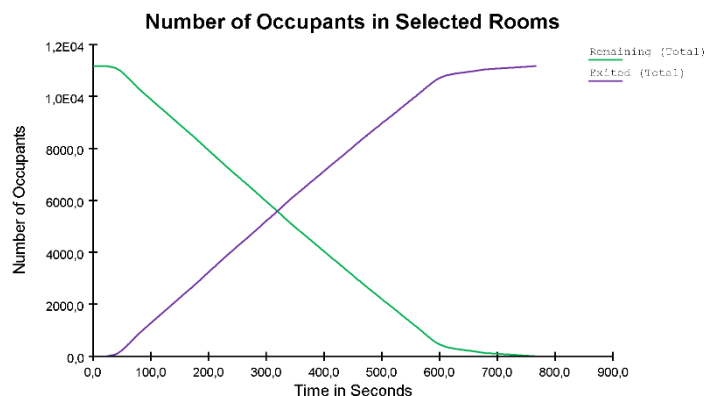


Figura 116 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas centrais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 116 verifica-se que, aos 300 segundos, menos de 50% dos adeptos já saíram do Estádio. A partir dos 500 segundos e até ao fim da evacuação saíram, praticamente, 2000 adeptos. O fluxo de saída de adeptos foi constante até aos 600 segundos, aproximadamente.

- Saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis

A Tabela 44 apresenta os resultados obtidos pela simulação computacional, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 44 - Cenário 5: saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	722,5	900,3
Tempo total (s)	842,5	1020,3

Pela Tabela 44 conclui-se que o menor tempo total de evacuação foi de 842,5 segundos (aproximadamente 14 minutos), para a evacuação de 100% dos adeptos.

As Figuras 117 e 118 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação do Estádio.

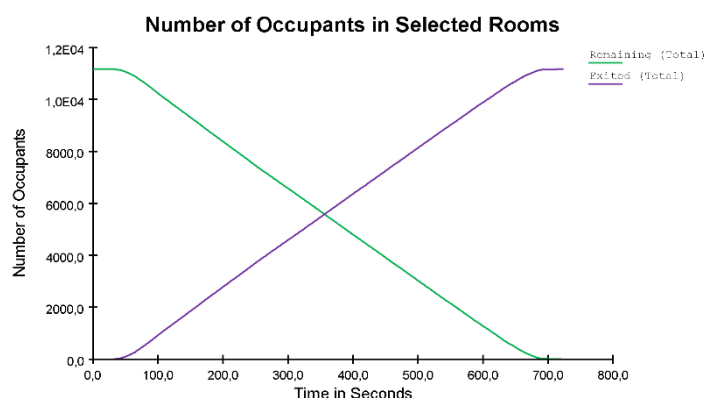


Figura 117 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 117 verifica-se um fluxo de saída praticamente constante em todo o processo de evacuação. Aos 400 segundos, a evacuação já tinha atingido o valor de 50% dos adeptos evacuados.

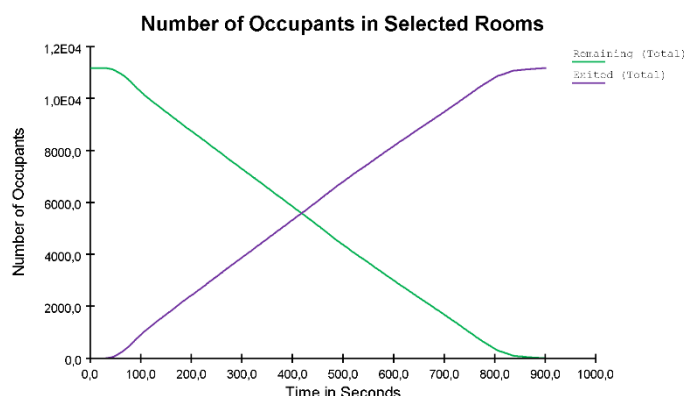


Figura 118 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 118 constata-se que, nos mesmos 400 segundos, o valor de 50% dos adeptos evacuados foi atingido. Salienta-se, ainda, um fluxo de saída constante até aos 800 segundos de evacuação.

A Tabela 45 expõe os tempos de simulação computacional, para uma velocidade dos adeptos de 1,4 m/s.

Tabela 45 - Cenário 5: saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	600	779,3
Tempo total (s)	720	899,3

Pela Tabela 45 verifica-se que a bancada em análise é evacuada com sucesso em 720 segundos (12 minutos).

As Figuras 119 e 120 mostram a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

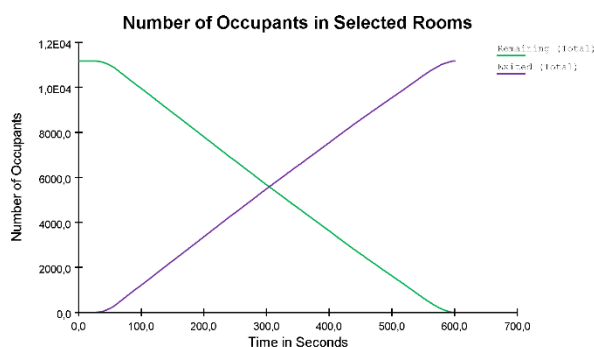


Figura 119 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 119 conclui-se que, aos 300 segundos, já 50% dos adeptos tinham sido evacuados para o exterior do recinto. Ocorre, ainda, um fluxo de saída constante em praticamente todo o processo de evacuação.

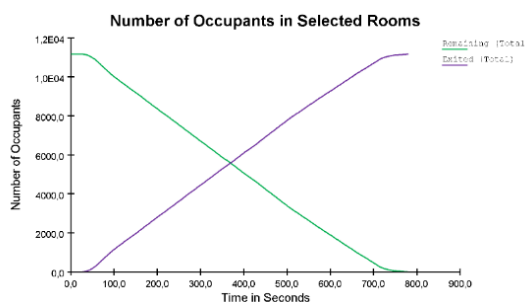


Figura 120 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 120 verifica-se que já foram necessários, aproximadamente, 400 segundos para atingir o valor de 50% dos adeptos evacuados. Salienta-se, ainda, que ocorre um fluxo constante de saída de adeptos até aos 700 segundos, aproximadamente.

A Tabela 46 apresenta os resultados obtidos para uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 46 - Cenário 5: saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	540	690
Tempo total (s)	660	810

Pela Tabela 46 conclui-se que, em 660 segundos (11 minutos), os adeptos realizam a evacuação com uma velocidade de 1,6 m/s.

As Figuras 121 e 122 evidenciam a evolução do número de pessoas ao longo do processo.

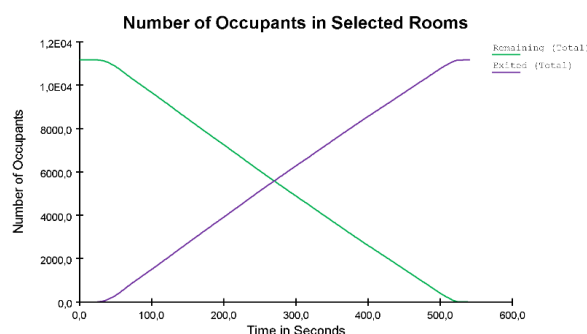


Figura 121 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 121 nota-se que, aos 300 segundos, metade dos adeptos já se encontra no exterior do Estádio, em segurança. Salienta-se, ainda, um fluxo de saída praticamente constante em toda a evacuação.

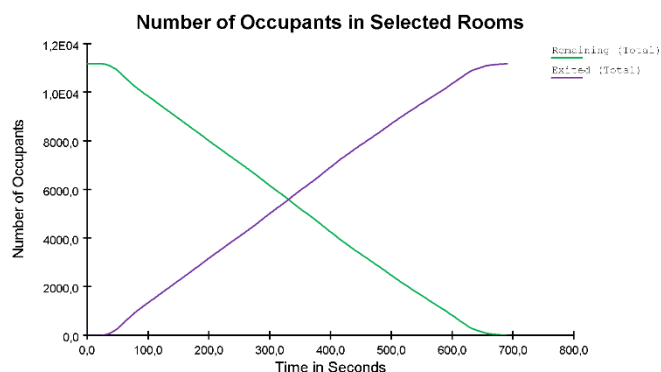


Figura 122 - Evolução do número de adeptos (cenário 5 – saídas laterais + saídas Tribuna e Box Nascente disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

A Figura 122 evidencia a necessidade de mais de 300 segundos para 50% da evacuação estar finalizada. Ocorre ainda um fluxo de saída constante até aos 600 segundos.

3.4.6. Cenário 6 – Arquibancada Poente

O objetivo do cenário 6 é averiguar a variação de tempo de simulação na evacuação dos adeptos da Arquibancada Poente, através da mudança de velocidade dos mesmos, bem como a disponibilidade e/ou indisponibilidade das saídas do Estádio. O número de adeptos, na sua lotação máxima, é de 5695 pessoas.

- Todas as saídas disponíveis;
- Só saídas centrais disponíveis;
- Só saídas laterais disponíveis.

A Figura 123 reporta uma representação da Arquibancada Poente. A Figura 124 apresenta as saídas desta arquibancada.

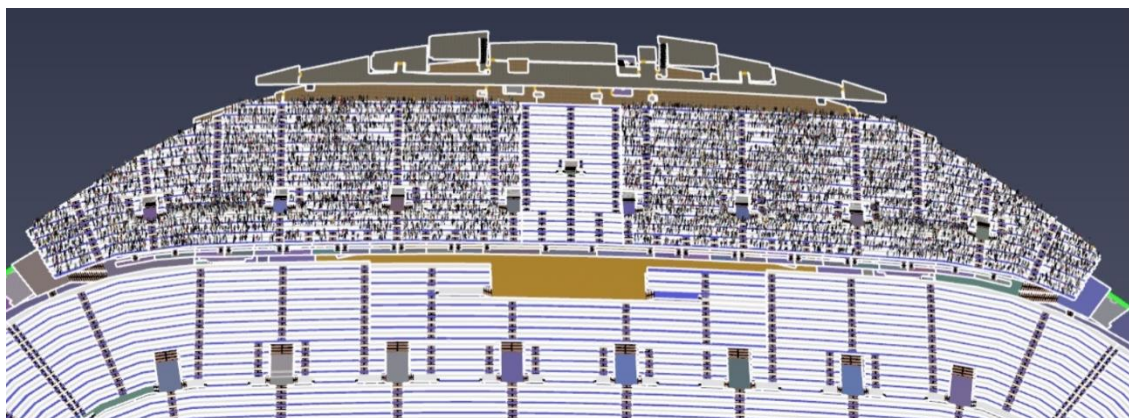


Figura 123 - Representação Arquibancada Poente

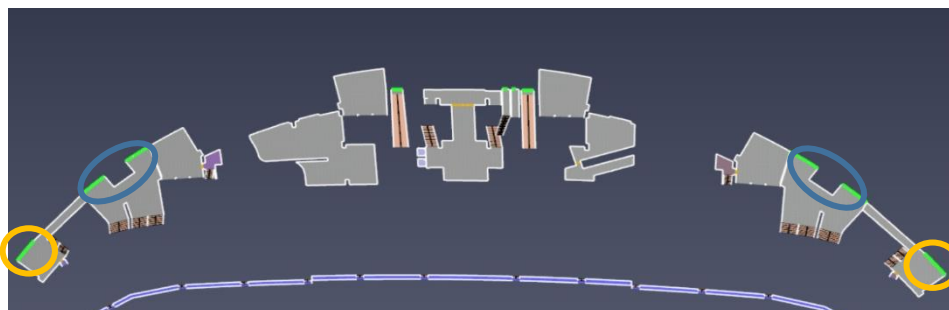


Figura 124 - Representação saídas Arquibancada Poente

As saídas rodeadas a azul são consideradas as saídas centrais, enquanto as rodeadas de laranja, as laterais.

- Todas as saídas disponíveis

A Tabela 47 apresenta os resultados obtidos pela simulação computacional, para a arquibancada poente.

Tabela 47 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	814,5	1293
Tempo total (s)	934,5	1413

Pela Tabela 47 verifica-se que o tempo de evacuação total é de 934,5 segundos (aproximadamente 15,6 minutos). Nota-se ainda uma grande diferença entre o tempo de evacuação quando há liberdade de troca de saída (*Current Door Preference* = 0%) durante o processo de evacuação e quando a mesma não existe (*Current Door Preference* = 100%).

As Figuras 125 e 126 apresentam uma evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

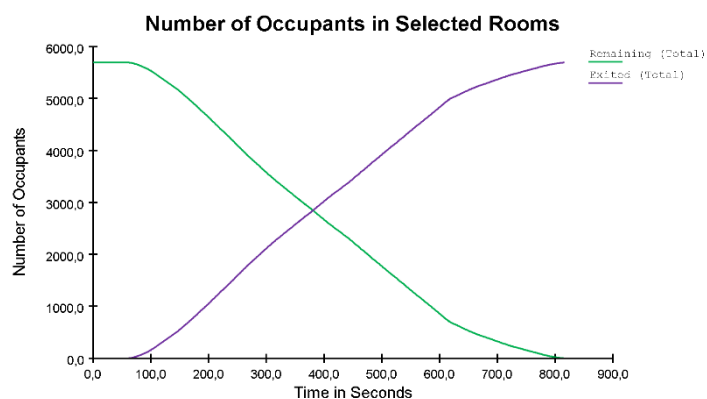


Figura 125 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; *Current Door Preference* 0%

Pela Figura 125 conclui-se que, aos 400 segundos de evacuação, metade dos adeptos já se encontrava fora do Estádio em segurança. Ocorre, ainda, um fluxo de saída constante dos adeptos até aos 600 segundos.

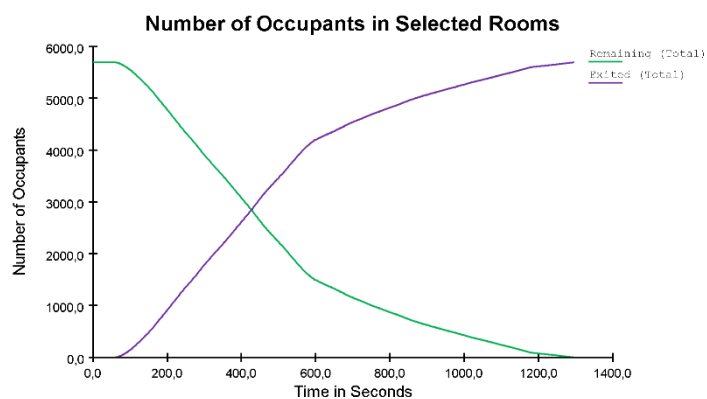


Figura 126 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 126 nota-se que, aos 400 segundos, o processo de evacuação ainda não tinha atingido os 50% de adeptos evacuados. Ocorre, ainda, um decréscimo elevado no fluxo de saída a partir dos 600 segundos (nos últimos 600 segundos foram evacuados 1500 adeptos, aproximadamente).

Na Tabela 48 são apresentados os resultados para o cenário 6, com todas as saídas disponíveis para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 48 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	729,3	1034
Tempo total (s)	849,3	1154

Pela Tabela 48 analisa-se que o menor tempo de evacuação total foi de 849,3 segundos (aproximadamente 14,2 minutos). Salienta-se, ainda, a elevada diferença entre os dois valores de tempo de evacuação total.

As Figuras 127 e 128 apresentam a evolução do número de adeptos no Estádio ao longo do processo de evacuação.

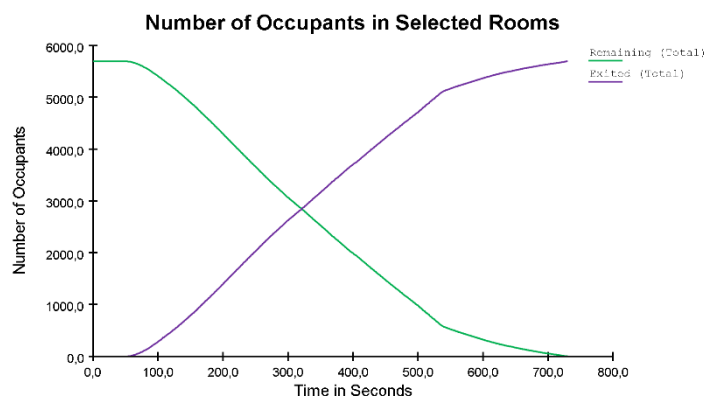


Figura 127 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 127 verifica-se que, aproximadamente aos 350 segundos, a evacuação atingiu o valor de 50% dos adeptos evacuados. Até aos 500 segundos ocorre um fluxo de saída praticamente constante. No entanto, a partir dessa altura, ocorre um decréscimo elevado no fluxo até ao final do processo.

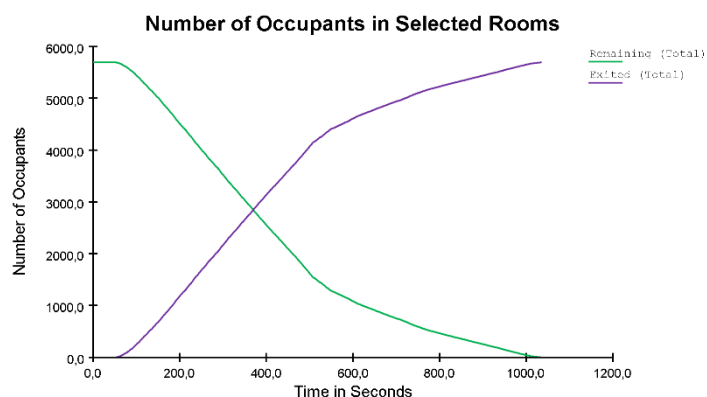


Figura 128 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 128 nota-se que o valor de 50% de adeptos evacuados já só foi atingido perto dos 400 segundos. Salienta-se um decréscimo no fluxo de saída a partir dos 500 segundos, aproximadamente (nos últimos 500 segundos foram evacuados 1500 adeptos).

A Tabela 49 expõe os resultados obtidos para este cenário em análise.

Tabela 49 - Cenário 6: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	693,8	1007
Tempo total (s)	813,8	1127

Pela Tabela 49 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 813,8 segundos (aproximadamente 13,6 minutos). Salienta-se a diferença de quase 300 segundos (5 minutos) para os dois resultados.

As Figuras 129 e 130 mostram a evolução do número dos adeptos que saem e dos que ainda permanecem no Estádio, ao longo da evacuação.

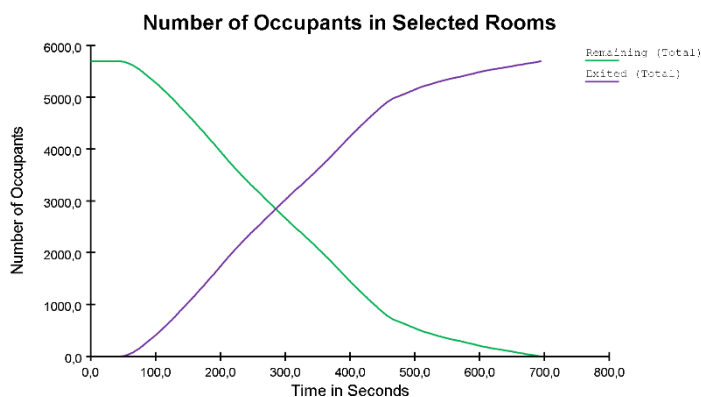


Figura 129 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 0%

Pela Figura 129 verifica-se que, aproximadamente aos 300 segundos, metade dos adeptos já atingiram o exterior. Salienta-se, ainda, que nos últimos 200 segundos, ocorre um decréscimo no fluxo de saída de adeptos.

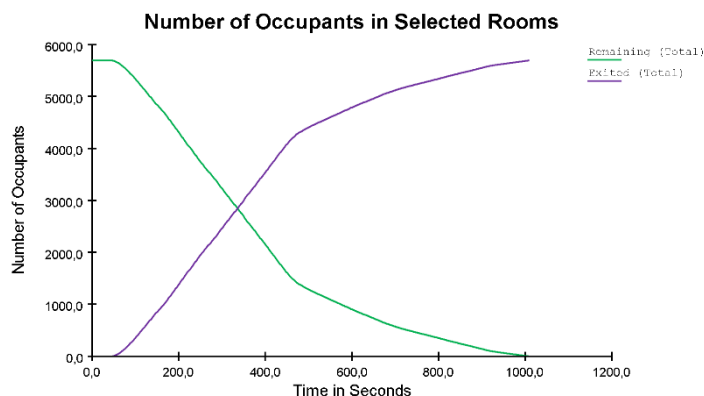


Figura 130 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 130 é possível verificar que os últimos 2000 adeptos são evacuados em 600 segundos, sendo um tempo bastante elevado em relação aos primeiros 3000 (400 segundos). A primeira metade de adeptos consegue ser evacuada em, aproximadamente, 350 segundos.

- Só saídas centrais disponíveis

Na Tabela 50 são apresentados os resultados para o cenário 6, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 50 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	976	1494,3
Tempo total (s)	1096	1614,3

Pela Tabela 50 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1096 segundos (aproximadamente 18 minutos). Salienta-se a diferença de cerca de 518 segundos (aproximadamente 8,6 minutos) entre os dois tempos de simulação obtidos.

As Figuras 131 e 132 apresentam a evolução do número de adeptos no Estádio do Dragão.

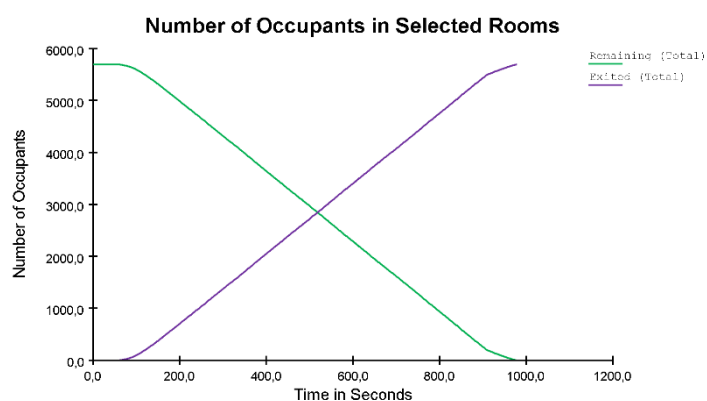


Figura 131 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 131 verifica-se um fluxo praticamente constante em todo o processo de evacuação. Salienta-se, ainda, a necessidade de, aproximadamente 500 segundos para a primeira metade de adeptos presentes na bancada serem evacuados.

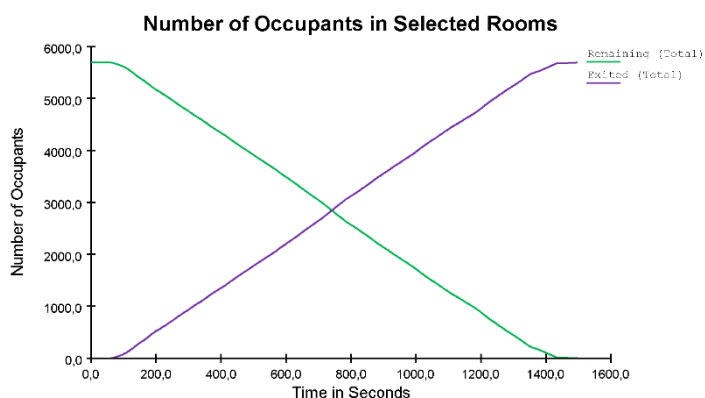


Figura 132 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 132 verifica-se que foram necessários, aproximadamente, 800 segundos para evacuar os primeiros 50% de adeptos presentes na bancada. Ocorre, ainda, um fluxo de saída constante em praticamente todo o processo de evacuação.

Na Tabela 51 são expostos os valores obtidos pela simulação computacional, para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 51 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	852,5	1264,3
Tempo total (s)	972,5	1384,3

Pela Tabela 51 é possível verificar a elevada diferença entre os dois tempos obtidos (aproximadamente 400 segundos). O menor tempo de evacuação total foi de 972,5 segundos (aproximadamente 16 minutos).

As Figuras 133 e 134 apresentam a evolução, ao longo do tempo, do número de adeptos no interior e exterior do Estádio.

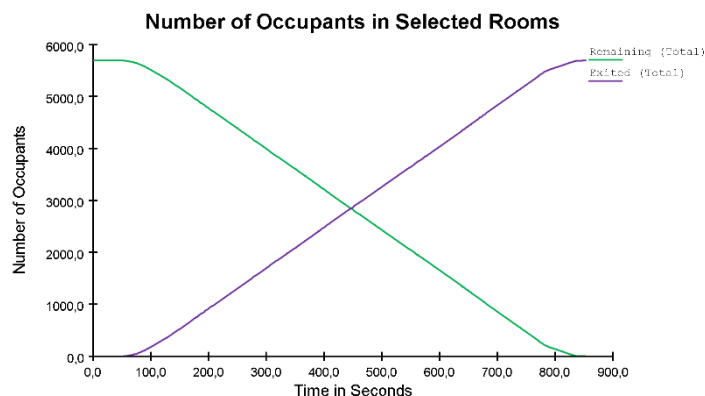


Figura 133 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 133 conclui-se que a primeira metade de adeptos realizou a evacuação aos 450 segundos, aproximadamente. Ocorre, ainda, um fluxo de saída constante de adeptos praticamente em todo o processo de evacuação.

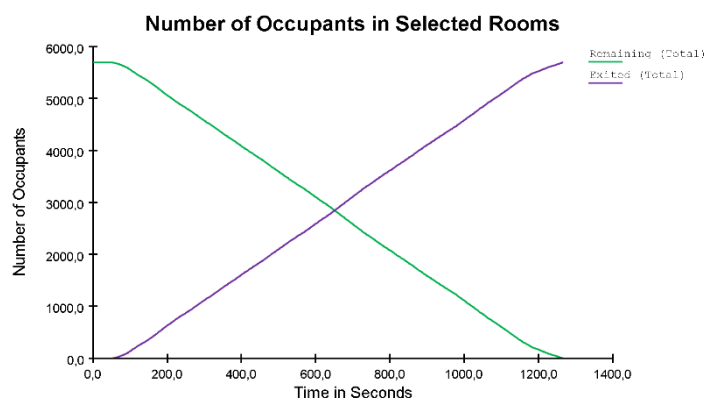


Figura 134 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Já a Figura 134 indica que os primeiros 50% de adeptos realizaram a evacuação, aproximadamente, aos 600 segundos. Foram necessários mais 600 segundos para a evacuação dos restantes, evidenciando, por isso, um fluxo de saída constante em todo o processo.

Na Tabela 52 são apresentados os resultados obtidos para o cenário 6, com uma velocidade de 1,6 m/s, com apenas as saídas centrais disponíveis.

Tabela 52 - Cenário 6: só saídas centrais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	756,8	1187
Tempo total (s)	876,8	1307

Pela Tabela 52 conclui-se que o menor tempo de evacuação foi de 876,8 segundos, o que equivale a, aproximadamente, 14,6 minutos. Note-se, ainda, a diferença de 430 segundos entre estes dois valores obtidos pela simulação computacional.

As Figuras 135 e 136 demonstram a evolução do número de adeptos, ao longo do processo de evacuação.

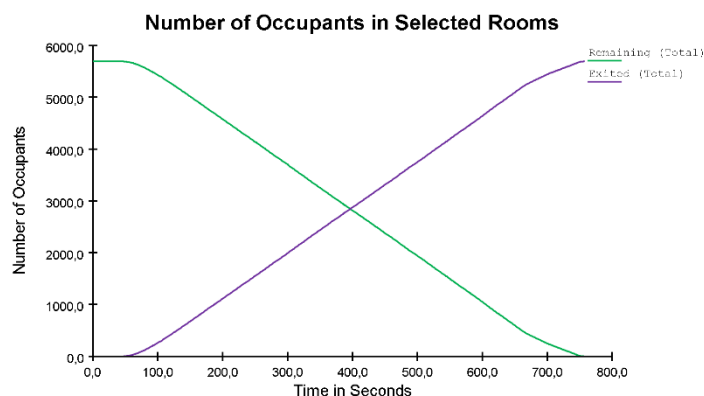


Figura 135 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 135 verifica-se que foram necessários 400 segundos para a evacuação da primeira metade dos adeptos presentes na Arquibancada Poente. As portas de saída foram alvo de um fluxo constante, a partir dos 100 segundos até ao final do processo de evacuação.

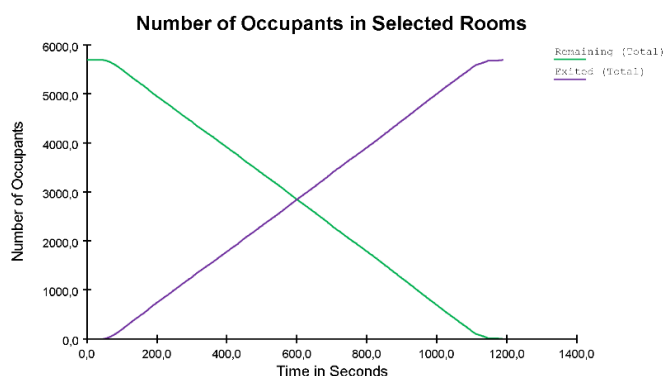


Figura 136 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas centrais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 136 conclui-se que foram necessários 600 segundos para a evacuação atingir os 50% de adeptos. Foram ainda necessários, aproximadamente, 1200 segundos, para evacuar todos os adeptos presentes na Arquibancada Poente.

- Só saídas laterais disponíveis

Na Tabela 53 é possível observar os resultados obtidos pela simulação computacional para este conjunto de cenários.

Tabela 53 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1433	1459
Tempo total (s)	1553	1579

Na Tabela 53 verifica-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1553 segundos (aproximadamente 25,8 minutos), quando apenas as saídas laterais se encontram disponíveis.

As Figuras 137 e 138 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

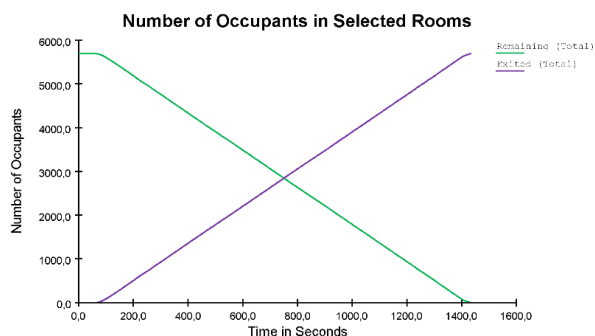


Figura 137 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

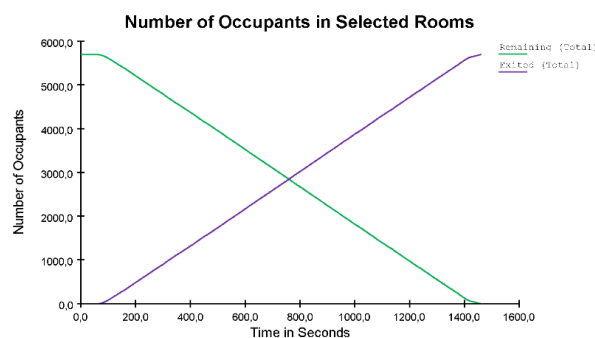


Figura 138 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Nas Figuras 137 e 138 conclui-se a existência de um fluxo de saída praticamente constante. Para além disso, a partir dos 1400 segundos ocorre um decréscimo no fluxo. Foram necessários perto de 800 segundos para a primeira metade dos adeptos ser evacuada. A variável *Current Door Preference* não possui impacto no tempo de evacuação, nesta situação.

Na Tabela 54 é possível observar os resultados obtidos pela simulação computacional para este conjunto de possibilidades.

Tabela 54 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1228,3	1259
Tempo total (s)	1348,3	1379

Pela Tabela 54 constata-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1348,3 segundos (aproximadamente 22,5 minutos).

As Figuras 139 e 140 possibilitam averiguar a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

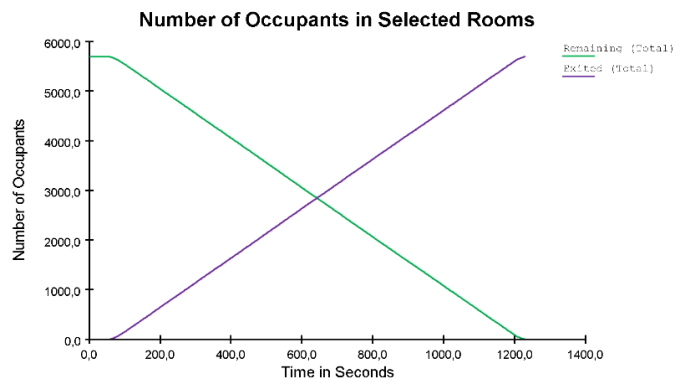


Figura 139 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

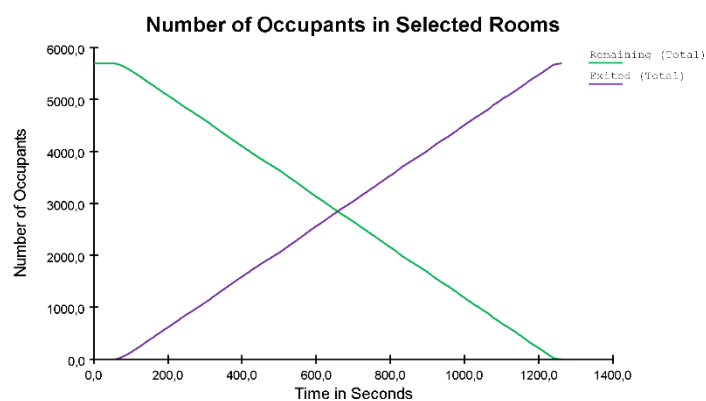


Figura 140 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pelas Figuras 139 e 140 é possível concluir que a variável *Current Door Preference* não tem influência no tempo necessário para a arquibancada ser evacuada, quando só as saídas laterais estão disponíveis, dado que o tempo de evacuação é praticamente o mesmo.

A Tabela 55 apresenta os resultados obtidos pela simulação computacional, para uma velocidade dos adeptos de 1,6 m/s.

Tabela 55 - Cenário 6: só saídas laterais disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1076,8	1107,8
Tempo total (s)	1196,8	1227,8

Pela Tabela 55 constata-se que o menor tempo total de evacuação é de 1196,8 segundos (aproximadamente 19,9 minutos).

As Figuras 141 e 142 mostram a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação do recinto.

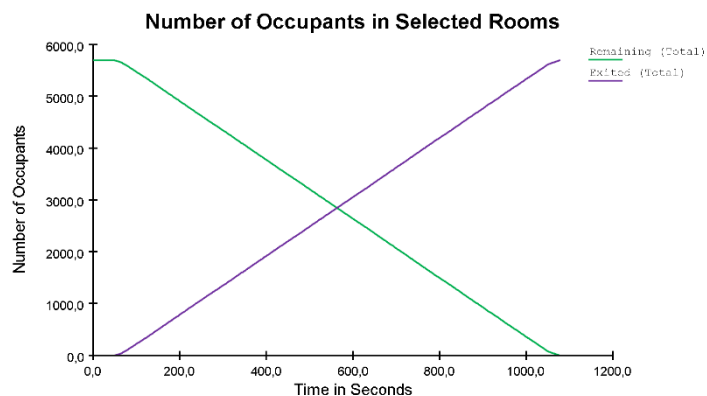


Figura 141 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

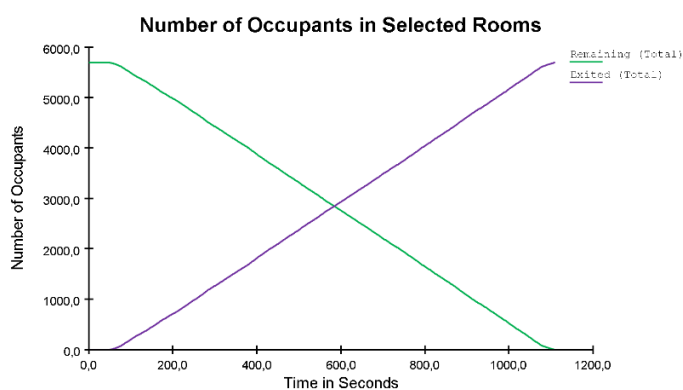


Figura 142 - Evolução do número de adeptos (cenário 6 – só saídas laterais disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

As Figuras 141 e 142 permitem concluir a existência de um fluxo constante de saída de adeptos em praticamente todo o processo de evacuação. Salienta-se, ainda, a questão da variável *Current Door Preference* não influenciar o tempo de evacuação. Em ambas as situações, o tempo de evacuação da primeira metade dos adeptos da Arquibancada Poente foi de, aproximadamente, 600 segundos.

3.4.7. Cenário 7 – Arquibancada Nascente

O objetivo do cenário 7 é estudar a variação do tempo total de evacuação da zona da Arquibancada Nascente, mais concretamente nos setores 42 ao 46, pertencentes aos adeptos do Futebol Clube do Porto. Salienta-se que, nesta arquibancada, existe uma divisão entre adeptos dos dois clubes, implicando apenas a existência de uma saída lateral e outra central para cada conjunto de adeptos. Neste conjunto de setores, o número de adeptos é de 3660.

- Todas as saídas disponíveis;
- Só saída central disponível;
- Só saída lateral disponível.

A Figura 143 representa a Arquibancada Nascente através do *PathFinder*. Na Figura 144, são apresentadas as saídas Arquibancada Nascente para os adeptos da equipa visitada.

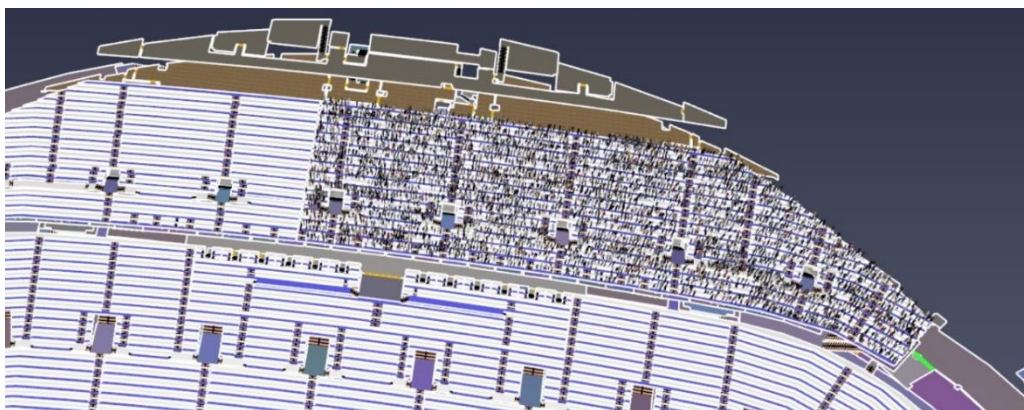


Figura 143 - Representação Arquibancada Nascente - Adeptos_casa



Figura 144 - Representação saídas disponíveis

A saída rodeada a azul é considerada a saída central, enquanto a rodeada de laranja, a lateral.

- Todas as saídas disponíveis

Na Tabela 56 são apresentados os resultados para o cenário 7, com todas as saídas disponíveis, a uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 56 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1069,3	1368,5
Tempo total (s)	1189,3	1488,5

Ao analisar a Tabela 56 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1189,3 segundos (aproximadamente 19 minutos). Salienta-se a diferença de quase 300 segundos para os dois valores, obtidos pela simulação computacional.

As Figuras 145 e 146 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

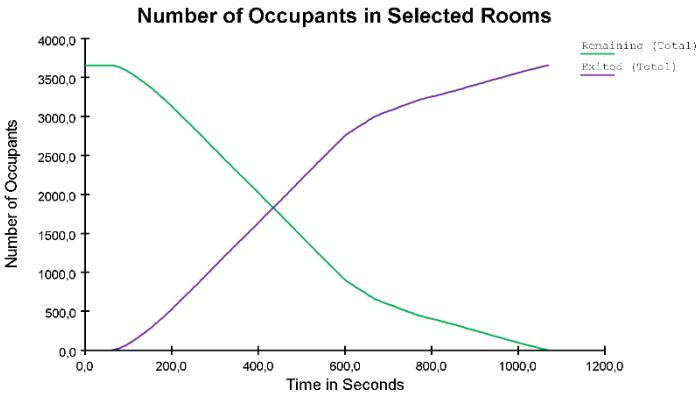


Figura 145 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 145 verifica-se que, aproximadamente aos 400 segundos, a primeira metade dos adeptos presentes na Arquibancada são evacuados. Salienta-se que, a partir dos 600 segundos, até ao final do processo de evacuação, só foram evacuados 1000 adeptos.

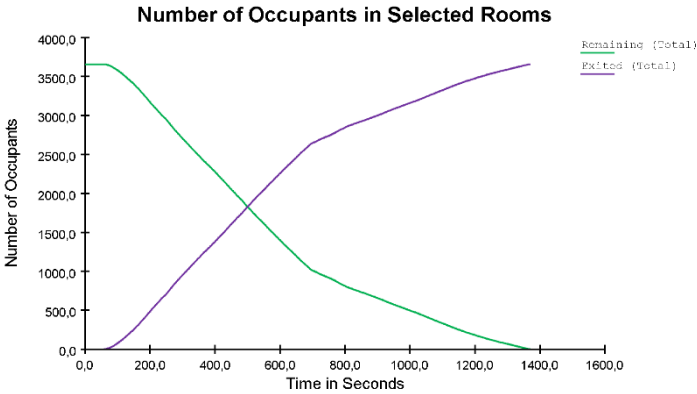


Figura 146 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 146 constata-se que foi necessário mais tempo para a evacuação da primeira metade dos adeptos da Arquibancada. Note-se, ainda, um decréscimo no fluxo de saída, a partir dos 600 segundos aproximadamente, até ao fim da evacuação.

A Tabela 57 expõe os resultados obtidos para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 57 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	958,8	1161,3
Tempo total (s)	1078,8	1281,3

Pela Tabela 57 conclui-se que o menor tempo de evacuação foi de 1078,8 segundos, (aproximadamente 17,98 minutos). Note-se, ainda, a diferença de quase 4 minutos para os dois valores obtidos.

Nas Figuras 147 e 148 é possível analisar a evolução do número de adeptos com uma velocidade de 1,4 m/s.

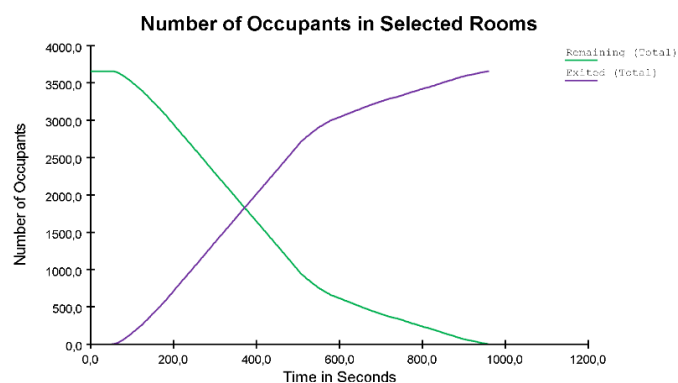


Figura 147 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 147 verifica-se que, aos 400 segundos, já foram evacuados os primeiros 50% de adeptos presentes na Arquibancada. Salienta-se, ainda, o decréscimo no fluxo de saída, a partir dos 500 segundos, aproximadamente.

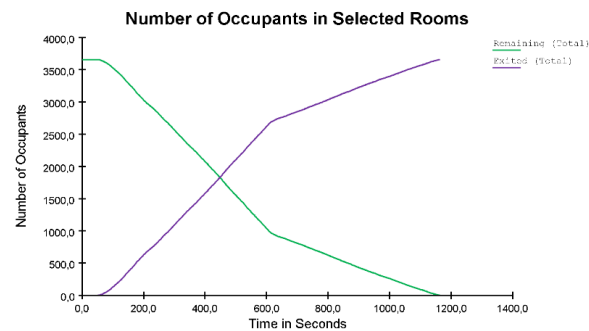


Figura 148 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 148 nota-se que, nos mesmos 400 segundos da situação anterior, ainda não foram evacuados os primeiros 50% de adeptos. Efetivamente, o decréscimo do fluxo de saída ocorreu apenas aos 600 segundos. No entanto, esta situação levou à necessidade de um maior tempo de evacuação.

Na Tabela 58 são apresentados os resultados para o cenário 7, com uma velocidade de 1,6 m/s, quando todas as saídas estão disponíveis.

Tabela 58 - Cenário 7: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	845,5	1133,5
Tempo total (s)	965,5	1253,5

A Tabela 58 permite concluir que o menor tempo de evacuação total foi de 965,5 segundos (aproximadamente 16 minutos).

As Figuras 149 e 150 representam a evolução do número de adeptos no interior e no exterior do Estádio, ao longo do processo de evacuação.

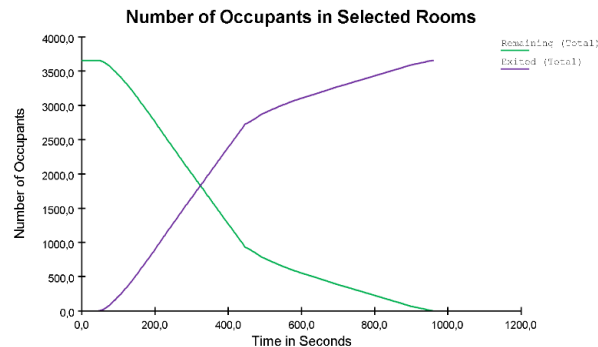


Figura 149 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 149 é possível observar que a primeira metade de adeptos presentes na Arquibancada consegue ser evacuada antes dos 400 segundos. Nessa altura, ocorre um decréscimo no fluxo de saída, levando a que os últimos 1000 adeptos fossem evacuados em quase 500 segundos.

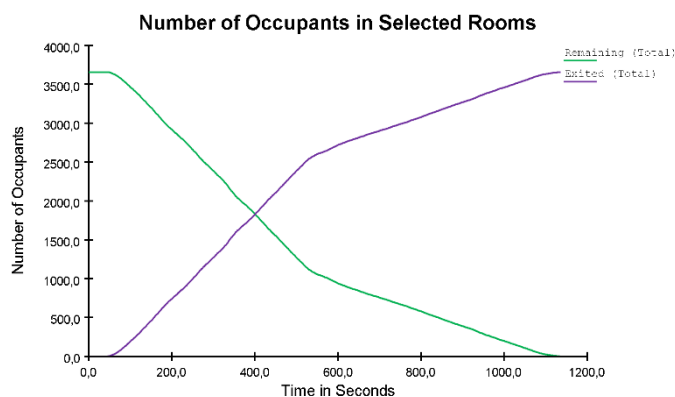


Figura 150 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 150 constata-se que os primeiros 50% de adeptos conseguem ser evacuados em 400 segundos, aproximadamente. Para a evacuação total já são necessários mais de 1100 segundos. Ocorre um decréscimo no fluxo de saída, a partir dos 500 segundos, aproximadamente.

- Só saída central disponível

Na Tabela 59 é possível observar os resultados obtidos pela simulação computacional, só com a saída central disponível.

Tabela 59 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1174,3	1681
Tempo total (s)	1294,3	1801

A Tabela 59 permite averiguar que o menor tempo de evacuação total foi de 1294,3 segundos (aproximadamente 21,6 minutos). Note-se o impacto da variável *Current Door Preference* neste cenário, no qual ocorre uma diferença de, aproximadamente, 506 segundos (8 minutos).

As Figuras 151 e 152 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

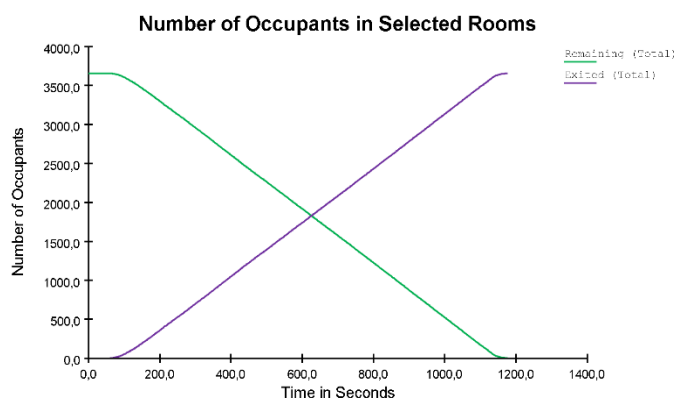


Figura 151 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 151 verifica-se que, só passados 600 segundos, é que os primeiros 50% de adeptos conseguiram terminar a evacuação. Ocorre um fluxo de saída constante praticamente em todo o processo.

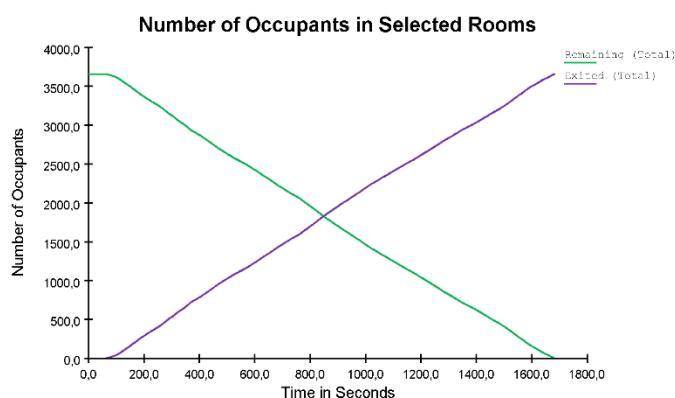


Figura 152 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 152 constata-se que, aos 800 segundos, só 50% de adeptos se encontrava no exterior do Estádio. Ocorreu um fluxo de saída constante em toda a evacuação.

Na Tabela 60 são expostos os resultados para o cenário 7, com apenas a saída central disponível e com uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 60 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1024,8	1562
Tempo total (s)	1144,8	1682

Pela Tabela 60 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1144,8 segundos (aproximadamente 19,1 minutos). Note-se a diferença de quase 9 minutos para os dois valores (537,2 segundos).

As Figuras 153 e 154 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

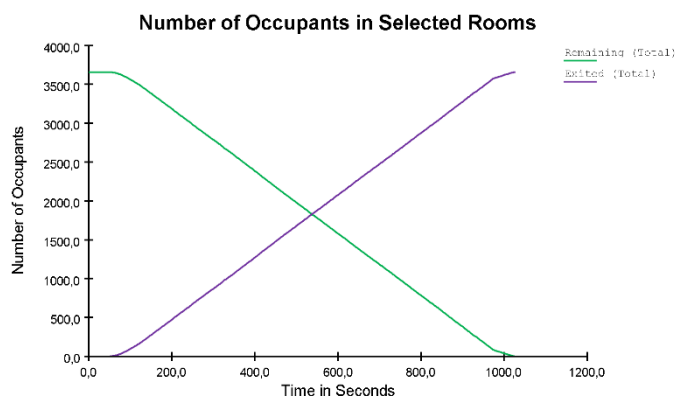


Figura 153 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 153 verifica-se que, aos 600 segundos, já mais de 50% dos adeptos tinha sido evacuado para o exterior. Note-se, ainda, um decréscimo no fluxo de saída de adeptos quando foram atingidos os 1000 segundos até ao fim do processo de evacuação.

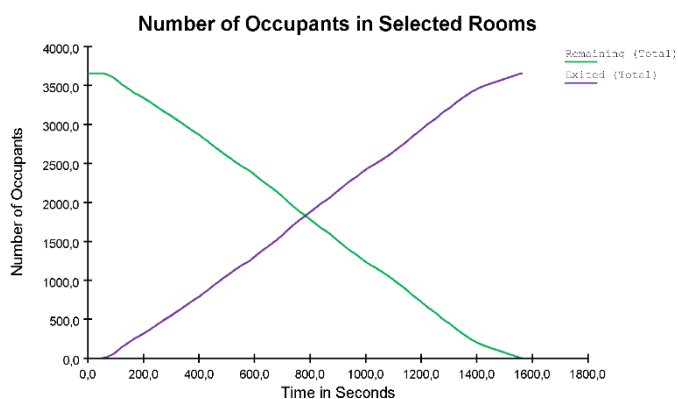


Figura 154 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

Já na Figura 154 constata-se que, apenas aos 800 segundos, a evacuação tinha atingido os 50%. Aos 1400 segundos ocorre um decréscimo no fluxo de saída de adeptos até ao final.

A Tabela 61 apresenta os resultados obtidos pela simulação computacional, com apenas a saída central disponível e com uma velocidade dos adeptos igual a 1,6 m/s.

Tabela 61 - Cenário 7: só saída central disponível (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	899,3	1838
Tempo total (s)	1019,3	1958

Pela Tabela 61 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1019,3 segundos (aproximadamente 17 minutos). Note-se a elevada diferença de cerca 938 segundos (~15 minutos) entre as duas situações. Salienta-se, por isso, o impacto da variável *Current Door Preference*, neste cenário.

As Figuras 155 e 156 representam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

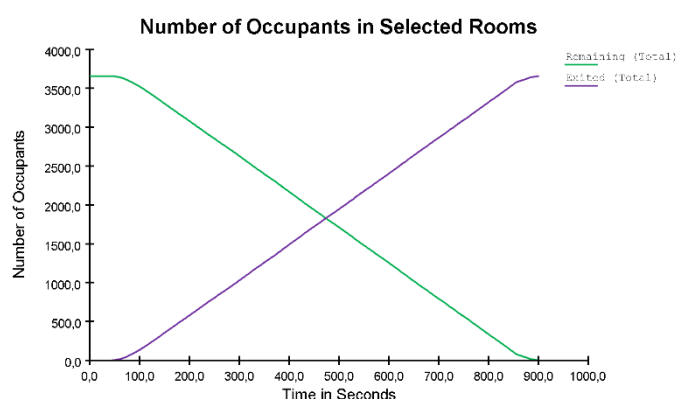


Figura 155 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 155 constata-se que, aos 500 segundos, a evacuação já tinha chegado ao valor dos 50%. O fluxo de saída constante ocorre até perto do final da evacuação, aos 850 segundos, aproximadamente.

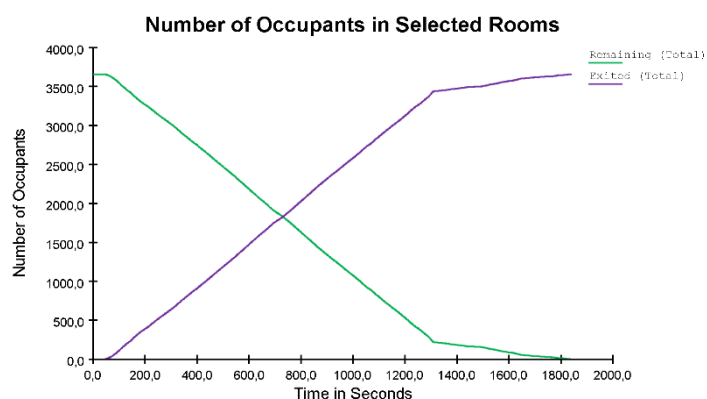


Figura 156 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída central disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

A Figura 156 permite observar que foram necessários 800 segundos para evacuar a primeira metade dos adeptos presentes na Arquibancada. Os últimos 500 adeptos só terminaram o processo aos 1800 segundos, valor muito superior aos cenários anteriores.

- Só saída lateral disponível

Na Tabela 62 são expostos os tempos de evacuação obtidos pela simulação computacional, com uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 62 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1615,8	1690,3
Tempo total (s)	1735,8	1810,3

Pela Tabela 62 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1735,8 segundos (aproximadamente 28,9 minutos).

As Figuras 157 e 158 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

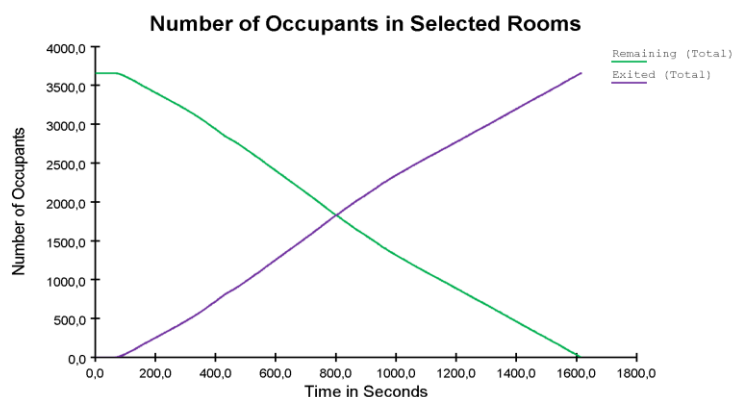


Figura 157 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 157 constata-se que a primeira metade dos adeptos presentes na Arquibancada consegue ser evacuada em 800 segundos. Salienta-se, ainda, um fluxo de saída constante em praticamente todo o processo.

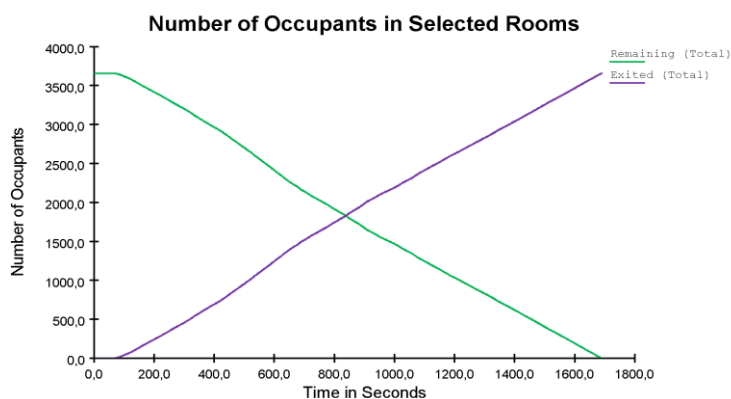


Figura 158 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 158 verifica-se que, aos 800 segundos, ainda não foram evacuados os primeiros 50% de adeptos. Foram ainda necessários mais de 1600 segundos para evacuar os adeptos presentes na Arquibancada.

A Tabela 63 apresenta os resultados obtidos para o tempo de evacuação, para o cenário 7, quando só a saída lateral se encontra disponível, com uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 63 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1386,3	1454
Tempo total (s)	1506,3	1574

Pela Tabela 63 conclui-se que o menor tempo total de evacuação é de 1506,3 segundos (aproximadamente 25 minutos).

As Figuras 159 e 160 expõem a evolução do número de adeptos no interior e no exterior do Estádio.

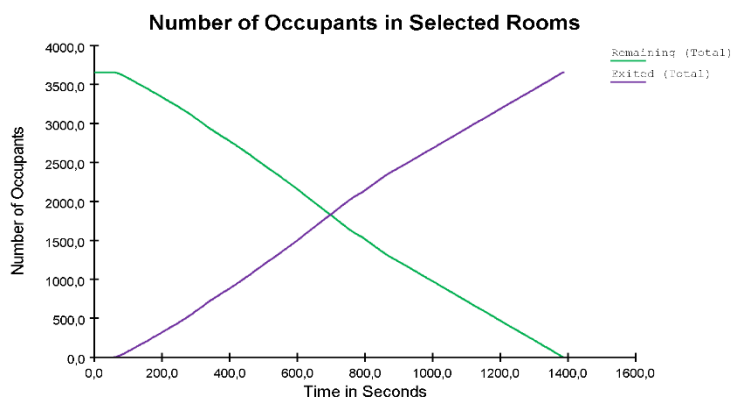


Figura 159 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 0%

A Figura 159 permite observar que os primeiros 50% de adeptos são evacuados, aproximadamente, aos 700 segundos, ocorrendo um fluxo de saída praticamente constante em todo o processo.

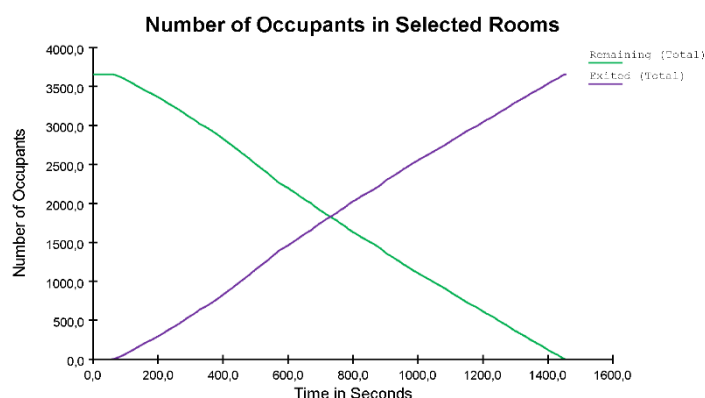


Figura 160 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 160 constata-se que já foram necessários quase 800 segundos para evacuar os mesmos primeiros 50% de adeptos da Arquibancada. Salienta-se um fluxo de saída praticamente constante em todo o processo.

Na Tabela 64 são apresentados os resultados para uma velocidade dos adeptos de 1,6 m/s.

Tabela 64 - Cenário 7: só saída lateral disponível (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	1198,8	1276,8
Tempo total (s)	1318,8	1396,8

Pela Tabela 64 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1318,8 segundos (aproximadamente 22 minutos).

As Figuras 161 e 162 permitem analisar o comportamento do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

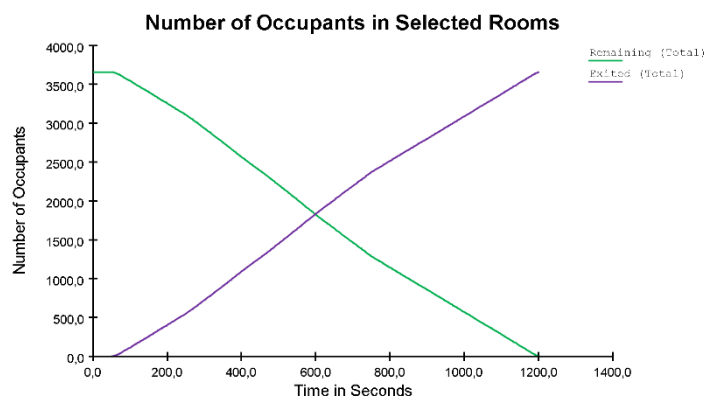


Figura 161 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

A Figura 161 permite constatar que foram necessários 600 segundos para evacuar os primeiros 50% de adeptos e 1200 segundos para evacuar a totalidade da bancada. Salienta-se, ainda, um fluxo de saída constante em todo o processo de evacuação.

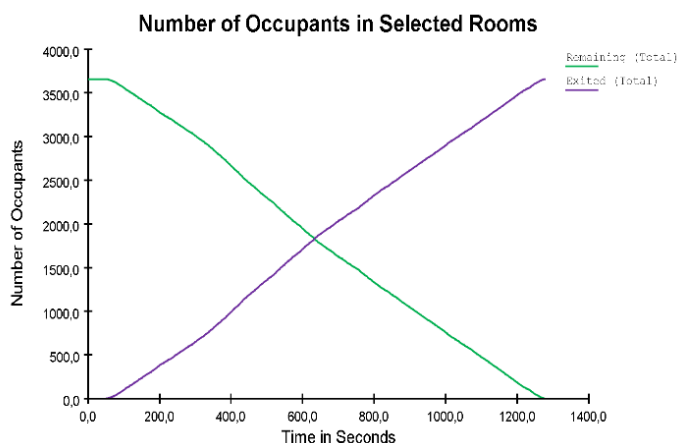


Figura 162 - Evolução do número de adeptos (cenário 7 – só saída lateral disponível) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 162 verifica-se que, aos 600 segundos, os primeiros 50% de adeptos ainda não se encontravam no exterior. Foram necessários mais de 1200 segundos para que os adeptos terminassem a evacuação total da Arquibancada Nascente.

3.4.8. Cenário 8 – Evacuação Setor 47-50 (Zona Visitantes)

O objetivo deste cenário é averiguar o comportamento do tempo de evacuação da zona visitante do Estádio do Dragão. Neste cenário, todas as saídas estarão disponíveis. A lotação máxima é de 2659 adeptos. A zona visitante do Estádio do Dragão encontra-se na Arquibancada Nascente, onde existe uma barreira que divide a zona visitante da dos adeptos visitados (Figura 163). A Figura 164 exibe uma representação (a verde) das saídas disponíveis.

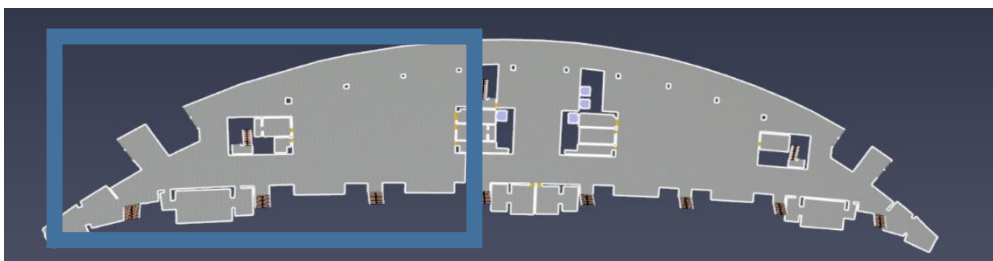


Figura 163 - Zona galeria superior - zona visitante



Figura 164 - Representação saídas disponíveis - zona visitante

Na Tabela 65 são apresentados os resultados para o cenário 8, para uma velocidade de 1,2 m/s.

Tabela 65 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	997	1617,8
Tempo total (s)	1117	1737,8

Pela Tabela 65 conclui-se que o menor tempo total de evacuação foi de 1117 segundos (aproximadamente 18,6 minutos). Destaca-se a elevada diferença (cerca de 600 segundos) entre os dois tempos totais obtidos.

As Figuras 165 e 166 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo do processo de evacuação.

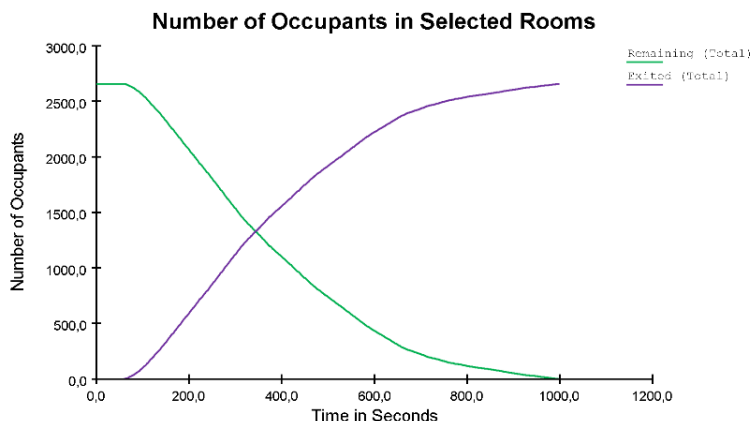


Figura 165 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 0%

Pela Figura 165 verifica-se que, aos 400 segundos, já mais de 50% de adeptos foram evacuados. No entanto, para a evacuação total da bancada, foram necessários 1000 segundos. Ocorre ainda um fluxo de saída constante até aos 600 segundos.

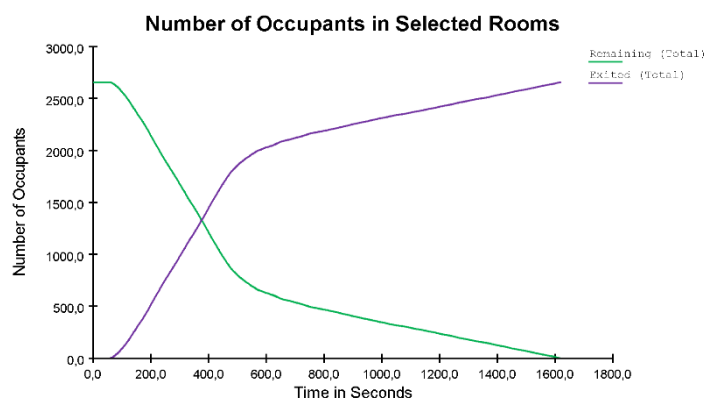


Figura 166 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 166 constata-se que foram necessários 400 segundos para os primeiros 50% de adeptos serem evacuados em segurança para o exterior do Estádio. É importante salientar a necessidade de quase 1600 segundos para evacuar todos os adeptos (valor muito superior à situação anterior).

Na Tabela 66 são apresentados os valores obtidos para a simulação computacional, para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 66 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	914,8	1414,3
Tempo total (s)	1034,8	1534,3

Pela Tabela 66 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 1034,8 segundos (aproximadamente 17,2 minutos). Note-se ainda a elevada diferença (500 segundos) entre os dois tempos obtidos.

As Figuras 167 e 168 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

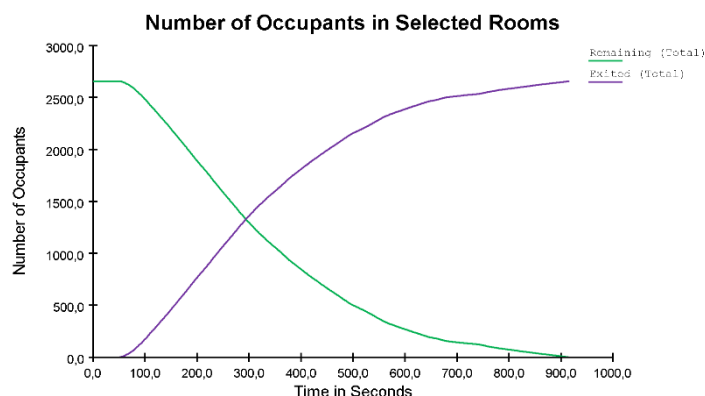


Figura 167 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 0%

A Figura 167 permite induzir que, aos 300 segundos, os primeiros 50% de adeptos terminaram a evacuação em segurança. Foram ainda necessários cerca de 900 segundos para evacuar a totalidade da bancada.

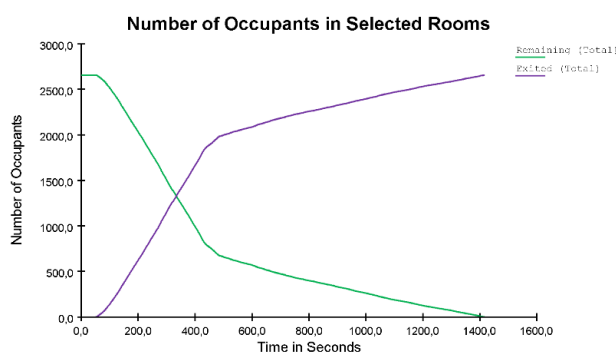


Figura 168 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 168 verifica-se que, os primeiros 50% de adeptos são evacuados entre os 300 e os 400 segundos. Salienta-se o decréscimo no fluxo, a partir dos 400 segundos. No entanto,

a partir daí, volta a ocorrer um fluxo constante até aos 1400 segundos, momento esse em que o processo termina.

A Tabela 67 apresenta os resultados para o cenário, para uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 67 - Cenário 8: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	871,5	1160,5
Tempo total (s)	991,5	1280,5

Pela Tabela 67 conclui-se que o menor tempo de evacuação total foi de 991,5 segundos (aproximadamente 16,5 minutos). Destaca-se a diferença de quase 300 segundos para os dois valores obtidos.

As Figuras 169 e 170 apresentam a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

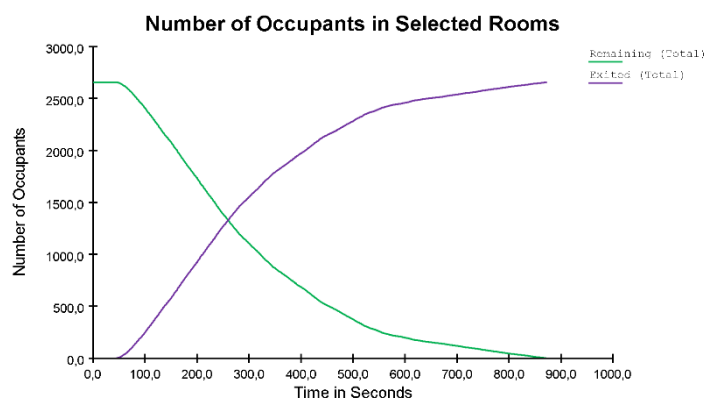


Figura 169 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 0%

Pela Figura 169 constata-se que, aos 300 segundos, 50% de adeptos já tinham sido evacuados para o exterior do recinto desportivo. Foram necessários quase 900 segundos para a evacuação completa da bancada.

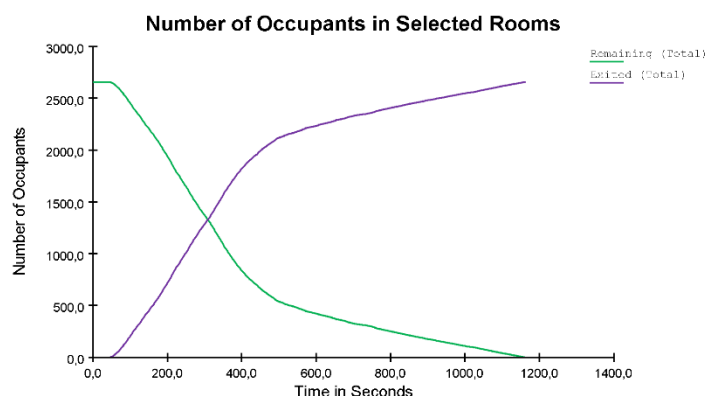


Figura 170 - Evolução do número de adeptos (cenário 8 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

Pela Figura 170 verifica-se que foram necessários, aproximadamente, 300 segundos para evacuar os primeiros 50% de adeptos. Para a evacuação total da zona visitante de adeptos foram necessários, aproximadamente, 1200 segundos.

3.4.9. Cenário 9 – Evacuação Setor 08-09 (Zona Claque)

O objetivo do cenário 9 é analisar o tempo necessário para evacuar apenas, se necessário, os adeptos presentes no setor 08 e 09, setores esses onde se encontra a claque principal do clube. Assim, foi avaliado o impacto da velocidade, bem como a possibilidade ou impossibilidade de trocar de saídas durante a trajetória (*Current Door Preference*). Nestes dois setores estão presentes 2222 adeptos no total. Nesta situação, todas as saídas estarão disponíveis para o processo de evacuação.

A Figura 171 mostra uma representação do setor 08 e 09 do Estádio do Dragão.

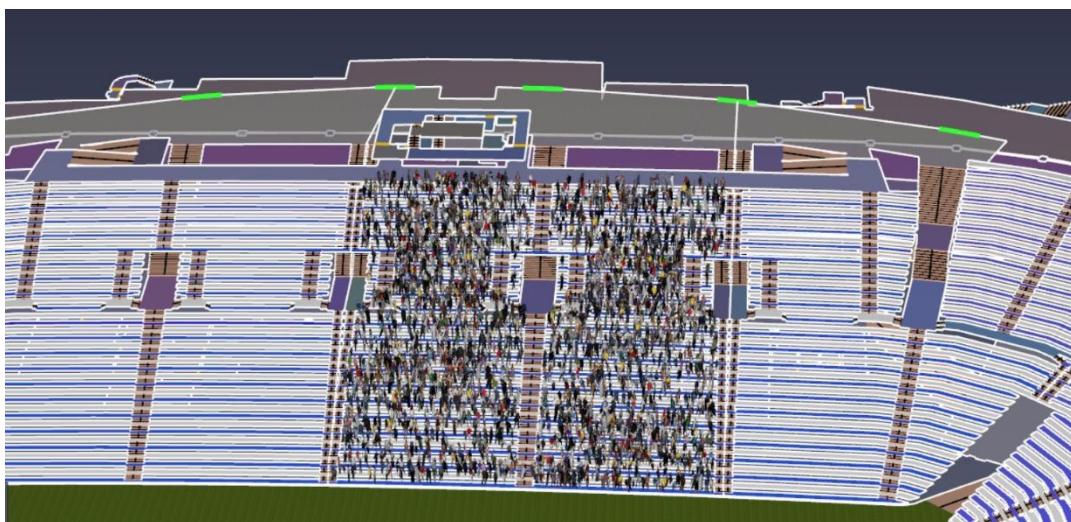


Figura 171 - Setor 08 e 09 - Claque

Na Figura 172 é possível observar as saídas disponíveis (rodeadas a laranja) para a evacuação.

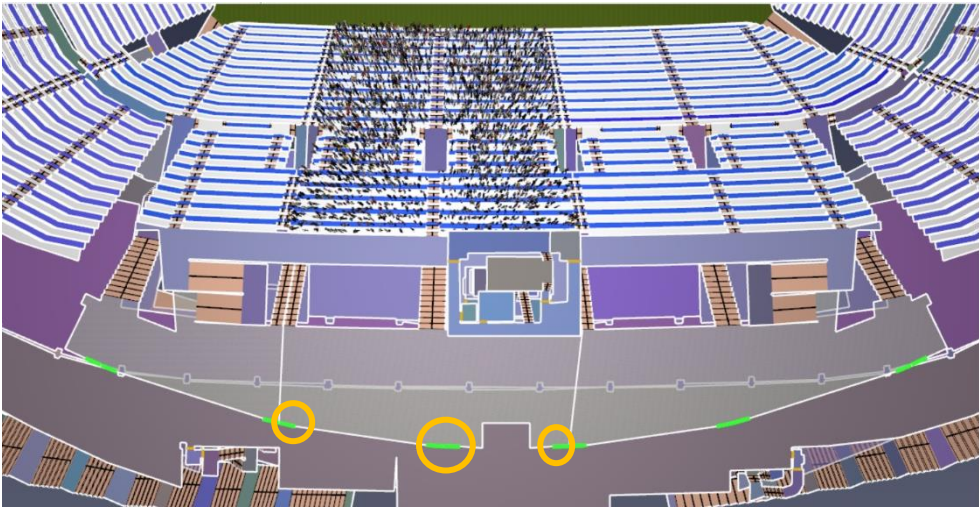


Figura 172 - Representação saídas disponíveis - setor 08 e 09

Na Tabela 68 são apresentados os resultados para o cenário 9, para uma velocidade igual a 1,2 m/s.

Tabela 68 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	552,3	715,8
Tempo total (s)	672,3	835,8

Pela Tabela 68 conclui-se que o menor tempo de evacuação total é de 672,3 segundos (aproximadamente 11 minutos).

As Figuras 173 e 174 expõem a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

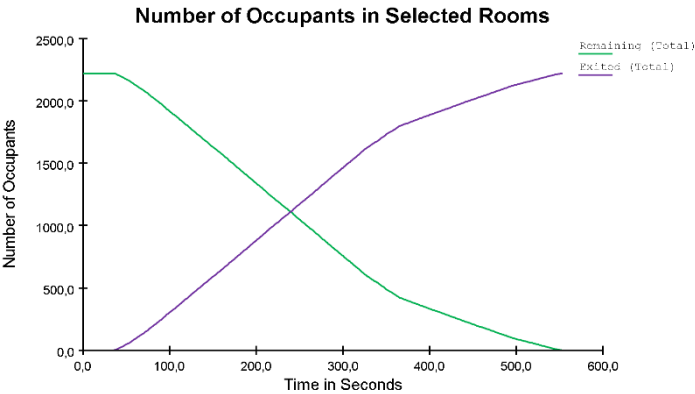


Figura 173 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

Através da Figura 173 é possível concluir que os primeiros 50% de adeptos foram evacuados antes dos 250 segundos, ocorrendo um fluxo de saída constante até aos 350 segundos.

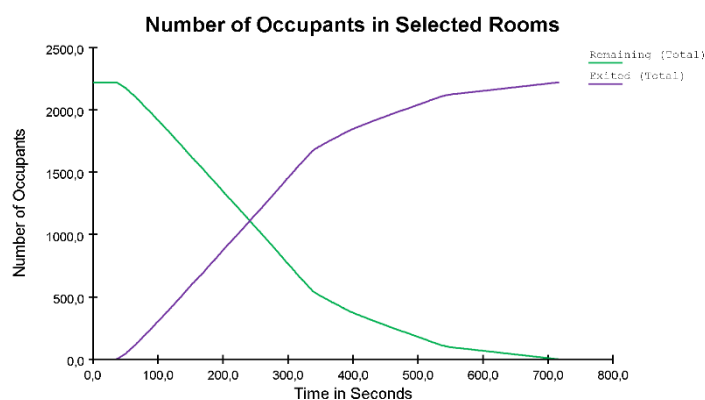


Figura 174 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,2 m/s;
Current Door Preference 100%

Já na Figura 174 conclui-se que houve a necessidade de praticamente 700 segundos para evacuar a totalidade dos ocupantes, sendo que os primeiros 50% demoraram, aproximadamente, 250 segundos para concluírem o processo.

Na Tabela 69 são apresentados os resultados obtidos pela simulação computacional, para a situação em que a velocidade dos adeptos é de 1,4 m/s.

Tabela 69 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	486,5	577,5
Tempo total (s)	606,5	697,5

Através da Tabela 69 foi possível constatar que o menor tempo de evacuação total foi de 606,5 segundos (aproximadamente 10 minutos).

Nas Figuras 175 e 176 é possível analisar a evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

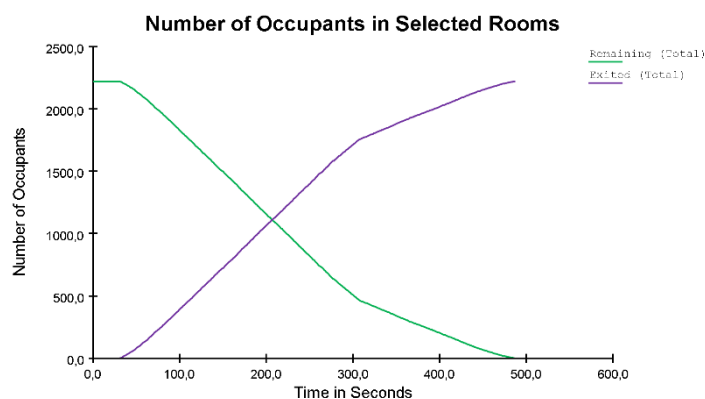


Figura 175 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 0%

Através da Figura 175 constata-se um decréscimo no fluxo de saída, a partir dos 300 segundos, até ao final da evacuação. Note-se, ainda, que para evacuar os primeiros 50% de adeptos, são necessários, aproximadamente, 200 segundos.

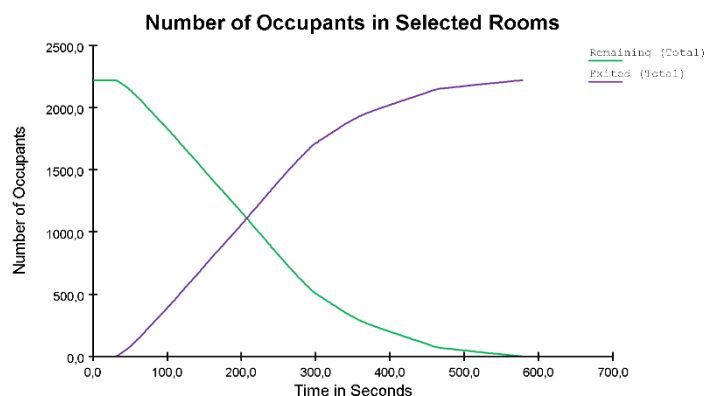


Figura 176 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,4 m/s;
Current Door Preference 100%

A partir da Figura 176 é possível concluir que os primeiros 50% de adeptos necessitaram de quase 200 segundos para serem evacuados para o exterior. Ocorre, ainda, um decréscimo no fluxo de saída, a partir dos 300 segundos, até ao final da evacuação.

Na Tabela 70 são apresentados os valores para uma velocidade igual a 1,6 m/s.

Tabela 70 - Cenário 9: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	120	120
Tempo de evacuação (s)	442,3	500,8
Tempo total (s)	562,3	620,8

Através da Tabela 70 é possível concluir que a evacuação total dos setores 08 e 09 tem a duração de 562,3 segundos (aproximadamente 9,4 minutos).

As Figuras 177 e 178 apresentam uma evolução do número de adeptos ao longo da evacuação.

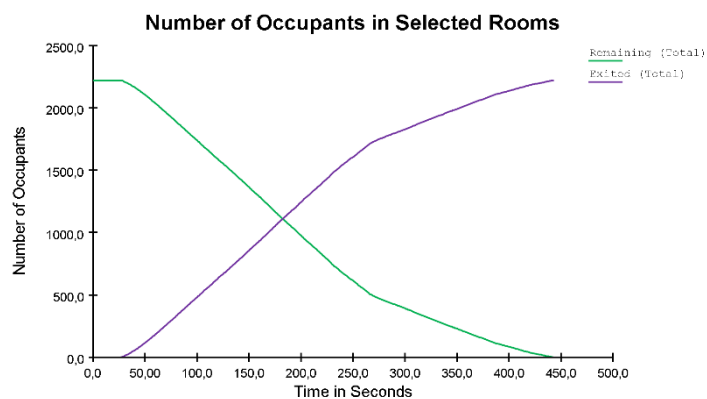


Figura 177 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 0%

Através da Figura 177 conclui-se que, aos 200 segundos, já os primeiros 50% de adeptos tinham conseguido terminar o processo. Destaca-se, ainda, a necessidade de quase 450 segundos para a evacuação total da bancada.

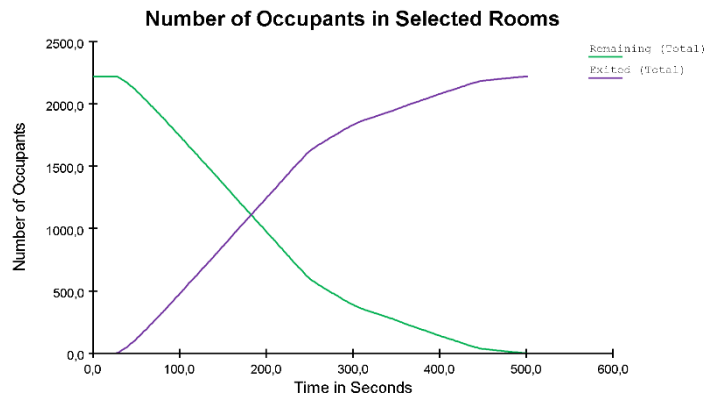


Figura 178 - Evolução do número de adeptos (cenário 9 – todas as saídas disponíveis) - velocidade 1,6 m/s;
Current Door Preference 100%

Pela Figura 178 verifica-se que, aos 200 segundos, a primeira metade de adeptos finalizou a evacuação para o exterior. Neste caso, houve uma necessidade de quase 500 segundos para evacuar todos os adeptos.

3.4.10. Cenário 10 – Evacuação Escritórios Piso 3

O objetivo do cenário 10 é averiguar o tempo necessário para a evacuação de todos os escritórios presentes no Piso 3 e analisar o impacto que a velocidade e a possibilidade ou impossibilidade de troca de saídas, durante a trajetória, têm sobre o tempo de evacuação.

Na Figura 179 exibe-se uma representação dos escritórios do Piso 3 do modelo realizado. A Figura 180 representa as possibilidades de saídas para os ocupantes do Piso 3 (a cor verde).

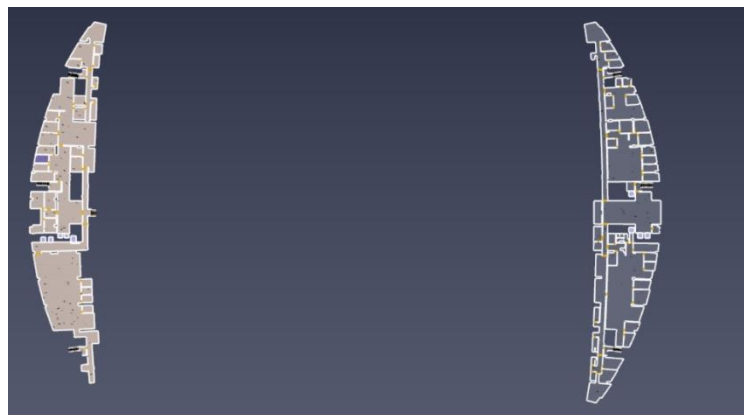


Figura 179 - Representação Escritórios Piso 3

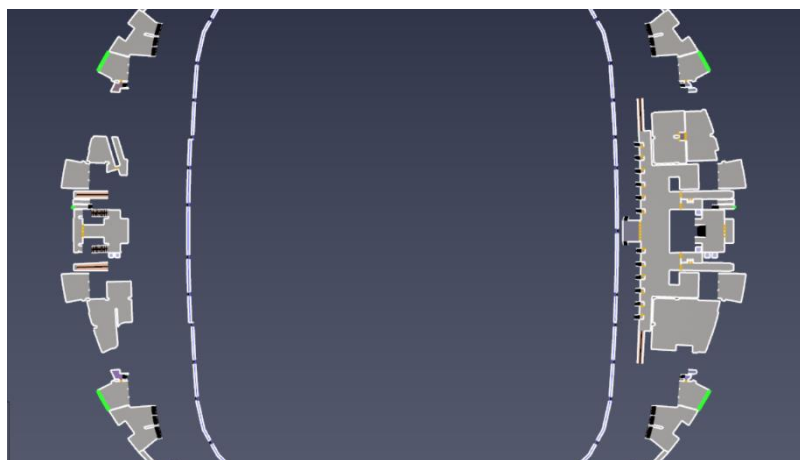


Figura 180 - Possibilidades de saídas - zona Piso 3

Neste cenário foram utilizadas 70 pessoas na zona Poente do Piso 3 e 85 pessoas na zona Nascente dos escritórios, perfazendo um total de 155.

Todas as saídas neste cenário se encontram disponíveis para a evacuação.

Na Tabela 71 são apresentados os resultados do cenário 10, para uma velocidade dos ocupantes de 1,2 m/s.

Tabela 71 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,2 m/s)

Velocidade 1,2 m/s		
<i>Current Door Preference (%)</i>	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	60	60
Tempo de evacuação (s)	171,3	171,3
Tempo total (s)	231,3	231,3

Através da Tabela 71 conclui-se que a variável *Current Door Preference* não tem qualquer influência no tempo de evacuação das pessoas. Salienta-se a necessidade de 231,3 segundos (aproximadamente 3,9 minutos) para a evacuação total da zona de escritórios do Estádio do Dragão.

As Figuras 181 e 182 apresentam a evolução do número de pessoas nesta zona do Estádio.

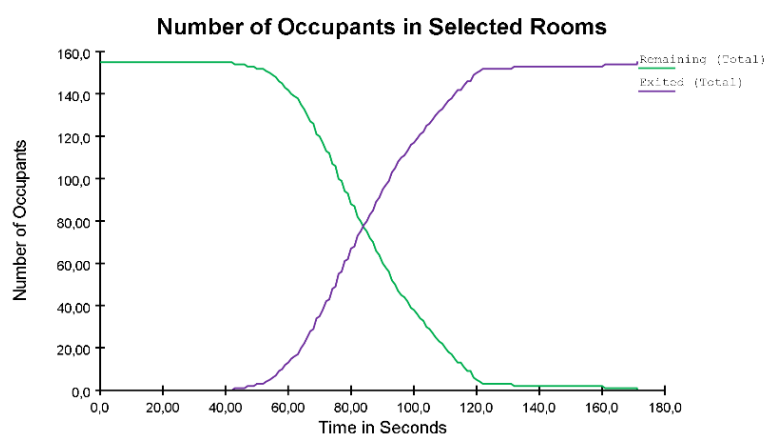


Figura 181 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 0%

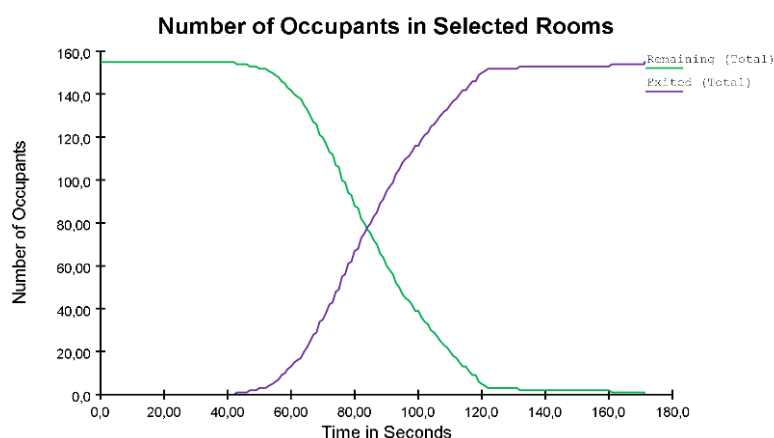


Figura 182 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,2 m/s; Current Door Preference 100%

Nas Figuras 181 e 182 é possível concluir que 50% dos ocupantes do Piso 3 são evacuados depois dos 80 segundos. Salienta-se, ainda, um elevado decréscimo no fluxo de saída do *staff* a partir dos 120 segundos. Entre os 60 e 120 segundos ocorre um maior fluxo de saída.

Na Tabela 72 são expostos os resultados da simulação computacional, para uma velocidade de 1,4 m/s.

Tabela 72 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,4 m/s)

Velocidade 1,4 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	60	60
Tempo de evacuação (s)	147,5	147,5
Tempo total (s)	207,5	207,5

A Tabela 72 permite analisar a ausência de influência que a variável *Current Door Preference* tem nesta situação, dado que o tempo de evacuação necessário é de 207,5 segundos (aproximadamente 3,5 minutos) para as duas situações.

As Figuras 183 e 184 permitem analisar a evolução do número de ocupantes do Piso 3.

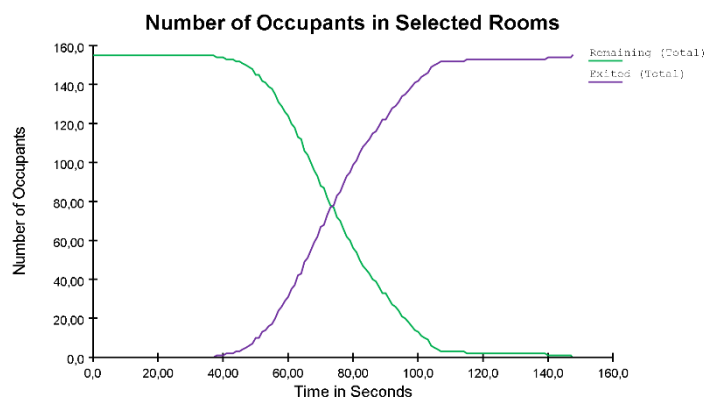


Figura 183 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 0%

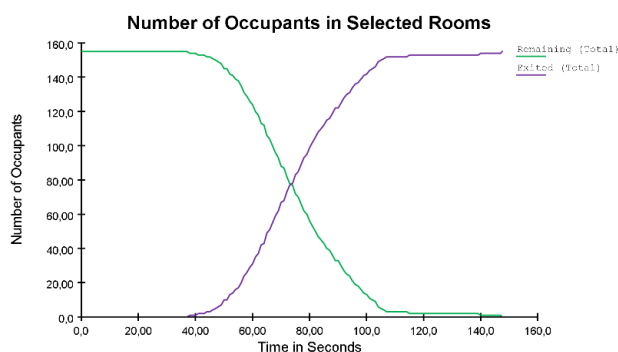


Figura 184 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,4 m/s; Current Door Preference 100%

As Figuras 183 e 184 permitem averiguar que são necessários menos de 80 segundos para a evacuação dos primeiros 50% dos ocupantes. O maior fluxo de saída ocorre entre os 40 e 100 segundos. O decréscimo no fluxo de saída ocorre, aproximadamente, aos 100 segundos.

A Tabela 73 expõe os resultados do cenário 10, para uma velocidade de 1,6 m/s.

Tabela 73 - Cenário 10: saídas todas disponíveis (velocidade 1,6 m/s)

Velocidade 1,6 m/s		
Current Door Preference (%)	0	100
Tempo de pré-evacuação (s)	60	60
Tempo de evacuação (s)	129,8	129,8
Tempo total (s)	189,8	189,8

Através da Tabela 73 conclui-se que o tempo necessário para a evacuação nas duas situações é de 189,8 segundos (aproximadamente 3,2 minutos), realçando a ausência de influência que a variável *Current Door Preference* tem neste cenário.

As Figuras 185 e 186 exibem a evolução do número de ocupantes nos escritórios do Estádio do Dragão.

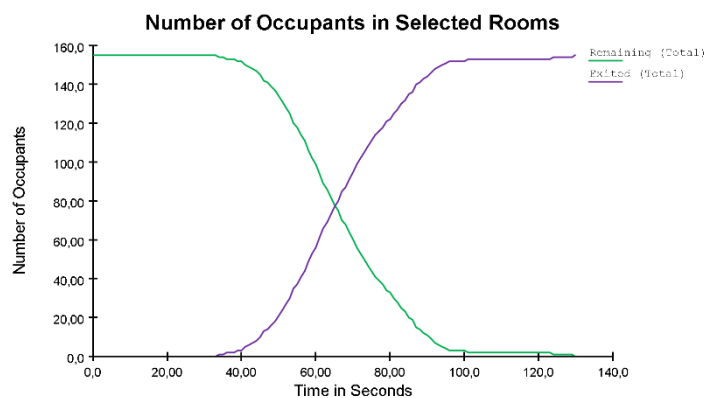


Figura 185 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,6 m/s; Current Door

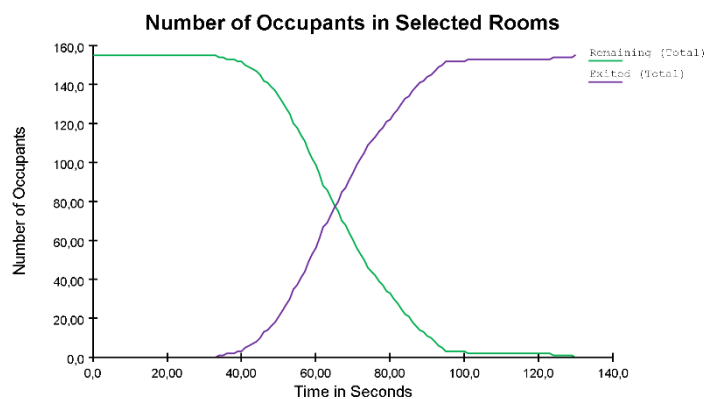


Figura 186 - Evolução do número de adeptos (cenário 10) - velocidade 1,6 m/s; Current Door Preference 100%

As Figuras 185 e 186 revelam a semelhança de valores para as duas diferentes situações de evacuação. Ambas indicam que são necessários cerca de 70 segundos para a evacuação dos primeiros 50% de ocupantes. O maior fluxo de saída ocorre, aproximadamente, entre os 40 e 100 segundos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a elaboração dos diversos cenários abordados anteriormente foi realizada uma análise aos tempos de evacuação de cada bancada existente no Estádio do Dragão. Assim, este capítulo tem como objetivo a apresentação e a discussão dos resultados obtidos em todos os procedimentos conducentes a esta dissertação.

Com os resultados obtidos foi possível comparar os valores de evacuação referentes à simulação computacional em cada uma das bancadas existentes do Estádio do Dragão. Analisou-se, ainda, se o número de adeptos em cada bancada influenciava o tempo de evacuação da mesma.

Na Figura 187 apresenta-se um gráfico que representa a percentagem de adeptos nas diferentes bancadas do Estádio do Dragão.

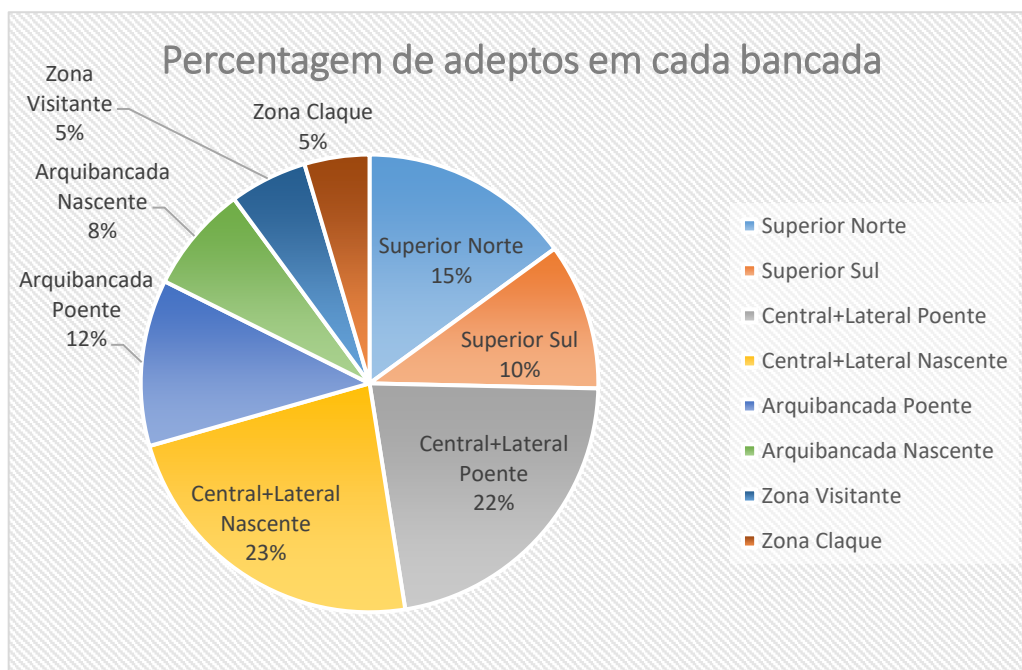


Figura 187 - Percentagem de adeptos em cada bancada

Da análise da Figura 187 conclui-se que a maior percentagem de adeptos se encontra nas bancadas Central + Lateral Nascente e Central + Lateral Poente, com um total de 45%. As zonas das bancadas com menor percentagem são a zona da claque e zona visitante com 5% cada um do total de adeptos.

As Figuras 188 e 189 permitem analisar o tempo mais rápido e mais lento de evacuação de cada zona da bancada, com as velocidades estudadas ao longo deste estudo.

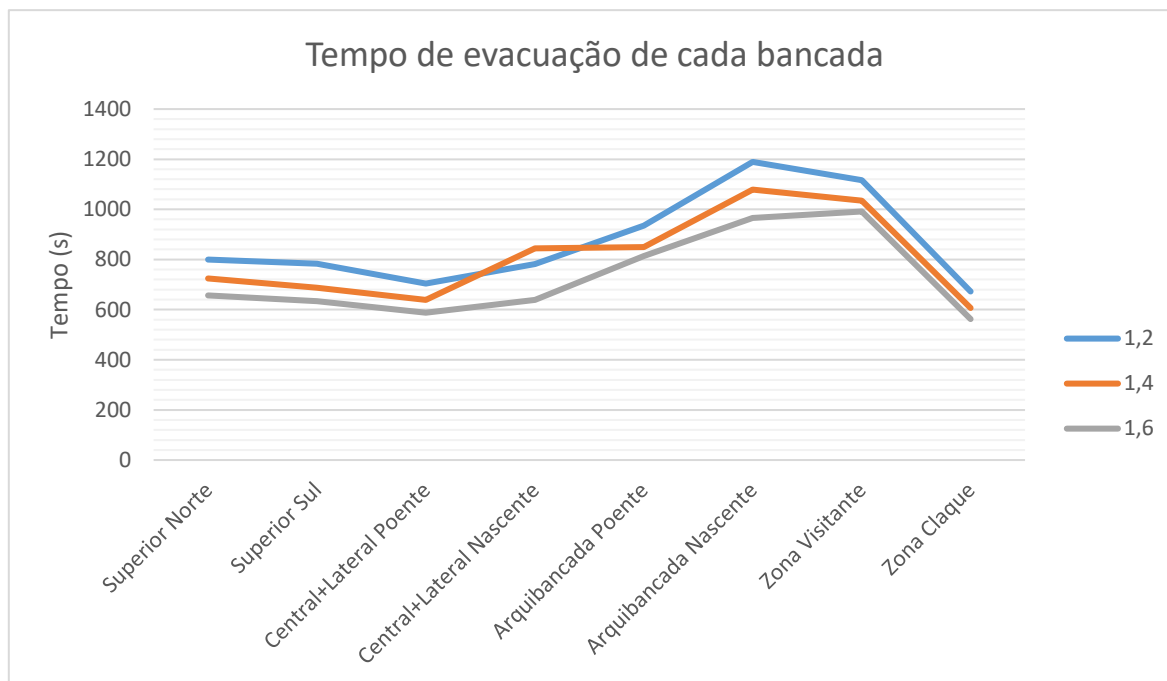


Figura 188 - Tempos de evacuação mais rápidos de cada bancada

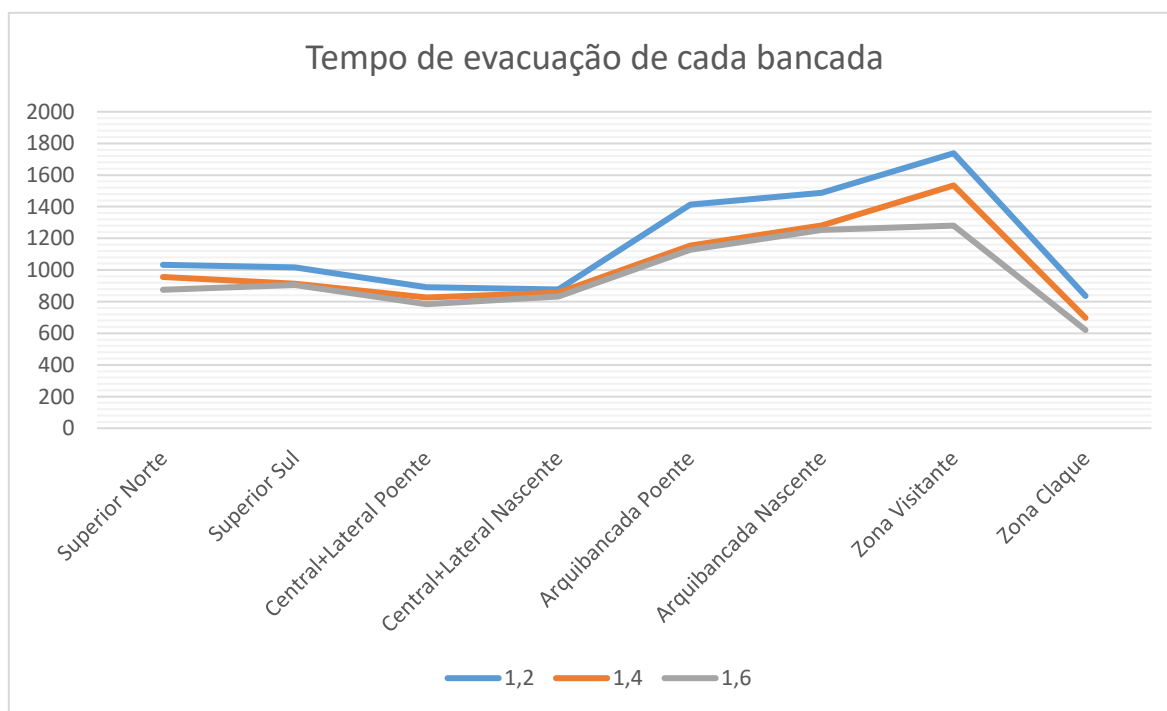


Figura 189 - Tempos de evacuação mais lentos de cada bancada

Através da análise das Figuras 187, 188 e 189 conclui-se que um número elevado de adeptos não tende a precisar de um tempo de evacuação superior ao dos restantes. As duas bancadas Centrais e Laterais são aquelas que possuem mais adeptos, no entanto, precisam de menos tempo para uma evacuação total mesmos. Por outro lado, a arquibancada nascente e a zona visitante são as zonas de bancadas que necessitam de mais tempo de evacuação.

Uma das razões desta necessidade de um maior tempo de evacuação deve-se ao facto de estas bancadas se encontrarem a alturas superiores às restantes, necessitando, por isso, de mais tempo para uma evacuação total em relação às bancadas inferiores.

A partir desta dissertação concluiu-se que o tempo necessário para a evacuação total do Estádio do Dragão, com capacidade para 50033 lugares, está compreendido entre 1004 e 1158,3 segundos (entre 16,7 e 19,3 minutos), para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente.

Quanto maior for a disponibilidade de portas de saídas para os adeptos, maior será a rapidez de evacuação, na medida em que os menores tempos de evacuação ocorrem quando as saídas estão todas disponíveis.

Para as bancadas inferiores (as Bancadas Superiores (Norte e Sul) e as Bancadas Centrais e Laterais (Poente e Nascente)), a possibilidade de só estarem disponíveis as portas laterais tende a ser mais vantajosa do que apenas estarem disponíveis as portas centrais.

Por outro lado, as bancadas superiores dependem da variável *Current Door Preference*, na medida em que, quando o valor desta é de 0%, o menor tempo de evacuação ocorre quando só as saídas centrais se encontram disponíveis. No entanto, quando o valor da variável é de 100%, os menores tempos de evacuação acontecem quando só as saídas laterais se encontram disponíveis para a evacuação dos adeptos.

Através dos resultados obtidos conclui-se o impacto que a variável *Current Door Preference* tem no tempo de evacuação em praticamente todas as bancadas, pelo que um elevado valor da variável *Current Door Preference* tende a aumentar também o tempo de evacuação. Assim, verifica-se que a possibilidade de mudar de trajetória durante a evacuação, de modo a encontrar uma saída mais rápida, tende a permitir um menor tempo de evacuação total por parte dos adeptos.

A zona visitante do Estádio do Dragão, com lotação máxima, consegue ser evacuada entre 991,5 e 1117 segundos (entre 16,5 minutos e 18,6 minutos), para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente.

A zona da claque (setor 08 e 09) é possível ser evacuada entre os 562,3 e 672,3 segundos (entre 9,4 e 11,2 minutos), para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente.

A evacuação do staff dos escritórios do piso 3 pode ser realizada entre os 189,8 e 231,3 segundos (entre 3,2 e 3,9 minutos), para velocidades de 1,6 e 1,2 m/s, respetivamente.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo são tecidas algumas conclusões acerca do estudo e procedimentos realizados, abordando os principais contributos, o valor acrescentado, as dificuldades encontradas, bem como ideias para trabalho futuro. Assim, esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia do Porto e teve como principal objetivo a análise e melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão.

5.1. Principais contributos da dissertação

A realização desta dissertação permitiu:

- Elaborar um modelo do Estádio do Dragão em *PathFinder*;
- Averiguar o impacto da velocidade, da possibilidade/ou não de troca de saída durante a trajetória e do número de saídas no tempo de evacuação de adeptos;
- Ter uma ferramenta mais didática para conhecer o processo de evacuação do Estádio do Dragão;
- Identificar as bancadas com menor e maior tempo de evacuação.

5.2. Valor acrescentado para o Futebol Clube do Porto

A realização deste projeto permitiu dar a conhecer várias estratégias de evacuação de um Estádio com uma lotação de 50033 lugares. Possibilitou, ainda, uma melhor compreensão dos diferentes tempos de evacuação, dependendo da bancada, da faixa etária dos adeptos e da combinação de saídas disponíveis para a evacuação.

Apesar de este *software* ter ainda uma presença reduzida nas áreas desportivas, nomeadamente no futebol, o facto de o Futebol Clube do Porto estar já a dar os primeiros passos na sua utilização pode torná-lo um dos clubes pioneiros, a nível mundial, no que respeita à delineação e análise dos procedimentos de evacuação através do *PathFinder*.

Este estudo permitiu conhecer a importância da simulação em recintos desportivos com um número elevado de adeptos, onde se torna importante uma rápida resposta de evacuação, em casos de desastres naturais e/ou humanos.

5.3. Dificuldades encontradas

Ao longo da dissertação surgiram algumas dificuldades, das quais se salienta a aprendizagem de um novo *software* denominado *PathFinder*. Conhecer a maioria das funcionalidades necessárias para elaborar o modelo de simulação do Estádio do Dragão foi das maiores dificuldades encontradas.

5.4. Trabalho Futuro

Uma vez que a área da simulação se encontra em crescimento constante, novos cenários poderão ser realizados devido à elevada possibilidade de combinações de saídas de adeptos existentes. Salienta-se, ainda, a possibilidade de realização de vários cenários com as diversas possibilidades de saídas disponíveis para a zona do escritório (Piso 3), como por exemplo a existência de apenas saídas centrais ou de saídas laterais. Outra possibilidade para trabalho futuro poderá ser uma eventual interligação entre dois *softwares* *PathFinder* e *PyroSim*, com os quais podemos proceder à simulação de possíveis casos de incêndio no Estádio e observar e analisar o comportamento dos adeptos durante a evacuação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahn, J., & Kong, H. (2021). Analysis of Time Spent to Carry Out Age-Based Simultaneous and Sequential Simulated Fire Evacuation in Indoor Gymnasium. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(13), 5975–5982.
- ANPC. (2013). Nota Técnica n.º22: Plantas De Emergência. *Segurança Contra Incêndio Em Edifícios*, 1–10. [http://www.prociv.pt/bk/SEGCINCENDEEDIF/Normas Tecnicas/22_NT-SCIE-PLANTAS DE EMERGÊNCIA.pdf](http://www.prociv.pt/bk/SEGCINCENDEEDIF/NormasTecnicas/22_NT-SCIE-PLANTAS DE EMERGÊNCIA.pdf)
- Ares, E., Pelaez, G., Ferreira, L. P., Prieto, D., & Chao, A. (2012). Optimisation of a production line using simulation and lean techniques. *Proceedings of the Operational Research Society Simulation Workshop*, 177–183.
- Assembleia da República. (2019). Lei 113_2019 de 11 de setembro - combate à violência, ao racismo, à xenofobia e à intolerância nos espetáculos desportivos. *Diário Da República*.
- Aucoin, D., Young, T., Gales, J., Kinsey, M., & Mouat, G. (2018). Variability of Behavioural Parameters in Egress Simulations of Stadiums. *4th Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, 1–13.
- Berticelli, R., Edmundo Pilz, S., & Fabiano Costella, M. (2018). Simulations of abandonment of buildings: A Review preliminary. *Engenharia Civil IMED*, 5(1), 140–158.
- Bourhim, E. M., & Cherkaoui, A. (2020). Efficacy of Virtual Reality for Studying People's Pre-evacuation Behavior under Fire. *International Journal of Human Computer Studies*, 142, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102484>
- CFPA Europe, & Confederation of Fire Protection Associations Europe. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings - Guidelines No 19:2009. *CFPA Europe*, 19. http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
- Chen-Wei Chiu, Yu-Hsiu Li, Yi-Liang Shu, & Chi-Min Shu. (2015). Analysis of Evacuation Efficiency with Congestion Points in Large Sport Facilities. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 1229–1243. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.10.011>

- Chen, J., Yu, J., Wen, J., Zhang, C., Yin, Z., Wu, J., & Yao, S. (2019). Pre-evacuation time estimation based emergency evacuation simulation in urban residential communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 1–25. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234599>
- 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>
- Chu, H., Yu, J., Wen, J., Yi, M., & Chen, Y. (2019). Emergency evacuation simulation and management optimization in urban residential communities. *Sustainability*, 11(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su11030795>
- Cordeiro, C. C. M., & Marchetto, M. (2016). Plano de Evacuação em Edifícios Residenciais para Casos de Incêndio. *E&S Engineering and Science*, 5(2), 42–53. <https://doi.org/10.18607/es201654348>
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Hubby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The Case Study Approach. *BMC Med Res Methodol*, 11(100). <https://doi.org/10.1177/108056999305600409>
- de Falco, M., Di Stasi, D., & Novellino, C. (2016). Sports Facility Safety Plans: A Framework for Evaluation of Evacuation Times. *American Journal of Sports Science*, 4(4), 69–76. <https://doi.org/10.11648/j.ajss.20160404.12>
- Diário da República. (2021). Presidência do Conselho de Ministros. Resolução do Conselho de Ministros 27/2021. *Diário Da República - I Série-B*, 27, 5–13.
- Edmonds, M. I., & O'Connor, H. M. (1999). The use of computer simulation as a strategic decision-making tool: a case study of an emergency department application. In *Healthcare Management Forum Gestion des soins de santé* (Vol. 12, Issue 3, pp. 32–38). SAGE Publications. [https://doi.org/10.1016/S0840-4704\(10\)60715-6](https://doi.org/10.1016/S0840-4704(10)60715-6)
- Fang, Han, Lv, W., Cheng, H., Li, X., Yu, B., & Shen, Z. (2022). Evacuation Optimization Strategy for Large-Scale Public Building Considering Plane Partition and Multi-Floor Layout. *Frontiers in Public Health*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.847399>
- Fang, Hongqiang, Lo, S., & Lo, J. T. Y. (2021). Building fire evacuation: An IoT-aided perspective in the 5G era. *Buildings*, 11, 1–24.

- <https://doi.org/10.3390/buildings11120643>
- FC Porto - Clube - Estádio do Dragão. (n.d.-a). Retrieved June 3, 2023, from <https://www.fcporto.pt/pt/clube/estadio-do-dragao>
- FC Porto - Clube - Estádio do Dragão. (n.d.-b). Retrieved May 3, 2023, from <https://www.fcporto.pt/pt/clube/estadio-do-dragao>
- Federação Portuguesa de Futebol. (2015). *Regulamento de Prevenção de Violência*. 0–23.
- Fernandes, J., Machado, C. F., & Amaral, L. (2020). Methodology Used for Determination of Critical Success Factors in Adopting the New General Data Protection Regulation in Higher Education Institutions. In *Research and Industrial Management Methodology in Engineering* (pp. 71–109). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40896-1_4
- 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>
- Ferreira, Luís Pinto, Ares, E., Peláez, G., Marcos, M., & Araújo, M. (2012). A Methodology to Evaluate Complex Manufacturing Systems through Discrete-Event Simulation Models. *Key Engineering Materials*, 502, 7–12.
- Ferreira, Luís Pinto, Gómez, E. A., Lourido, G. C. P., Quintas, J. D., & Tjahjono, B. (2012). Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1), 351–366. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3502-4>
- Ferreira, Luís Pinto, Gómez, E. A., Lourido, G. P., & Tjahjono, B. (2013). Modeling a Complex Production Line Using Virtual Cells. *Electrical Engineering and Intelligent Systems*, 130, 361–373. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2317-1>
- Ferreira, Luís Pinto, Gómez, E. A., Lourido, G. P., & Tjahjono, B. (2011). Optimization of a multiphase multiproduct production line based on virtual cells. In Lecture Notes in engineering and computer science (Ed.), *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2011)* (pp. 6–8).
- Ferreira, Luís Pinto, Machado, R. J., & Pereira, G. A. B. (2005). Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Montagem de Auto-Rádios. *Investigação Operacional*, 25(1), 37–62.

- Ferreira, Luís Pinto, Pereira, G. A., & Machado, R. J. (2003). A Simulação Como Ferramenta De Apoio À Decisão Na Engenharia Da Produção – O Sistema Gams. VI *Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións*, 1–6.
- Futebol Clube do Porto. (n.d.-a). *Estatutos - Futebol Clube do Porto, S.A.D.*
- Futebol Clube do Porto. (n.d.-b). *Estatutos - Futebol Clube do Porto.*
- Futebol Clube do Porto. (n.d.-c). *FC Porto - Clube - Institucional*. Retrieved May 21, 2023, from <https://www.fcporto.pt/pt/clube/institucional>
- Gaziero, C., & Cecconello, I. (2019). Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production. *Scientia Cum Industria*, 7(2), 52–67. <https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p52>
- Giachini, P., Gonsoulin, J. M., Hart, K. W., Yeung, P. G., Revenko, N. V., & Crowther, K. G. (2010). Risk-informed assessment of Scott stadium evacuation through agent-based simulation. *2010 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS10*, 163–168. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2010.5469663>
- Google Maps. (2022). *Google*. <https://www.google.pt/maps>
- Governo Portugal. (2020). *Portaria nº135/2020, de 2 de junho - Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra incêndio em edifícios* (pp. 1–263). Diário República Eletrónico.
- Gravit, M., Kirik, E., Savchenko, E., Vitova, T., & Shabunina, D. (2022). Simulation of Evacuation from Stadiums and Entertainment Arenas of Different Epochs on the Example of the Roman Colosseum and the Gazprom Arena. *Fire*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/fire5010020>
- Gravit, M. V., Kirik, E. S., & Savchenko, E. T. (2021). Effect of Design on the Evacuation Time for the Colosseum of Rome. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 95, 1–12. <https://doi.org/10.4123/CUBS.95.4>
- Grigora, Z. C. Ş. (2014). *Analysing the Human Behavior in a Fire Drill . Comparison Between Two Evacuation Software : Fds + Evac and Pathfinder.*
- Guigay, G. J., & Snorrasson, D. S. (2014). Fire and Crowd Evacuation Modelling in a Low Ceiling Sport Arena. *PROCEEDINGS, Fire and Evacuation Modeling Technical Conference (FEMTC) 2014.*

- 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. *Sustainability*, 10. <https://doi.org/10.3390/su10103696>
- Hassanain, M. A. (2009). On the challenges of evacuation and rescue operations in high-rise buildings. *Structural Survey*, 27(2), 109–118. <https://doi.org/10.1108/02630800910956443>
- Hofinger, G., Zinke, R., & Künzer, L. (2014). Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance. *Transportation Research Procedia*, 2, 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.101>
- Hong, L. J., & Nelson, B. L. (2009). A brief introduction to optimization via simulation. In *Proceedings - Winter Simulation Conference* (pp. 75–85). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429321>
- Jevtić, R. (2021). The Significance and Use of Simulation Software in Evacuation. *PaKSoM 2021*, 361–367.
- Jevtić, R. B. (2016). Security in Metro - an Example for Simulation of Evacuation From Subway. *Facta Universitatis*, 13(3), 197–208. <https://doi.org/10.22190/FUWLEP1603197J>
- Kelton, W. D. (1983). Simulation Analysis. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1201/9781351074681-5>
- Kirik, E., Dekterev, A., Litvintsev, K., Malyshev, A., & Kharlamov, E. (2018). The solution of fire safety problems under a design stadia with computer fire and evacuation simulation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 456). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012073>
- Kirik, E., Malyshev, A., Vitova, T., Popel, E., & Kharlamov, E. (2018). Pedestrian movement simulation for stadiums design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 456). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012074>
- Klüpfel, H. (2014). PedGo Guardian: Evacuation Decision Support System for Events. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 445–454). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02447-9>
- Klüpfel, H., & Meyer-König, T. (2005). Simulation of the evacuation of a football stadium using the CA model PedGo. In *Traffic and Granular Flow 2003* (pp. 423–428).

- Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-28091-x_43
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., & Post, J. (2010). Exit choice, (pre-)movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation - Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.006>
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Kuligowski, E. D., & Hoskins, B. L. (2011). Analysis of Occupant Behavior During a Highrise Office Building Fire. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (pp. 685–697). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_61
- Li, Yan, Zhang, Y., & Jiang, J. (2019). Research on Emergency Evacuation Simulation of Old Dormitory Building Based on Pathfinder. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 527). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2481-9_58
- Li, Yi, Lu, C., & Jin, J. (2021). Simulation of a pediatric hospital in evacuation considering groups. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 107, 1–. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102150>
- Lin, Y., Wu, M., & Hsueh, C. (2015). A crowd simulation for a large-scale indoor venue - a case study of Taipei Arena. *Journal of Applied Operational Research*, 7, 8–14.
- Liu, Y. (2015). Optimizing Gymnasium Evacuation Performance by Agent-Based Simulation. *14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 1465–1472.
- 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 Baptista, J., & Alves de Oliveira, P. (2012). *Emergency evacuation exercises in a Non-Governmental Organization of Social Solidarity with 4 areas of activity*. 187–189.
- Mahmudzadeh, A., Ghorbani, M., & Hakimelahi, A. (2020). Providing an Emergency Evacuation Model for the Stadium. *Transportation Research Procedia*, 48, 620–631.

- <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.064>
- Meacham, B. J. (1999). Integrating human factors issues into engineered fire safety design. *Fire and Materials*, 23(6), 273–279. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1018\(199911/12\)23:6<273::AID-FAM699>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1018(199911/12)23:6<273::AID-FAM699>3.0.CO;2-Q)
- Minegishi, Y., & Takeichi, N. (2018). Design guidelines for crowd evacuation in a stadium for controlling evacuee accumulation and sequencing. *Japan Architectural Review*, 1(4), 471–485. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12042>
- Ministério da Juventude e do Desporto. (2001). Decreto Regulamentar nº 10/2001 de 7 de Junho. *Diário Da República - I Série-B*.
- Morgado, J. C. (2012). *O Estudo de Caso na Investigação em Educação*. De Facto Editores.
- Mu, H. L., Wang, J. H., Mao, Z. L., Sun, J. H., Lo, S. M., & Wang, Q. S. (2013). Pre-evacuation human reactions in fires: An attribution analysis considering psychological process. *Procedia Engineering*, 52, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.142>
- Oh, C., Novotny, A. M., Carter, P. L., Ready, R. K., Campbell, D. D., & Leckie, M. C. (2016). Use of a simulation-based decision support tool to improve emergency department throughput. *Operations Research for Health Care*, 9, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2016.03.002>
- Ouellette, M. J., & Rea, M. S. (1989). Illuminance requirements for emergency lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 18(1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/00994480.1989.10748741>
- Pelechano, N., & Badler, N. I. (2006). Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(6), 80–86. <https://doi.org/10.1109/MCG.2006.133>
- Pinto, N., Leça Coelho, A., & Paulo C. Rodrigues, J. (2008). Gestão da Evacuação de Edifícios em caso de Emergência. *CD Do 1º Forum Internacional de Gestão Da Construção - GESCON 2008: Gestão Do Processo Do Empreendimento de Construção*, 1–10.
- Ren, A., Shi, J., & Shi, W. (2007). Integration of fire simulation and structural analysis for safety evaluation of gymnasiums-With a case study of gymnasium for Olympic Games in 2008. *Automation in Construction*, 16(3), 277–289.

- <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.006>
- Rendón Rozo, K., Arellana, J., Santander-Mercado, A., & Jubiz-Diaz, M. (2019). Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation. *Safety Science*, 113, 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.11.028>
- Sá, J., Ferreira, L. P., Dieguez, T., & Sá, J. C. (2022). Industry 4.0 in the Wine Sector - Development of a Decision Support System Based on Simulation Models. In *Innovations in Industrial Engineering* (pp. 371–384). Springer International Publishing.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (Vol. 1, pp. 7–14). IEEE. <https://doi.org/10.1109/wsc.1998.744892>
- Silva, V., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Tjahjono, B., & Ávila, P. (2021). Simulation-based decision support system to improve material flow of a textile company. *Sustainability*, 13(5), 2947. <https://doi.org/10.3390/su13052947>
- Siyam, N., Alqaryouti, O., & Abdallah, S. (2020). Research Issues in Agent-Based Simulation for Pedestrians Evacuation. *IEEE Access*, 8, 134435–134455. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2956880>
- Szilagyi, C. (2013). The comparison of the results of a full scale evacuation test the calculation method of Hungarian regulations and to the Pathfinder software. *Proceedings of International Conference on Application of Structural Fire Engineering*.
- Thunderhead Engineering. (2020). *Pathfinder User Manual*. <https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020-3/user-manual/>
- Tolk, A. (2010). Using simulation systems for decision support. In *Intelligent Systems in Operations: Methods, Models and Applications in the Supply Chain* (pp. 253–272). <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-605-6.ch013>
- Vicente, P. (2005). O uso de simulação como metodologia de pesquisa em ciências sociais. *Cadernos EBAPE.BR*, 3(1), 01–09. <https://doi.org/10.1590/s1679-39512005000100008>
- Wei, Z., Wu, Y., & Li, Y. (2009). Application of pedestrian simulation software in Beijing

- Olympic Games: A case study of Olympic badminton venue. *WRI World Congress on Software Engineering, WCSE*, 2, 254–261. <https://doi.org/10.1109/WCSE.2009.166>
- Xiao, M., Zhou, X., Pan, X., Wang, Y., Wang, J., Li, X., Sun, Y., & Wang, Y. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports* 12, 2732, 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06211-w>
- Zale, J., Kar, B., & Cochran, D. (2018). Optimizing stadium evacuation by integrating geocomputation and affordance theory. *Journal of Emergency Management*, 16(2), 81–93. <https://doi.org/10.5055/jem.2018.0357>
- Zhang, H., & Long, H. C. (2021). Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*, 1880(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1880/1/012010>
- Zhang, W., Terrier, V., Fei, X., Markov, A., Duncan, S., Balchanos, M., Sung, W. J., Mavris, D. N., Loper, M. L., Whitaker, E., & Riley, M. (2018). Agent-based modeling of a stadium evacuation in a smart city. *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, 2803–2814. <https://doi.org/10.1109/WSC.2018.8632176>
- Zhao, J., & Song, S. (2016). Research on Safe Evacuation Simulation of University Students' Dormitory Buildings Based on Pathfinder. *Proceedings of 2015 2nd International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering*, 493–499. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-655-3>
- Zhou, M., Dong, H., Ioannou, P. A., Zhao, Y., & Wang, F. Y. (2019). Guided crowd evacuation: Approaches and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 6(5), 1081–1094. <https://doi.org/10.1109/JAS.2019.1911672>
- Żydek, K., Król, M., & Król, A. (2021). Evacuation simulation focusing on modeling of disabled people movement. *Sustainability*, 13(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su13042405>