

**isec**  
**Engenharia**

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**Segurança contra Incêndios em Edifícios  
Hospitalares, com Análise Baseada no  
Desempenho, e por Abordagem  
Prescritiva**

DEFINITIVO

Autor

**Nuno Miguel Álvares Coelho**

Orientadores

**Prof. Doutor António José Pedroso de Moura Correia**

**Prof. Doutor Nuno Carlos Moura Correia**

Coimbra, novembro 2021

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

### **Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Especialização em Construção Urbana

Autor

**Nuno Miguel Álvares Coelho**

Orientadores

**Prof. Doutor António José Pedroso de Moura Correia**

**Prof. Doutor Nuno Carlos Moura Correia**

Coimbra, novembro 2021

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores Prof. Doutor António José Pedroso de Moura Correia e Prof. Doutor Nuno Carlos Moura Correia por todo o apoio, orientação e disponibilidade dada ao longo da elaboração deste trabalho.

Agradeço também aos meus colegas que ao longo deste ciclo de estudos me apoiaram e motivaram em cada passo, nomeadamente à Sara Cardoso o Flávio Figueiredo e claro ao “Razinza” Paulo Fechinha Figueiredo que muito me apoiou, não só durante as aulas como também na elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores pela disponibilidade e paciência que tiveram para me apoiar neste fabuloso percurso.

Por último, agradeço à minha família por todo o apoio e tolerância perante as minhas ausências, em particular ao meu filho Nuno Bernardes Coelho e à minha mulher Liseta Bernardes Coelho. Muito obrigado, sem vocês não o teria feito.

Ser trabalhador-estudante durante o tempo letivo e utilizar ferramentas recentes para a realização deste trabalho, quando questionado se foi fácil? Não, não foi nada fácil e houve vários momentos de “desistência”, mas se fosse fácil não era para mim!

## RESUMO

O risco de Incêndio num edifício público é um tema de extrema importância para a segurança das populações, e para a salvaguarda dos bens materiais existentes nesse edifício. A recente publicação do novo Regulamento de Segurança contra Incêndios, veio procurar melhorar as condições de preparação dos edifícios, face à eventual ocorrência de um incêndio. Nesse sentido, interessa analisar as condições existentes nos edifícios já existentes, por forma a que a segurança não se verifique apenas nos edifícios novos. Particularmente, nos edifícios Hospitalares, deverá existir um especial cuidado na sua salvaguarda, principalmente pela dificuldade na evacuação de pessoas acamadas e com mobilidade condicionada, tendo também em conta que desde a construção inicial os edifícios sofrem ao longo do tempo alterações nas suas valências/serviços, que implicarão necessariamente alterações desde ligeiras a profundas não só em termos de compartimentação interior, mas também, no tipo de materiais e equipamentos necessários às novas valências/ n. de utentes.

A segurança contra incêndio em edifícios públicos é um assunto complexo face à diversidade de utilização dos edifícios, principalmente devido à grande concentração de pessoas, e à eventual elevada carga de incêndio existente nalguns edifícios

Nesta tese, aborda-se o tema da segurança dos edifícios hospitalares, com particular estudo de uma clínica com internamento e consultas externas, onde se articularam os métodos prescritivos dos regulamentos nacionais, com a modelação numérica da propagação do incêndio, bem como com a modelação numérica da evacuação de edifícios, para avaliar se as medidas de segurança implementadas são adequadas à salvaguarda das vidas e património do edifício em questão. O caso em estudo é uma Clínica existente na cidade de Coimbra. No edifício, foi feito um levantamento de todos os perigos potenciais com influência no risco de incêndio. Estudaram-se 5 cenários com os focos em cinco zonas. As zonas estudadas são: 1) Sala de estar Piso -1 da maternidade; 2) Corredor Piso 2 do internamento da maternidade (a norte da porta CF do corredor); 3) Corredor Piso 2 do internamento da maternidade (a sul da porta CF do corredor); 4) Sala de Estar / Visitas no piso 2 do internamento da maternidade; 5) Secretariado Clínico piso 2 consultas externas. São também apresentadas soluções para melhorar a desenfumagem de quatro dos cenários estudados e o impacto provocado por estes nos tempos de evacuação dos utentes.

**Palavras-chave:** Simulação Numérica; Incêndio; Fumo; Pathfinder; Pyrosim; Evacuação; Emergência; Unidade; Saúde; Malha; Cálculo; Hospital; Comportamento Humano

## ABSTRACT

The risk of fire in public building is an issue of extreme importance for the safety of its users, and for the safeguarding of property and equipment. The recent publication of the new Fire Safety Regulation sought to improve the conditions for preparing buildings for the event of a fire. In this sense, it is interesting to analyze the existing conditions in existing buildings, so that security is not only verified in new buildings. Particularly, in Hospital buildings, special care should be taken to safeguard them, mainly due to the difficulty in evacuating bedridden people and people with limited mobility, also taking into account that since the initial construction, buildings undergo changes in their uses /services over time, which will necessarily imply from slight to profound changes not only in terms of interior compartmentation, but also in the type of materials and equipment needed for the new uses and number of users.

Fire safety in public buildings is a complex issue given the diversity of uses in them, mainly due to the high density of people, and the possible high fire load existing in some buildings.

In this thesis, the theme of the safety of hospital buildings is addressed, with a particular study of a clinic with inpatient and external consultations, where the prescriptive methods of national regulations were articulated, with the numerical modeling of fire propagation, as well as with the numerical modeling evaluation of the evacuation of buildings, to assess whether the security measures implemented are adequate to safeguard the lives and assets of studied building. The case under study is an existing Clinic in the city of Coimbra. In the building a survey was made to identify all potential hazards influencing the risk of fire. Five fire scenarios were studied in five different zones. The studied areas were: 1) Living room Floor - 1 of the maternity hospital; 2) Hallway 2nd floor of the maternity hospital (to the north of the Fire Protection Door in the hallway); 3) Hallway Floor 2 of the maternity hospital (south of the Fire Protection Door in the hallway); 4) Living/Visiting Room on the 2nd floor of the maternity hospital; 5) Clinical Secretariat floor 2 external consultations. Solutions are also presented to improve the smoke clearance of four of the studied scenarios and the impact caused by these on users evacuation times.

**Keywords:** Numerical Simulation; Fire; Smoke; Pathfinder; Pyrosim; Evacuation; Emergency; Hospital; Mesh; Human Behavior

## ÍNDICE

1. - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 – Objetivos.....	1
1.2 – Estrutura da Tese .....	2
2. – Estado da Arte .....	4
3. - Dinâmica do Fogo e Comportamento Humano .....	12
3.1 - Dinâmica do fogo.....	12
3.1.1 - Transferência de calor.....	13
3.1.2 - Condução .....	13
3.1.3 - Convecção.....	13
3.1.4 - Radiação.....	14
3.1.5 – Pirolise.....	14
3.1.6 - Desenvolvimento tradicional de incêndio.....	15
3.1.7 - Comportamento de um incêndio e ocorrência de flashover.....	15
3.1.8 - Extinção do Incêndio .....	17
3.2 – Comportamento Humano .....	18
4. - Software utilizado e requisitos de hardware .....	21
4.1. Software Utilizado.....	21
4.1.1 - CAD - Computer Aided Design ou desenho auxiliado por computador .....	21
4.1.2 - Revit - Software de modelação de informações de construção .....	22
4.1.3 - Pyrosim, Fire Dynamic Simulator (FDS) e Smokeview.....	22
4.1.4 - Pyrosim - Interface Gráfico .....	23
4.1.5 - Fire Dynamic Simulator - Simulador de Dinâmica de Fogo .....	23
4.1.6 - Smokeview - Visualizador de resultados.....	25
4.1.7 - Pathfinder - Simulador de Movimento Humano.....	25
4.2 Requisitos de Hardware e critérios de processamento .....	26
4.2.1 - Requisitos de Hardware .....	26
4.2.2 - Critérios de processamento .....	27
5. Legislação aplicável .....	29
5.1. Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE).....	29
5.2 - Regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios .....	30
5.3 Utilizações Tipo .....	31
5.4 - Locais de Risco .....	31
5.5. - Categoria de Risco .....	33

5.6. – Verificação do cumprimento da Legislação sobre Segurança contra incêndios em edifícios .....	33
6. - Apresentação do Caso de Estudo.....	34
6.1 - Documentos e fontes para a realização do trabalho.....	34
6.2 - Implantação e vias de acesso .....	34
6.2.1 Descrição funcional e respetivas áreas piso a piso.....	35
6.3 - Utilizações Tipo .....	37
6.4 - Categoria de Risco .....	38
6.5 - Características Físicas do edifício.....	38
6.5.1 - Vias de Acesso .....	38
6.5.2 - Acesso às Fachadas.....	38
6.5.3 - Características construtivas exteriores.....	39
6.5.4 - Isolamento de locais de circulação e Resistência ao fogo de elementos de construção.....	39
6.5.4.1- Isolamento e proteção de locais de risco.....	39
6.5.5 - Isolamento e proteção de meios de circulação.....	40
6.5.5.1 - Proteção das vias horizontais de evacuação.....	40
6.5.5.2 - Proteção das vias verticais de evacuação e camaras CF .....	41
6.5.5.3 - Isolamento e proteção das caixas dos elevadores e restantes características.....	41
6.5.5.4 - Isolamento e proteção de canalizações e condutas .....	42
6.6 - Cenários estudados.....	42
6.6.1 - Sala de Estar Piso -1 Maternidade (Cenário A0).....	42
As figuras seguintes mostram pormenores do local onde foi definido o incêndio do cenário A0.....	42
6.6.2 - Corredor piso 2 Internamento Maternidade (A1; A2 e A3).....	46
6.6.2.1 - Cenário A1 .....	46
6.6.2.2 - Cenário A2 .....	48
6.6.2.3- Cenário A3 .....	50
6.6.2.4- Cenário B .....	50
7. - Execução do modelo .....	53
7.1 - Modelo 2D Fornecido .....	53
7.2 - Modelação 3D.....	54
7.3 - Modelo 3D para simulação de incêndio - Interface Pyrosim.....	54
7.3.1 - Materiais .....	55
7.3.2 - Superfícies.....	57
7.3.3 - Mesh - Malha de Volumes Finitos - Definição da malha de cálculo.....	57
7.3.3.1 - Dimensão das malhas.....	58

7.3.3.2 - Geometria de malha múltipla.....	59
7.3.3.3 - Cálculo com malha múltipla – Alinhamento .....	61
7.3.3.4 - Resolução da malha .....	62
7.3.4 - Superfícies e curvas de incêndio.....	63
7.3.4.1 - Objetos presentes na simulação .....	63
7.3.4.2 - Burner - Fonte de incêndio .....	64
7.3.5 - Dispositivos de Exclusão ou Inclusão de elementos.....	67
7.3.5.1 - Dispositivos de exclusão - Vidros.....	67
7.3.5.2 - Dispositivos de inclusão - Portas corta-fogo .....	69
7.3.6 - Sensores de visibilidade.....	72
7.3.7 - Slices (cortes) Temperatura - Visibilidade .....	72
7.4 - Modelo 3D para simulação de evacuação - Interface Pyrosim.....	75
7.4.1 - Interface Pathfinder.....	75
7.4.2 - Realização do modelo .....	76
7.4.3 - Perfis - Profiles .....	77
7.4.4- Forma de Veículos - Vehicle Shapes .....	78
7.4.5 - Equipas de Evacuação Assistida - Assisted Evacuation Team.....	78
7.4.6 - Comportamentos - Behaviours .....	79
7.4.7 - Ocupantes - Occupants .....	80
7.4.8 - Elevadores - Elevators .....	80
8 . - Modelação numérica de Incêndio e de evacuação .....	81
8.1 - Construção dos cenários .....	81
8.1.1 - Materiais constituintes .....	81
8.1.1.1 - Cenário A0.....	81
8.1.1.2 - Cenários A1, A2 e A3.....	82
8.1.1.3 - Cenário B .....	83
8.2 - Localização da fonte de incêndio, Malhas de Cálculo, Sistemas de Ventilação, Localização dos detetores de visibilidade e Localização das slices de Temperatura e Visibilidade.....	84
8.2.1 - Cenário A0.....	84
8.2.1.1 - Localização da fonte de Incêndio .....	84
8.2.1.2 - Malhas de Cálculo.....	85
8.2.1.3- Sistemas de Ventilação .....	85
8.2.1.4 - Localização dos detetores de visibilidade.....	87
8.2.1.5 - Localização das Slices .....	88
8.2.2 - Cenário A1 .....	89

8.2.2.1 - Localização da fonte de Incêndio .....	89
8.2.2.2 - Malhas de Cálculo.....	90
8.2.2.3 - Sistemas de Ventilação .....	90
8.2.2.4 - Localização dos detetores de visibilidade.....	92
8.2.2.5 - Localização das Slices .....	93
8.2.3 - Cenário A2 .....	93
8.2.3.1 - Localização da fonte de Incêndio do cenário A2.....	94
8.2.3.2 - Malhas de Cálculo.....	94
8.2.3.3 - Sistemas de Ventilação .....	95
8.2.3.4 - Localização dos detetores de visibilidade.....	97
8.2.4.5 - Localização das Slices .....	97
8.2.4 - Cenário A3 .....	98
8.2.4.1 - Localização da fonte de Incêndio .....	98
8.2.5 - Cenário B .....	98
8.2.5.1 - Localização da fonte de Incêndio do cenário B.....	99
8.2.5.2 - Malhas de Cálculo.....	99
8.2.5.3 - Sistemas de Ventilação .....	99
8.2.5.4 - Localização dos detetores de visibilidade.....	102
8.2.5.5 - Localização das Slices de Temperatura e visibilidade.....	103
8.3 - Cenários .....	103
8.3.1 - Cenário A0 .....	104
8.3.1.1 - Efetivo considerado .....	104
8.3.1.2 - Ocupantes considerados na simulação.....	105
8.3.1.3 - Descrição da simulação de evacuação .....	107
8.3.1.5 - Quadro final com resumo de evacuação .....	123
8.3.2 - Cenário A1 .....	124
8.3.2.1 - Efetivo considerado .....	124
8.3.2.2 - Ocupantes considerados na simulação.....	125
8.3.2.3 - Descrição da simulação de evacuação .....	126
8.3.2.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto .....	128
8.3.3 - Cenário A2 .....	129
8.3.3.1 - Efetivo considerado .....	129
8.3.3.2 - Ocupantes considerados na simulação.....	131
8.3.3.3 - Descrição da simulação de evacuação .....	132

8.3.3.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto .....	134
8.3.4 - Cenário A.3 .....	135
8.3.4.1 - Efetivo considerado .....	135
8.3.4.2 - Ocupantes considerados na simulação .....	135
8.3.4.3 - Descrição da simulação de evacuação .....	135
8.3.4.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto .....	136
8.3.5 - Cenário B .....	138
8.3.5.1 - Efetivo considerado .....	138
8.3.5.2 - Ocupantes considerados na simulação .....	140
8.3.5.3 - Descrição da simulação de evacuação .....	142
8.3.5.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto .....	143
9. - Considerações finais .....	145
10. Conclusões .....	148
Bibliografia .....	149
ANEXO 1 .....	1
A.1 - Simulação incêndio com fenômeno flashover .....	2
ANEXO 2 .....	1
A.2.1 - Simulação com sistema de ventilação do edifício .....	2
A.2.2 - Simulação com sistema de ventilação proposto .....	16
ANEXO 3 .....	1
A.3.1 - Simulação com sistema de ventilação do edifício .....	2
A.3.2 - Simulação com sistema de ventilação proposto .....	14
ANEXO 4 .....	1
A.4.1 - Simulação com sistema de ventilação do edifício .....	2
A.4.2 - Simulação com sistema de ventilação proposto .....	15
ANEXO 5 .....	1
A.5.1 - Simulação com sistema de ventilação do edifício .....	2
A.5.2 - Simulação com sistema de ventilação proposto .....	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Incêndio Piso 97 Torre 1 – World Trade Center FDS - (MaGrattan, 2004) .....	4
Figura 2. 2 – Propagação do incêndio e pluma de fumo torre WTC (MaGrattan, 2004).....	5
Figura 2. 3 – Propagação dos incêndios e plumas de fumo torres WTC (após embate do 2º avião) (MaGrattan, 2004) .....	5
Figura 2. 4 – Deformada da 2ª Torre 40 minutos após o embate do avião.....	5
Figura 2. 5 - Vistas 3D do edifício em estudo (Araújo et. al., 2016) .....	6
Figura 2. 6 – Simulação da propagação do incêndio (Araújo et. al., 2016) .....	7
Figura 2. 7 – Simulação da evacuação (Araújo et. al., 2016).....	7
Figura 2. 8 - Análise de resultados das simulações (Araújo et. al., 2016).....	7
Figura 2. 9 - Malha computacional FDS + EVAC (Grigorias, 2014) .....	8
Figura 2. 10 - Malha computacional Pathfinder .....	8
Figura 2. 11 - Evacuação FDS + EVAC (Grigorias, 2014).....	8
Figura 2. 12 - Evacuação Pathfinder (Grigorias, 2014).....	8
Figura 2. 13 - Número de ocupantes nos domínios computacionais (Grigorias, 2014) .....	8
Figura 2. 14 – Plano de simulação de evacuação (Qin et. al.,2020).....	9
Figura 2. 15 – Diagrama de fluxo de evacuação em cada escada - (Qin et. al.,2020).....	10
Figura 2. 16 – a) Planta do piso 0; b) Planta dos pisos superiores (Gerges et. al., 2021) .....	10
Figura 2. 17 – c) Modelo 3D Revit; d) Modelo 3D Pathfinder (Gerges et. al., 2021) .....	11
Figura 2. 18 – e) Saída de emergência; f) Entrada Principal e entrada secundária (Gerges et. al., 2021).....	11
Figura 2. 19 – Modelo de fluxo de evacuação baseado em cenários definidos comportamento humano (Gerges et. al., 2021).....	11
Figura 3. 1– Tetraedro de fogo .....	12
Figura 3. 2 – Transferencia de calor por Condução (NIST, 2010).....	13
Figura 3. 3 – Transferencia de calor por Condução (NIST, 2010).....	13
Figura 3. 4 – Transferencia de calor por Radiação (NIST, 2010) .....	14
Figura 3. 5 – Representação de processos de transferência de massa e de calor (Drysdale, 1985).....	14
Figura 3. 6 – Desenvolvimento de um incêndio tradicional.....	15
Figura 3. 7 – Comportamento de um incêndio e ocorrência de flashover.....	16
Figura 3. 8 – Flashover numa cozinha – Ensaio (NIST, 2010) .....	17
Figura 3. 9 – Tetraedro de fogo – retirar um dos elementos .....	17
Figura 3. 10 – Movimento de Homem e Mulher na presença de fumo (Wood, 1972) .....	18
Figura 3. 11 – Movimento de pessoa na presença de fumo em via de evacuação (Wood, 1972) .....	19
Figura 3. 12 – Movimento de pessoa com experiência de incêndio anterior (Wood, 1972)....	19
Figura 3. 13 – Efeitos da Hipoxia no corpo Humano (Marser, 2010).....	20
Figura 3. 14 – Reação humana à exposição de Monóxido de Carbono (Marser, 2010).....	20

Figura 4. 1 – Programa Autocad versão 2021 .....	21
Figura 4. 2 – Programa Revit 2020 .....	22
Figura 4. 3 – Pyrosim – Interface gráfico .....	23
Figura 4. 4 – Fire Dynamics Simulator (NIST, 2010).....	24
Figura 4. 5 – Opções para iniciar os cálculos.....	28
Figura 4. 6 – 8 malhas que correspondem a 8 núcleos de CPU .....	28
Figura 6. 1 – Localização e Acesso à Unidade Hospitalar de Coimbra .....	35
Figura 6. 2 – Alçado Principal.....	36
Figura 6. 3 – Alçado Posterior.....	36
Figura 6. 4 – Alçado Poente .....	37
Figura 6. 5 – Alçado Nascente.....	37
Figura 6. 6 – Utilizações tipo – Plano de Emergência (Rocha, 2012).....	38
Figura 6. 7 – Categorias de Risco do edifício .....	38
Figura 6. 8 – Localização do cenário A0 – Início do incêndio.....	42
Figura 6. 9 – Sala de Estar da Maternidade -1.256. Início do incêndio .....	43
Figura 6. 10 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Alçado Nascente).....	43
Figura 6. 11 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Ampliação Alçado Nascente) .....	43
Figura 6. 12 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Alçado Nascente - Revit).....	44
Figura 6. 13 - Vias de Evacuação Cenário A0 - Projeto de SCIE .....	44
Figura 6. 14 - Plano de evacuação (Rocha, 2012) .....	45
Figura 6. 15 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012).45	
Figura 6. 16 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2.....	46
Figura 6. 17 - Vias de Evacuação Cenário A1 - Projeto de SCIE .....	46
Figura 6. 18 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12) .....	47
Figura 6. 19 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012).47	
Figura 6. 20 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2.....	48
Figura 6. 21 - Vias de Evacuação Cenário A2 - Projeto de SCIE .....	48
Figura 6. 22 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12) .....	49
Figura 6. 23 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012).49	
Figura 6. 24 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2.....	50
Figura 6. 25 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2.....	50
Figura 6. 26 - Vias de Evacuação Cenário A2 - Projeto de SCIE .....	51
Figura 6. 27 - Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012) .51	
Figura 6. 28 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12) .....	52
Figura 7. 1 - Planta Piso 1 – Exemplo dos elementos recebidos .....	53
Figura 7. 2 - Planta Piso 1 com indicação de revestimentos – Exemplo dos elementos recebidos.....	53
Figura 7. 3 - Clínica - Modelo 3D Revit - Poente / Sul.....	54
Figura 7. 4 - Imagem do interface Pyrosim com modelo importado de Revit .....	55
Figura 7. 5 – Ferramenta de Parametrização de Material - "Madeira" .....	56

Figura 7. 6 – Separadores de Materiais e Superfícies.....	56
Figura 7. 7 – Parametrização da Superfície "Madeira" .....	57
Figura 7. 8 – Malha 10 x 10 x 10 com células com 0,25 m <sup>3</sup> - 64.000 células .....	58
Figura 7. 9 - Malha 10 x 10 x 10 com células com 0,50 m <sup>3</sup> - 8.000 células.....	59
Figura 7. 10 - Malha 10 x 10 x 10 com células com 1 m <sup>3</sup> - 1.000 células.....	59
Figura 7. 11 - Uma malha constituída por 11 submalhas com células de 0,50m .....	60
Figura 7. 12 - Uma malha com 4 submalhas com células de 1,00m .....	60
Figura 7. 13 – Desenvolvimento de incêndio .....	61
Figura 7. 14 - Exemplo de geometria de malha - FDS Users Guide .....	61
Figura 7. 15 – Recomendações para alinhamento de malhas (NIST, 2010) .....	62
Figura 7. 16 – HRR / Tempo em caracterização t <sup>2</sup> .....	63
Figura 7. 17 – Escolha do tipo de incêndio .....	64
Figura 7. 18 – Taxa de Crescimento de incêndio e RHRf para diferentes tipos de ocupação (Eurocódigo1 , 2010).....	65
Figura 7. 19 – Valores de carga de incêndio .....	65
Figura 7. 20 – Evolução de incêndio .....	66
Figura 7. 21 - Menu de parametrização do termopar dos Envidraçados - Temperatura a 320°C .....	68
Figura 7. 22 - Dispositivo de exclusão - Painel do Sistema Envidraçado desativa quando termopar ativa (atinge 320°C).....	69
Figura 7. 23 - Menu de parametrização do termopar das .....	70
Figura 7. 24 - Dispositivo de Inclusão - Porta Corta Fogo ativa.....	70
Figura 7. 25 - Termopares dos envidraçados e das portas corta-fogo - Vista exterior.....	71
Figura 7. 26 - Termopares dos envidraçados e das portas corta-fogo - Vista interior.....	71
Figura 7. 27 – Sensores de visibilidade cenário A .....	72
Figura 7. 28 – Menu com slices de Temperatura e Visibilidade.....	73
Figura 7. 29 – Slices temperatura no interface Pyrosim.....	73
Figura 7. 30 – Slices temperatura no Smokeview ao segundo 249,8 da simulação de incêndio da sala de espera do piso 0.....	74
Figura 7. 31 – Slices visibilidade no interface Pyrosim .....	74
Figura 7. 32 – Slices visibilidade Smokeview ao segundo 249,8 da simulação de incêndio da sala de espera do piso 0 .....	75
Figura 7. 33 – Imagem do interface Pathfinder com modelo importado de Pyrosim.....	75
Figura 7. 34 – Dados importados da simulação de incêndio para a simulação de evacuação..	76
Figura 7. 35 – Pisos -1; R/C; 1 e 2.....	77
Figura 7. 36 – Edição de Perfil .....	77
Figura 7. 37 – Tempos de preparação e velocidades (Hunt, et al., 2013) .....	78
Figura 7. 38 – Edição – configuração de macas .....	78
Figura 7. 39 – Edição Equipas de Evacuação.....	79
Figura 7. 40 – Configuração de comportamento .....	79
Figura 7. 41 – Configuração ocupantes .....	80
Figura 7. 42 – Pode observar-se os elevadores do 1 ao 5.....	80

Figura 8. 1 – Localização da fonte de incêndio e mobiliários da Sala de Estar .....	84
Figura 8. 2 - Malhas de calculo do Cenário A.....	85
Figura 8. 3 - 11 malhas com 57.600 células .....	85
Figura 8. 4 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário A.....	86
Figura 8. 5 – Ventilação – Insuflação - Cenário A.....	86
Figura 8. 6 – Ventilação – Extração - Cenário A .....	87
Figura 8. 7 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A.....	87
Figura 8. 8 – Slices do Cenário A.....	88
Figura 8. 9 – Localização da fonte de incêndio do cenário A1 – Setor B Corredor piso 2 junto Setor C.....	89
Figura 8. 10- Malhas de calculo do Cenário A1 .....	90
Figura 8. 11 - 8 malhas com 63.424 células .....	90
Figura 8. 12 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário A1 .....	91
Figura 8. 13 - Ventilação – Insuflação - Cenário A1 .....	91
Figura 8. 14 - Ventilação – Extração - Cenário A1 .....	92
Figura 8. 15 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A1 .....	92
Figura 8. 16 - Slices do Cenário A1 .....	93
Figura 8. 17 - Localização da fonte de incêndio do cenário A2 – Setor C Corredor piso 2 junto Setor B.....	94
Figura 8. 18 - Ventilação - Insuflação e Extração Cenário A1 .....	95
Figura 8. 19 - Ventilação - Insuflação- Cenário A2 .....	96
Figura 8. 20 - Ventilação – Extração - Cenário A2.....	96
Figura 8. 21 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A2.....	97
Figura 8. 22 - Slices do Cenário A2 .....	97
Figura 8. 23 - Localização da fonte de incêndio do cenário A3.....	98
Figura 8. 24 - Localização da fonte de incêndio do cenário B.....	99
Figura 8. 25 – Malhas de calculo do Cenário B .....	99
Figura 8. 26 – 9 malhas com 32.128 células .....	99
Figura 8. 27 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário B.....	100
Figura 8. 28 - Ventilação - Admissão - Cenário B .....	101
Figura 8. 29 - Ventilação - Extração- Cenário B.....	101
Figura 8. 30 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A2.....	102
Figura 8. 31 - Slices de Temperatura; Visibilidade;.....	103
Figura 8. 32 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes).....	107
Figura 8. 33 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes) .....	107
Figura 8. 34 - Simulação 10s.....	108
Figura 8. 35 – SOOT VISIBILITY .....	108
Figura 8. 36 - HRRPUV .....	108
Figura 8. 37 - Temperature.....	108
Figura 8. 38 – Oxygen Volume Fraction.....	108
Figura 8. 39 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	108
Figura 8. 40 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	108
Figura 8. 41 – Simulação 20s .....	109

Figura 8. 42 - Visibility .....	109
Figura 8. 43 - HRRPUV .....	109
Figura 8. 44 - Temperature .....	109
Figura 8. 45 - Oxygen Volume Fraction.....	109
Figura 8. 46 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	109
Figura 8. 47 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	109
Figura 8. 48 – Simulação 30 s .....	110
Figura 8. 49 - Visibility .....	110
Figura 8. 50 - HRRPUV .....	110
Figura 8. 51 - Temperature.....	110
Figura 8. 52 - Oxygen Volume Fraction.....	110
Figura 8. 53 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	110
Figura 8. 54 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	110
Figura 8. 55 – Simulação 60s .....	111
Figura 8. 56 - Visibility .....	111
Figura 8. 57 - HRRPUV .....	111
Figura 8. 58 - Temperature.....	111
Figura 8. 59 - Oxygen Volume Fraction.....	111
Figura 8. 60 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	111
Figura 8. 61 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	111
Figura 8. 62 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s .....	112
Figura 8. 63 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s .....	112
Figura 8. 64 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s .....	112
Figura 8. 65 - Simulação 100s.....	113
Figura 8. 66 - Visibility .....	113
Figura 8. 67 - HRRPUV .....	113
Figura 8. 68 - Temperature.....	113
Figura 8. 69 - Oxygen Volume Fraction.....	113
Figura 8. 70 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	113
Figura 8. 71 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	113
Figura 8. 72 Simulação aos 120s.....	114
Figura 8. 73 - Visibility .....	114
Figura 8. 74 - HRRPUV .....	114
Figura 8. 75 - Temperature.....	114
Figura 8. 76 - Oxygen Volume Fraction.....	114
Figura 8. 77 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	114
Figura 8. 78 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	114
Figura 8. 79 – Simulação aos 150s.....	115
Figura 8. 80 - Visibility .....	115
Figura 8. 81 - HRRPUV .....	115
Figura 8. 82 - Temperature.....	115
Figura 8. 83 - Oxygen Volume Fraction.....	115
Figura 8. 84 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	115

Figura 8. 85 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	115
Figura 8. 86 – Simulação aos 250s .....	116
Figura 8. 87 - Visibility .....	116
Figura 8. 88 - HRRPUV .....	116
Figura 8. 89 - Temperature .....	116
Figura 8. 90 - Oxygen Volume Fraction.....	116
Figura 8. 91 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	116
Figura 8. 92 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	116
Figura 8. 93 – Simulação aos 350s .....	117
Figura 8. 94 - Visibility .....	117
Figura 8. 95 - HRRPUV .....	117
Figura 8. 96 - Temperature .....	117
Figura 8. 97 - Oxygen Volume Fraction.....	117
Figura 8. 98 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	117
Figura 8. 99 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	117
Figura 8. 100 – Simulação aos 465s .....	118
Figura 8. 101 - Visibility .....	118
Figura 8. 102 - HRRPUV .....	118
Figura 8. 103 - Temperature .....	118
Figura 8. 104 - Oxygen Volume Fraction.....	118
Figura 8. 105 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	118
Figura 8. 106 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	118
Figura 8. 107 – Simulação aos 480s .....	119
Figura 8. 108 – Visibility (3D) .....	119
Figura 8. 109 - HRRPUV .....	119
Figura 8. 110 - Temperature (3D) .....	119
Figura 8. 111 - Oxygen Volume Fraction (3D).....	119
Figura 8. 112 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	119
Figura 8. 113 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	119
Figura 8. 114 – Simulação aos 512s .....	120
Figura 8. 115 – Visibility (3D) .....	120
Figura 8. 116 - HRRPUV .....	120
Figura 8. 117 - Temperature (3D) .....	120
Figura 8. 118 - Oxygen Volume Fraction (3D).....	120
Figura 8. 119 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	120
Figura 8. 120 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	120
Figura 8. 121 – Simulação aos 560s .....	121
Figura 8. 122 - (3D – Fumo desativado)) .....	121
Figura 8. 123 – HRRPUV (fumo desativado) .....	121
Figura 8. 124 – Temperature .....	121
Figura 8. 125 - Oxygen Volume Fraction.....	121
Figura 8. 126 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	121
Figura 8. 127 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	121

Figura 8. 128 Simulação aos 683s .....	122
Figura 8. 129 – Visibility.....	122
Figura 8. 130 – HRRPUV .....	122
Figura 8. 131 – Temperature .....	122
Figura 8. 132 - Oxygen Volume Fraction.....	122
Figura 8. 133 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	122
Figura 8. 134 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	122
Figura 8. 135 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)...	127
Figura 8. 136 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes) ...	127
Figura 8. 137 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)...	133
Figura 8. 138 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes) ...	133
Figura 8. 139 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)...	136
Figura 8. 140 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes) ...	136
Figura 8. 141 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)...	143
Figura 8. 142 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes) ...	143

## Índice de Figuras Anexo 1

Figura A.1. 1 – Simulação aos 0s .....	2
Figura A.1. 2 – Simulação aos 5 s – Fumo espalha pelo teto da sala.....	2
Figura A.1. 3 – Simulação aos 10s .....	2
Figura A.1. 4 – Simulação aos 20s .....	3
Figura A.1. 5 – SOOT VISIBILITY .....	3
Figura A.1. 6 - HRRPUV .....	3
Figura A.1. 7 - Temperature .....	3
Figura A.1. 8 – Oxygen Volume Fraction.....	3
Figura A.1. 9 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	3
Figura A.1. 10 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	3
Figura A.1. 11 – Simulação aos 79s Fumo sala de estar e corredor.....	4
Figura A.1. 12 – SOOT VISIBILITY .....	4
Figura A.1. 13 - HRRPUV .....	4
Figura A.1. 14 - Temperature .....	4
Figura A.1. 15 – Oxygen Volume Fraction.....	4
Figura A.1. 16 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	4
Figura A.1. 17 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	4
Figura A.1. 18 – Simulação aos 105s .....	5
Figura A.1. 19 – SOOT VISIBILITY .....	5
Figura A.1. 20 - HRRPUV .....	5
Figura A.1. 21 - Temperature .....	5
Figura A.1. 22 – Oxygen Volume Fraction.....	5
Figura A.1. 23 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	5
Figura A.1. 24 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	5

Figura A.1. 25 – Simulação aos 124s – Imediatamente antes do Flashover – Vista sala de estar e corredor.....	6
Figura A.1. 26 – Simulação aos 124s – Imediatamente antes do Flashover – Vista sala de estar .....	6
Figura A.1. 27 – Simulação aos 124s – Imediatamente antes do Flashover - vista exterior .....	6
Figura A.1. 28 – 124s - Imediatamente antes do Flashover – vista sala de estar .....	7
Figura A.1. 29 – SOOT VISIBILITY .....	7
Figura A.1. 30 - HRRPUV .....	7
Figura A.1. 31 - Temperature .....	7
Figura A.1. 32 – Oxygen Volume Fraction.....	7
Figura A.1. 33 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	7
Figura A.1. 34 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	7
Figura A.1. 35 – 125s Ocorre o Flashover .....	9
Figura A.1. 36 – SOOT VISIBILITY .....	9
Figura A.1. 37 - HRRPUV .....	9
Figura A.1. 38 - Temperature .....	9
Figura A.1. 39 – Oxygen Volume Fraction.....	9
Figura A.1. 40 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	9
Figura A.1. 41 – Carbon Monoxide Volume Fraction .....	9
Figura A.1. 42 – Simulação aos 135s (10s após quebra de vidros).....	10
Figura A.1. 43 – SOOT VISIBILITY (3D).....	10
Figura A.1. 44 - HRRPUV .....	10
Figura A.1. 45 – Temperature (3D).....	10
Figura A.1. 46 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.1. 47 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.1. 48 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	10
Figura A.1. 49 – Simulação aos 160s .....	11
Figura A.1. 50 – SOOT VISIBILITY (3D).....	11
Figura A.1. 51 - HRRPUV .....	11
Figura A.1. 52 – Temperature (3D).....	11
Figura A.1. 53 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.1. 54 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.1. 55 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	11
Figura A.1. 56 – Simulação aos 260s .....	13
Figura A.1. 57 – SOOT VISIBILITY (2D e3D) .....	13
Figura A.1. 58 - HRRPUV .....	13
Figura A.1. 59 – Temperature (3D).....	13
Figura A.1. 60 – Oxygen Volume Fraction.....	13
Figura A.1. 61 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	13
Figura A.1. 62 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	13
Figura A.1. 63 – Simulação aos 430s (visualização de fumo desativada).....	14
Figura A.1. 64 – SOOT VISIBILITY (3D).....	14
Figura A.1. 65 - HRRPUV .....	14

Figura A.1. 66 – Temperature (3D).....	14
Figura A.1. 67 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	14
Figura A.1. 68 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	14
Figura A.1. 69 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	14
Figura A.1. 70 – Vista perspetiva .....	14
Figura A.1. 71 – Simulação 500s .....	15
Figura A.1. 72 – SOOT VISIBILITY (3D).....	15
Figura A.1. 73 - HRRPUV .....	15
Figura A.1. 74 – Temperature (3D).....	15
Figura A.1. 75 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	15
Figura A.1. 76 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	15
Figura A.1. 77 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	15
Figura A.1. 78 – Vista de perspetiva .....	15
Figura A.1. 79 – Simulação aos 550s – Vista do interior da sala de estar .....	17
Figura A.1. 80 – SOOT VISIBILITY (3D).....	17
Figura A.1. 81 - HRRPUV .....	17
Figura A.1. 82 – Temperature (3D).....	17
Figura A.1. 83 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.1. 84 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.1. 85 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D).....	17

## Índice de Figuras Anexo 2

Figura A.2 1 – Simulação aos 5s. Inicia a propagação de fumo.....	2
Figura A.2 2 – SOOT VISIBILITY .....	2
Figura A.2 3 – Temperature .....	2
Figura A.2 4 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	2
Figura A.2 5 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	2
Figura A.2 6 – Simulação aos 20s .....	3
Figura A.2 7 – SOOT VISIBILITY .....	3
Figura A.2 8 – Temperature .....	3
Figura A.2 9 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	3
Figura A.2 10 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	3
Figura A.2 11 – Simulação 40s .....	4
Figura A.2 12 – SOOT VISIBILITY (3D).....	4
Figura A.2 13 – Temperature (3D).....	4
Figura A.2 14 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	4
Figura A.2 15 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	4
Figura A.2 16 – Simulação aos 60s .....	5
Figura A.2 17 – SOOT VISIBILITY (3D).....	5
Figura A.2 18 – Temperature (3D).....	5
Figura A.2 19 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	5

Figura A.2 20 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	5
Figura A.2 21 – Simulação aos 80s .....	6
Figura A.2 22 – SOOT VISIBILITY (3D).....	6
Figura A.2 23 – Temperature (3D).....	6
Figura A.2 24 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	6
Figura A.2 25 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	6
Figura A.2 26 – Simulação aos 120s .....	7
Figura A.2 27 – SOOT VISIBILITY (3D).....	7
Figura A.2 28 – Temperature (3D).....	7
Figura A.2 29 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	7
Figura A.2 30 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	7
Figura A.2 31 – Simulação aos 137s – 3 Pisos vista Pyrosim.....	8
Figura A.2 32 – Simulação aos 137s (paredes e pisos desativados) .....	8
Figura A.2 33 – SOOT VISIBILITY (3D).....	8
Figura A.2 34 – Temperature (3D).....	8
Figura A.2 35 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.2 36 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.2 37 – Simulação aos 220s .....	9
Figura A.2 38 – SOOT VISIBILITY .....	9
Figura A.2 39 – Temperature .....	9
Figura A.2 40 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	9
Figura A.2 41 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	9
Figura A.2 42 – Simulação aos 240s .....	10
Figura A.2 43 – SOOT VISIBILITY .....	10
Figura A.2 44 – Temperature .....	10
Figura A.2 45 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.2 46 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	10
Figura A.2 47 – Simulação aos 550s .....	11
Figura A.2 48 – SOOT VISIBILITY .....	11
Figura A.2 49 – Temperature .....	11
Figura A.2 50 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.2 51 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	11
Figura A.2 52 – Simulação aos 560s .....	12
Figura A.2 53 – SOOT VISIBILITY .....	12
Figura A.2 54 – Temperature .....	12
Figura A.2 55 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	12
Figura A.2 56 – Carbon Dioxide Volume Fraction.....	12
Figura A.2 57 – Simulação aos 593s .....	13
Figura A.2 58 – SOOT VISIBILITY .....	13
Figura A.2 59 – Temperature .....	13
Figura A.2 60.....	13
Figura A.2 61.....	13
Figura A.2 62 – Simulação aos 1255s .....	14

Figura A.2 63 – SOOT VISIBILITY .....	14
Figura A.2 64 – Temperature .....	14
Figura A.2 65 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	14
Figura A.2 66 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	14
Figura A.2 67 – Simulação aos 1321s .....	15
Figura A.2 68 – Simulação aos 1409s .....	15
Figura A.2 69 – Simulação aos 60s .....	16
Figura A.2 70 – Simulação aos 80s .....	16
Figura A.2 71- Simulação aos 112s .....	17
Figura A.2 72 – SOOT VISIBILITY .....	17
Figura A.2 73 – Temperature (3D) .....	17
Figura A.2 74 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.2 75 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	17
Figura A.2 76 – Simulação aos 210s .....	18
Figura A.2 77 – SOOT VISIBILITY .....	18
Figura A.2 78 – Temperature .....	18
Figura A.2 79 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	18
Figura A.2 80 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	18
Figura A.2 81 – Simulação aos 1140s .....	19
Figura A.2 82 – SOOT VISIBILITY .....	19
Figura A.2 83 – Temperature .....	19
Figura A.2 84 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	19
Figura A.2 85 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	19
Figura A.2 86 – Simulação aos 1192s .....	20
Figura A.2 87 - Aos 1279s o último elemento da equipa de evacuação está junto à saída .....	20

### Índice de Figuras Anexo 3

Figura A.3. 1 – Simulação aos 5s .....	2
Figura A.3. 2 – SOOT VISIBILITY .....	2
Figura A.3. 3 – Temperature .....	2
Figura A.3. 4 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	2
Figura A.3. 5 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	2
Figura A.3. 6 – Simulação aos 20s .....	3
Figura A.3. 7 – SOOT VISIBILITY .....	3
Figura A.3. 8 – Temperature .....	3
Figura A.3. 9 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	3
Figura A.3. 10 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	3
Figura A.3. 11 – Simulação aos 40s .....	4
Figura A.3. 12 – SOOT VISIBILITY .....	4
Figura A.3. 13 – Temperature .....	4

Figura A.3. 14 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	4
Figura A.3. 15 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	4
Figura A.3. 16 – Simulação aos 60s .....	5
Figura A.3. 17 – SOOT VISIBILITY .....	5
Figura A.3. 18 – Temperature .....	5
Figura A.3. 19 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	5
Figura A.3. 20 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	5
Figura A.3. 21 – Simulação aos 232s .....	6
Figura A.3. 22 – SOOT VISIBILITY .....	6
Figura A.3. 23 – Temperature .....	6
Figura A.3. 24 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	6
Figura A.3. 25 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	6
Figura A.3. 26 – Simulação aos 300s .....	7
Figura A.3. 27 – SOOT VISIBILITY .....	7
Figura A.3. 28 – Temperature .....	7
Figura A.3. 29 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	7
Figura A.3. 30 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	7
Figura A.3. 31 – Simulação aos 480s .....	8
Figura A.3. 32 – SOOT VISIBILITY .....	8
Figura A.3. 33 – Temperature .....	8
Figura A.3. 34 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.3. 35 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	8
Figura A.3. 36 – Simulação aos 550s .....	9
Figura A.3. 37 – SOOT VISIBILITY .....	9
Figura A.3. 38 – Temperature .....	9
Figura A.3. 39 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	9
Figura A.3. 40 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	9
Figura A.3. 41 – Simulação aos 1287s .....	10
Figura A.3. 42 – SOOT VISIBILITY .....	10
Figura A.3. 43 – Temperature .....	10
Figura A.3. 44 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.3. 45 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	10
Figura A.3. 46 – Simulação aos 1370s .....	11
Figura A.3. 47 – SOOT VISIBILITY .....	11
Figura A.3. 48 – Temperature .....	11
Figura A.3. 49 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.3. 50 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	11
Figura A.3. 51 – Simulação aos 1407s .....	12
Figura A.3. 52 – SOOT VISIBILITY .....	12
Figura A.3. 53 – Temperature .....	12
Figura A.3. 54 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	12
Figura A.3. 55 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	12
Figura A.3. 56 – Simulação aos 1429s .....	13

Figura A.3. 57 – Simulação aos 60s .....	14
Figura A.3. 58 – SOOT VISIBILITY .....	14
Figura A.3. 59 – Temperature .....	14
Figura A.3. 60 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	14
Figura A.3. 61 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	14
Figura A.3. 62 – Simulação aos 172s .....	15
Figura A.3. 63 – SOOT VISIBILITY .....	15
Figura A.3. 64 – Temperature .....	15
Figura A.3. 65 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	15
Figura A.3. 66 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	15
Figura A.3. 67 – Simulação aos 224s .....	16
Figura A.3. 68 – SOOT VISIBILITY .....	16
Figura A.3. 69 – Temperature .....	16
Figura A.3. 70 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	16
Figura A.3. 71 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	16
Figura A.3. 72 – Simulação aos 480s .....	17
Figura A.3. 73 – SOOT VISIBILITY .....	17
Figura A.3. 74 – Temperature .....	17
Figura A.3. 75 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.3. 76 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	17
Figura A.3. 77 – Simulação aos 540s .....	18
Figura A.3. 78 – SOOT VISIBILITY .....	18
Figura A.3. 79 – Temperature .....	18
Figura A.3. 80 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	18
Figura A.3. 81 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	18
Figura A.3. 82 – Simulação aos 1232s .....	19
Figura A.3. 83 – SOOT VISIBILITY .....	19
Figura A.3. 84 – Temperature .....	19
Figura A.3. 85 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	19
Figura A.3. 86 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	19
Figura A.3. 87 – Simulação aos 1320s – Saída último ocupante Zona de Con. Macas .....	20
Figura A.3. 88 – Simulação aos 1365s – último ocupante a sair do edifício .....	20
Figura A.3. 89 – Simulação aos 1383s .....	21

## Índice de Figuras Anexo 4

Figura A.4. 1 – Cenário 5s – Vista superior – Piso 2 .....	2
Figura A.4. 2 – Cenário 5s – Corte longitudinal – Vista Poente .....	2
Figura A.4. 3 – Cenário 5s – Corte Transversal – Vista Sul .....	3
Figura A.4. 4 – Cenário 5s – Corte longitudinal – Vista Nascente .....	3
Figura A.4. 5 – Simulação aos 5s .....	4
Figura A.4. 6 – SOOT VISIBILITY .....	4

Figura A.4. 7 – Temperature .....	4
Figura A.4. 8 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	4
Figura A.4. 9 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	4
Figura A.4. 10 – Simulação aos 20s .....	5
Figura A.4. 11 – SOOT VISIBILITY .....	5
Figura A.4. 12 – Temperature .....	5
Figura A.4. 13 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	5
Figura A.4. 14 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	5
Figura A.4. 15 - Simulação aos 40s.....	6
Figura A.4. 16 – SOOT VISIBILITY .....	6
Figura A.4. 17 – Temperature .....	6
Figura A.4. 18 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	6
Figura A.4. 19 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	6
Figura A.4. 20 – Simulação aos 60s .....	7
Figura A.4. 21 – SOOT VISIBILITY .....	7
Figura A.4. 22 – Temperature .....	7
Figura A.4. 23 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	7
Figura A.4. 24 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	7
Figura A.4. 25 – Simulação aos 200s .....	8
Figura A.4. 26 – SOOT VISIBILITY .....	8
Figura A.4. 27 – Temperature .....	8
Figura A.4. 28 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.4. 29 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	8
Figura A.4. 30 – Simulação aos 250s .....	9
Figura A.4. 31 – SOOT VISIBILITY .....	9
Figura A.4. 32 – Temperature .....	9
Figura A.4. 33 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	9
Figura A.4. 34 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	9
Figura A.4. 35 – Simulação aos 480s .....	10
Figura A.4. 36 – SOOT VISIBILITY .....	10
Figura A.4. 37 – Temperature .....	10
Figura A.4. 38 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.4. 39 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	10
Figura A.4. 40 – Simulação aos 550s .....	11
Figura A.4. 41 – SOOT VISIBILITY .....	11
Figura A.4. 42 – Temperature .....	11
Figura A.4. 43 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.4. 44 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	11
Figura A.4. 45 – Simulação aos 1444s .....	12
Figura A.4. 46 – SOOT VISIBILITY .....	12
Figura A.4. 47 – Temperature .....	12
Figura A.4. 48 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	12
Figura A.4. 49 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	12

Figura A.4. 50 – Simulação aos 1520s .....	13
Figura A.4. 51 – SOOT VISIBILITY .....	13
Figura A.4. 52 – Temperature .....	13
Figura A.4. 53 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	13
Figura A.4. 54 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	13
Figura A.4. 55 – Simulação aos 1586s .....	14
Figura A.4. 56 – Simulação aos 200s .....	15
Figura A.4. 57 – SOOT VISIBILITY .....	15
Figura A.4. 58 – Temperature .....	15
Figura A.4. 59 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	15
Figura A.4. 60 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	15
Figura A.4. 61 – Simulação aos 230s .....	17
Figura A.4. 62 – SOOT VISIBILITY .....	17
Figura A.4. 63 – Temperature .....	17
Figura A.4. 64 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.4. 65 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	17
Figura A.4. 66 – Simulação aos 480s .....	18
Figura A.4. 67 – SOOT VISIBILITY .....	18
Figura A.4. 68 – Temperature .....	18
Figura A.4. 69 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	18
Figura A.4. 70 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	18
Figura A.4. 71 – Simulação aos 550s .....	19
Figura A.4. 72 – SOOT VISIBILITY .....	19
Figura A.4. 73 – Temperature .....	19
Figura A.4. 74 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	19
Figura A.4. 75 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	19
Figura A.4. 76 – Simulação aos 1160s .....	20
Figura A.4. 77 – SOOT VISIBILITY .....	20
Figura A.4. 78 – Temperature .....	20
Figura A.4. 79 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	20
Figura A.4. 80 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	20
Figura A.4. 81 – Simulação aos 1251s .....	21
Figura A.4. 82 – SOOT VISIBILITY .....	21
Figura A.4. 83 – Temperature .....	21
Figura A.4. 84 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	21
Figura A.4. 85 – Carbon Dioxide Volume Fraction .....	21
Figura A.4. 86 - Simulação aos 1317s .....	22

## Índice de Figuras Anexo 5

Figura A.5. 1 – Cenário 0s – Perspetiva do piso 2 .....	2
Figura A.5. 2 – Cenário 5s – Ocupantes junto fonte de incêndio iniciam fuga.....	2

Figura A.5. 3 – Cenário 0s – Corte Longitudinal – Vista Sul .....	2
Figura A.5. 4 – Cenário 0s – Corte Transversal – Vista Poente.....	3
Figura A.5. 5 – Cenário 0s – Corte Transversal – Vista Nascente .....	3
Figura A.5. 6 – Cenário 0s – Perspetiva do piso 2 (aproximação do local da fonte de incêndio) .....	3
Figura A.5. 7 – Simulação aos 5s .....	4
Figura A.5. 8 – SOOT VISIBILITY .....	4
Figura A.5. 9 – Temperature .....	4
Figura A.5. 10 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	4
Figura A.5. 11 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	4
Figura A.5. 12 – Simulação 20s .....	5
Figura A.5. 13 – SOOT VISIBILITY .....	5
Figura A.5. 14 – Temperature .....	5
Figura A.5. 15 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	5
Figura A.5. 16 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	5
Figura A.5. 17 – Simulação 30s .....	6
Figura A.5. 18 – SOOT VISIBILITY .....	6
Figura A.5. 19 – Temperature .....	6
Figura A.5. 20 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	6
Figura A.5. 21 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	6
Figura A.5. 22 – Simulação 60s .....	7
Figura A.5. 23 – SOOT VISIBILITY .....	7
Figura A.5. 24 – Temperature .....	7
Figura A.5. 25 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	7
Figura A.5. 26 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	7
Figura A.5. 27 – Simulação 132s .....	8
Figura A.5. 28 – SOOT VISIBILITY .....	8
Figura A.5. 29 – Temperature .....	8
Figura A.5. 30 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.5. 31 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	8
Figura A.5. 32 – Simulação 193s .....	9
Figura A.5. 33 – SOOT VISIBILITY .....	9
Figura A.5. 34 – Temperature .....	9
Figura A.5. 35 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	9
Figura A.5. 36 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	9
Figura A.5. 37 - Temperaturas receção (3D).....	9
Figura A.5. 38 – Simulação aos 456s .....	10
Figura A.5. 39 – SOOT VISIBILITY .....	10
Figura A.5. 40 – Temperature .....	10
Figura A.5. 41 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.5. 42 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	10
Figura A.5. 43 – Monóxido carbono Espera (3D).....	10
Figura A.5. 44 – Temperatura Receção (3D) .....	10

Figura A.5. 45 – Simulação aos 480s .....	11
Figura A.5. 46 – SOOT VISIBILITY .....	11
Figura A.5. 47 – Temperature .....	11
Figura A.5. 48 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.5. 49 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	11
Figura A.5. 50 – Monóxido Carbono Receção (3D) .....	11
Figura A.5. 51 – Temperatura Receção (3D) .....	11
Figura A.5. 52 – Evacuação Zona de Concentração de Macas .....	12
Figura A.5. 53 – Chama nas cadeiras da sala de espera (3D).....	12
Figura A.5. 54 – Bombeiros a utilizarem Elevador para Bombeiros .....	13
Figura A.5. 55 – Chama consumiu cadeiras sala espera (3D).....	13
Figura A.5. 56 – Bombeiros retiram último ocupante acamado.....	14
Figura A.5. 57 – Receção e zona de atendimento - Resfriamento.....	14
Figura A.5. 58 – último Bombeiro Junto à Saída .....	15
Figura A.5. 59 – Simulação aos 132s .....	16
Figura A.5. 60 – SOOT VISIBILITY .....	16
Figura A.5. 61 – Temperature .....	16
Figura A.5. 62 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	16
Figura A.5. 63 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	16
Figura A.5. 64 – Simulação aos 185s .....	17
Figura A.5. 65 – SOOT VISIBILITY .....	17
Figura A.5. 66 – Temperature .....	17
Figura A.5. 67 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.5. 68 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	17
Figura A.5. 69 – Temperatura Receção (3D) .....	17
Figura A.5. 70 – Simulação aos 347s .....	19
Figura A.5. 71 – SOOT VISIBILITY .....	19
Figura A.5. 72 – Temperature .....	19
Figura A.5. 73 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	19
Figura A.5. 74 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	19
Figura A.5. 75 – Monóxido carbono (3D).....	19
Figura A.5. 76 – Temperatura Receção (3D) .....	19
Figura A.5. 77 – Simulação aos 480s .....	21
Figura A.5. 78 – SOOT VISIBILITY .....	21
Figura A.5. 79 – Temperature .....	21
Figura A.5. 80 – Oxygen Volume Fraction (3D) .....	21
Figura A.5. 81 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D) .....	21
Figura A.5. 82 – Monóxido carbono Espera (3D).....	21
Figura A.5. 83 – Temperatura Receção (3D) .....	21
Figura A.5. 84 – 588s Bombeiros iniciam evacuação .....	23
Figura A.5. 85 – Chama na sala de espera .....	23
Figura A.5. 86 – As cadeiras da sala de espera não foram consumidas .....	24
Figura A.5. 87 – Resfriamento do incêndio no secretariado .....	24



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 5. 1 – Utilizações Tipo.....	31
Quadro 5. 2 - Descrição e condicionalismos dos Locais de Risco .....	32
Quadro 5. 3 – Quadro interpretativo <i>Locais de Risco</i> .....	32
Quadro 5. 4 – Categoria de Risco.....	33
Quadro 6. 1 - Resumo com elementos fornecidos.....	34
Quadro 6. 2 – Classe de reação ao fogo de elementos de construção das fachadas .....	39
Quadro 6. 3 – Reação ao Fogo de materiais nos vários locais do edifício (Rocha, 2012) .....	40
Quadro 6. 4 – Classificação ao fogo de materiais de revestimento em vias horizontais de evacuação - (Rocha, 2012) .....	41
Quadro 6. 5 – Classificação ao fogo de materiais de revestimento em vias verticais de evacuação - (Rocha, 2012) .....	41
Quadro 7. 1 - Número de células na malha em função do tamanho das células .....	59
Quadro 7. 2 – Taxas de libertação de calor consideradas para os vários cenários .....	67
Quadro 8. 1 - Quadro de materiais cenário A0.....	82
Quadro 8. 2 -Quadro de materiais cenário A1; A2; A3.....	83
Quadro 8. 3 - Quadro de materiais cenário B.....	83
Quadro 8. 4 - Quadro resumo .....	84
Quadro 8. 5 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC.....	85
Quadro 8. 6 - Quadro resumo .....	89
Quadro 8. 7 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC.....	90
Quadro 8. 8 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração proposta.....	90
Quadro 8. 9 - Quadro resumo .....	93
Quadro 8. 10 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC.....	95
Quadro 8. 11 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração proposta.....	95
Quadro 8. 12 - Quadro resumo .....	98
Quadro 8. 13 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC.....	100
Quadro 8. 14 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração proposta.....	100
Quadro 8. 15 – Efetivo indicado no Plano de Emergência.....	105
Quadro 8. 16 – Ocupantes considerados na simulação .....	106
Quadro 8. 17 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	125
Quadro 8. 18 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	126
Quadro 8. 19 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	130
Quadro 8. 20 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	132

Quadro 8. 21 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	139
Quadro 8. 22 – Efetivo considerado no Plano de Emergência .....	142

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 8. 1 – Número de ocupantes nos compartimentos.....	123
Gráfico 8. 2 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos .....	129
Gráfico 8. 3 – Número de ocupantes nos compartimentos - Gráficos Comparativos .....	135
Gráfico 8. 4 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos .....	137
Gráfico 8. 5 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos .....	144

## **ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA**

<b>NIST</b>	National Institute of Standards and Technology (Instituto Nacional de Tecnologia e Standardização – Estados Unidos da América)
<b>FDS</b>	Fire Dynamic Simulator (Simulação Dinâmica de Incêndio)
<b>VTT</b>	Technical Research Centre of Finland (Centro de Investigação Tecnológica da Finlândia)
<b>CF</b>	Corta Fogo
<b>SCIE</b>	Segurança contra incêndios em edifícios
<b>CAD</b>	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
<b>BSI</b>	British Standards Institute (Instituto de Normalização Britânico, BSi)
<b>NP</b>	Normas Portuguesas
<b>APSEI</b>	Organismo de Normalização Setorial da Segurança contra Incêndio e Símbolos Gráficos (CT46), dos Sistemas de Alarme (CTE 79) e da Segurança e Saúde no Trabalho (CT 42)
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Standardização)

# 1. - INTRODUÇÃO

O risco de Incêndio num edifício público é um tema de extrema importância para a segurança das populações, e para a salvaguarda dos bens materiais existentes nesse edifício. A recente publicação do novo Regulamento de Segurança contra Incêndios, veio procurar melhorar as condições de preparação dos edifícios, face à eventual ocorrência de um incêndio. Nesse sentido, interessa analisar as condições existentes nos edifícios já existentes, por forma a que a segurança não se verifique apenas nos edifícios novos.

Particularmente, nos edifícios Hospitalares, deverá existir um especial cuidado na sua salvaguarda, principalmente pela dificuldade na evacuação de pessoas acamadas e com mobilidade condicionada, tendo também em conta que desde a construção inicial os edifícios sofrem ao longo do tempo alterações nas suas valências/serviços, que implicarão necessariamente alterações desde ligeiras a profundas não só em termos de compartimentação interior, mas também, no tipo de materiais e equipamentos necessários às novas valências/ n. de utentes.

A segurança contra incêndio em edifícios públicos é um assunto complexo face à diversidade de utilização dos edifícios, principalmente devido à grande concentração de pessoas, e à eventual elevada carga de incêndio existente nalguns edifícios

Nesta tese, aborda-se o tema da segurança dos edifícios hospitalares, com particular estudo de uma clínica com internamento e consultas externas, onde se articularam os métodos prescritivos dos regulamentos nacionais, com a modelação numérica da propagação do incêndio, bem como com a modelação da evacuação de edifícios, para avaliar se as medidas de segurança implementadas são adequadas à salvaguarda das vidas e património do edifício em questão. Foi feito um levantamento de todos os perigos potenciais neste tipo de edifícios com influência no risco de incêndio. São também apresentadas soluções para melhorar as condições de segurança do edifício, nomeadamente no que se refere à produção e controle de fumos e limitação/controlo das fontes combustíveis. O caso de estudo é uma clínica em Coimbra.

## 1.1 – Objetivos

A legislação atual prescreve a realização de simulacros com uma dada frequência. Há edifícios em que pelas suas características efetuar simulacros poderá implicar a suspensão de serviços, pois o nível de dificuldade de os fazer por exemplo em unidades de saúde com utentes com mobilidade reduzida incluindo acamados será muito elevada.

Por um lado, torna-se útil a validação das exigências regulamentares de condições e tempos de evacuação de pessoas por meio de modelação numérica de incêndio e de evacuação, por outro lado podem testar-se os critérios indicados nos Planos de Emergência, tanto durante a fase de elaboração, como durante a fase de exploração dos edifícios.

É, portanto, objetivo deste trabalho uma análise da Segurança contra Incêndios numa Unidade Hospitalar de Coimbra, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva.

## 1.2 – Estrutura da Tese

Esta tese divide-se em dez capítulos, com temas relacionados:

**Capítulo 1 – Introdução** – Introduz o tema da tese e explica a sua estrutura.

**Capítulo 2 – Estado da Arte** – Neste capítulo são apresentados estudos realizados por intermédio de simulação computacional de incêndios e de evacuação.

**Capítulo 3 – Dinâmica do Fogo e Comportamento Humano** – Neste capítulo aborda-se a dinâmica do fogo e o comportamento humano em situação de emergência.

**Capítulo 4 – Software utilizado e Requisitos de Hardware** – Tão importante quanto saber utilizar os programas de simulação é entender as necessidades de Hardware e Software para assim poder adaptar as necessidades de cálculo às ferramentas disponíveis e assim otimizar ao máximo essas ferramentas.

**Capítulo 5 – Legislação Aplicável** – O quinto capítulo aborda os diplomas legais relativos às características dos edifícios face a situações de incêndio, bem como condições de utilização/evacuação.

**Capítulo 6 – Apresentação do Caso de Estudo** – Neste capítulo apresenta-se o edifício e faz-se uma breve verificação face à legislação apresentada no **Capítulo 5 – Legislação Aplicável**.

**Capítulo 7 – Execução do modelo** – No capítulo 7 são demonstrados os passos para a realização dos cenários de simulação numérica de incêndio e simulação numérica de evacuação.

**Capítulo 8 – Modelação numérica de incêndio e de evacuação** – Neste capítulo são realizadas as simulações computacionais utilizando os modelos 3D correspondentes a cada cenário.

**Capítulo 9 – Considerações Finais** – Neste capítulo são apresentados os resultados finais das evacuações dos cenários com os sistemas de ventilação do edifício, os cenários onde houve a propagação de incêndio e os fenómenos como flashover.

**Capítulo 10 – Conclusões** – No capítulo 10 são apresentadas as conclusões decorrentes dos resultados obtidos nas simulações. Apresentam-se também algumas sugestões para realização de trabalhos futuros.



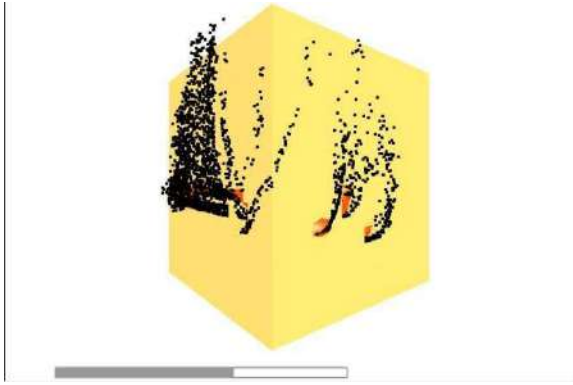


Figura 2. 2 – Propagação do incêndio e pluma de fumo torre WTC (MaGrattan, 2004)

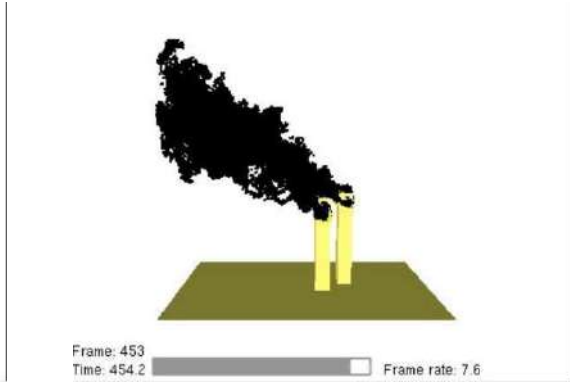


Figura 2. 3 – Propagação dos incêndios e plumas de fumo torres WTC (após embate do 2º avião) (MaGrattan, 2004)

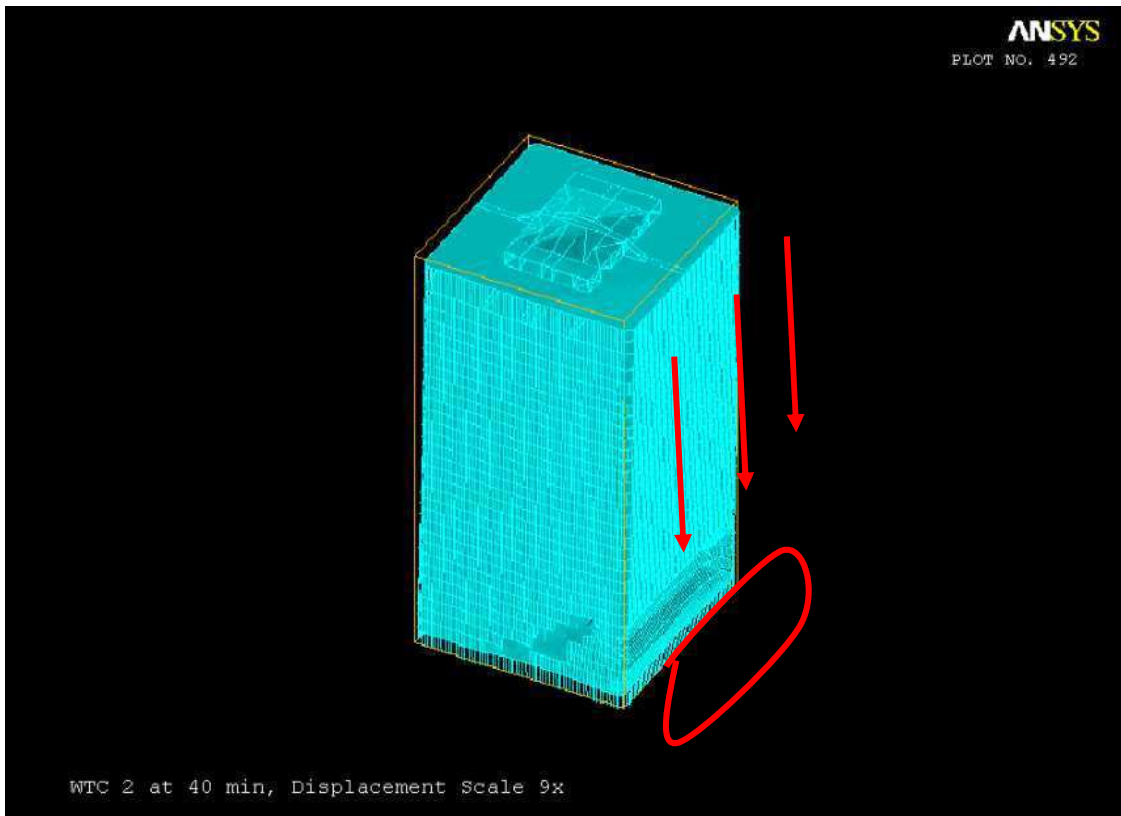


Figura 2. 4 – Deformada da 2ª Torre 40 minutos após o embate do avião

As setas vermelhas indicam a zona onde se iniciou o colapso da torre (MaGrattan, 2004)

A variável mais difícil de prever e que a qualquer momento pode alterar radicalmente o seu valor é precisamente o comportamento humano de si já tão imprevisível em situação normal, em situação de emergência será ainda mais difícil. Este tema é especificamente abordado com periodicidade bianual em congresso internacional *Human Behaviour in Fire Symposium* com

a presença de investigadores do National Research Council (Canadá) e da National Fire Protection Association (EUA).

Em Maio de 2016, Sérgio Araújo e João Almeida (Araújo, et al., 2016) apresentaram um estudo sobre a utilização de modelação computacional de evacuação como complemento aos projetos baseados no desempenho. O caso de estudo foi a casa da música, na cidade do Porto. Neste estudo, pretenderam mostrar a importância da modelação computacional para o dimensionamento das saídas de locais com um elevado número de ocupantes.

O recurso a aplicações computacionais para a modelação dinâmica de multidões tem vindo a ter um uso crescente em projetos de engenharia de Segurança contra incêndios, paralelamente ao uso de modelos CFD (Computational Fluid Dynamics) para a avaliação do desenvolvimento do incêndio. Nesse sentido, apresentaram um estudo para uma das salas de espetáculo da Casa da Música, com lotação para 900 pessoas. Comparando os valores obtidos nas simulações numéricas com resultados reais observados com recurso a câmaras de vigilância, conseguiram calibrar os modelos, e assim simular cenários hipotéticos. Este estudo serviu para auxiliar na elaboração do plano de evacuação, e definição das medidas de auto-proteção.



Figura 2. 5 - Vistas 3D do edifício em estudo (Araújo et. al., 2016)

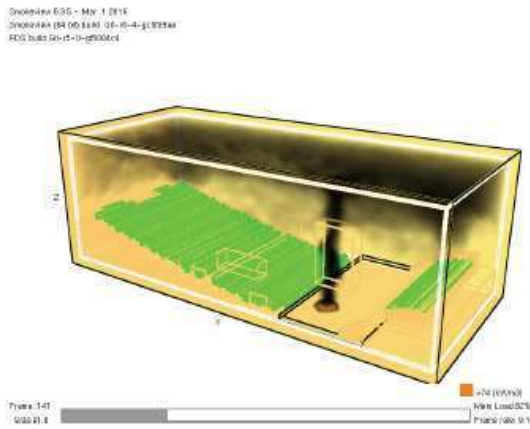


Figura 2. 6 – Simulação da propagação do incêndio (Araújo et. al., 2016)

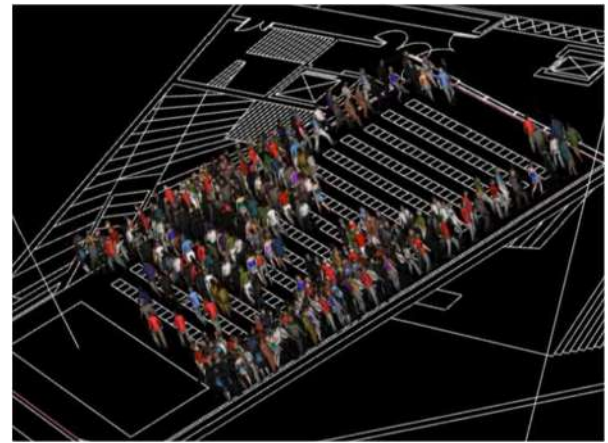


Figura 2. 7 – Simulação da evacuação (Araújo et. al., 2016)

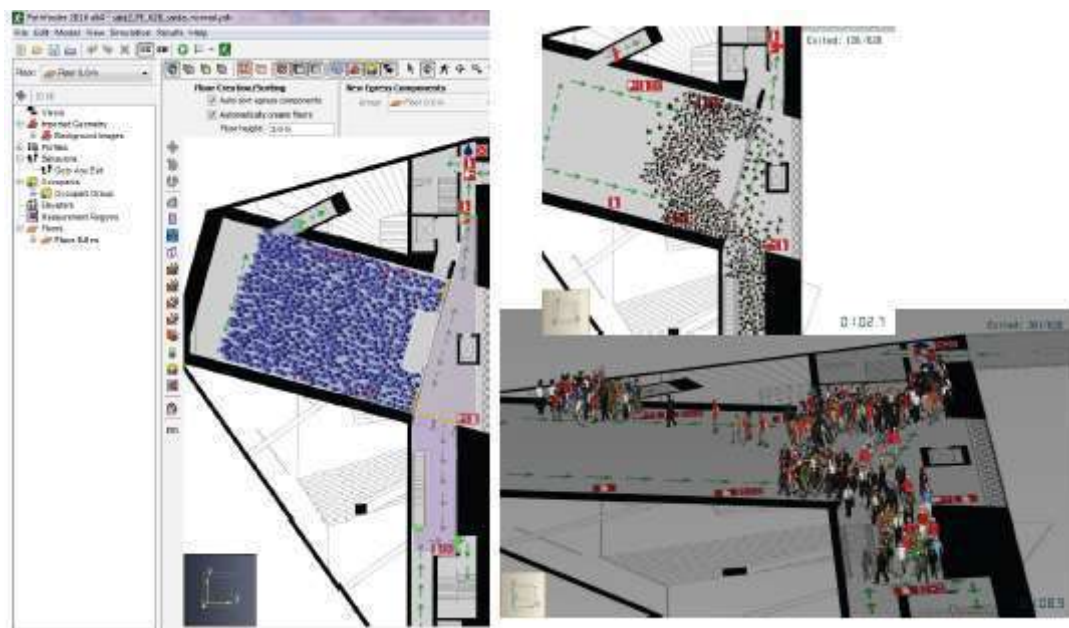


Figura 2. 8 - Análise de resultados das simulações (Araújo et. al., 2016)

Também em 2014, Grigoras (Grigoras, 2014) da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Iasi, na Roménia, realizou um estudo em que analisou o comportamento humano durante um simulacro na evacuação de edifícios, utilizando dois softwares diferentes: o FDS+EVAC e o Pathfinder. O objetivo do trabalho foi analisar o mesmo simulacro para verificar se os tempos de evacuação obtidos pelos dois softwares eram semelhantes. Como conclusão mais importante, relataram que os tempos globais obtidos pelos dois softwares eram bastante próximos.

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

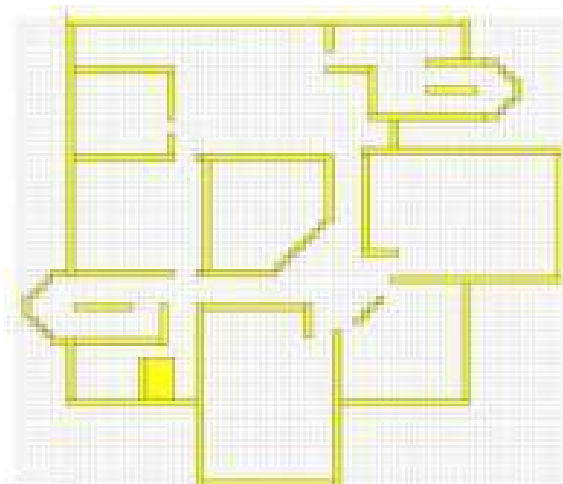


Figura 2. 9 - Malha computacional FDS + EVAC (Grigoras, 2014)

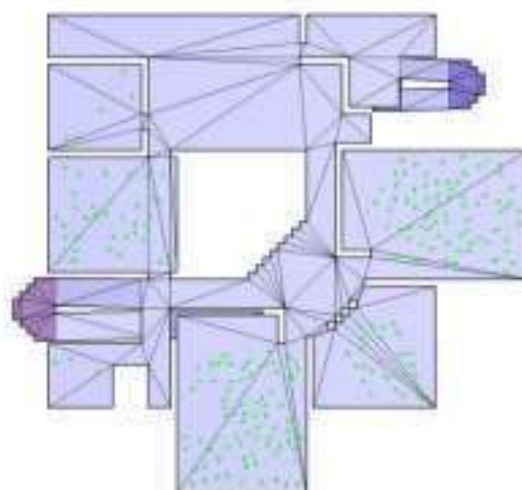


Figura 2. 10 - Malha computacional Pathfinder (Grigoras, 2014),

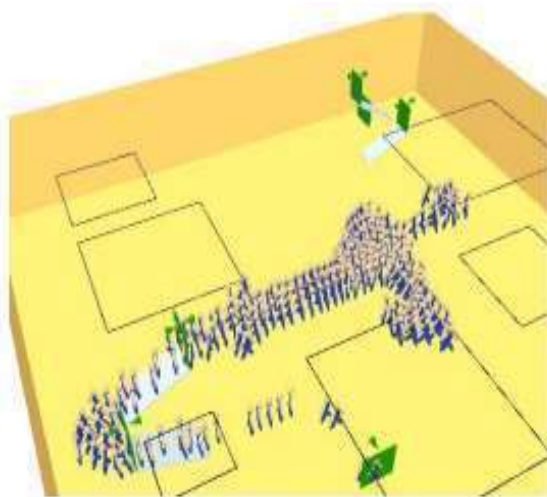


Figura 2. 11 - Evacuação FDS + EVAC (Grigoras, 2014)



Figura 2. 12 - Evacuação Pathfinder (Grigoras, 2014)

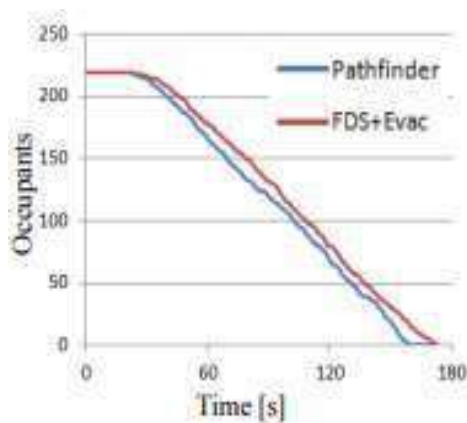


Figura 2. 13 - Número de ocupantes nos domínios computacionais (Grigoras, 2014)

Em 2020, Jiawen Qin, Changcheng Liu, Que Huang (Qin, et al., 2020) da Universidade de Taiyan, Shanxin na China publicou no jornal científico “Case studies in Thermal Engineering” um artigo sobre a simulação de evacuação de emergência numa estação subterrânea do metro.

As estações do metro são locais de grande concentração de pessoas, que em caso de incêndio são de extrema perigosidade pelo facto de serem espaços fechados, subterrâneos e com ventilação limitada.

Neste estudo, fizeram simulações da evacuação do espaço para vários cenários, e chegaram à conclusão de que a maior pressão se localiza nas escadas da entrada principal, e que a largura da saída tem pouca influencia no aliviar da pressão da evacuação. A principal conclusão do estudo foi que deve ser limitado o número de pessoas na plataforma, por forma a garantir a sua segurança, e que portanto, deve ser evitada a chegada em simultâneo de dois comboios ao mesmo tempo. Também concluíram que o tempo total de evacuação excede o tempo estipulado no Regulamento de Dimensionamento de Metro – GB 50157-2003.

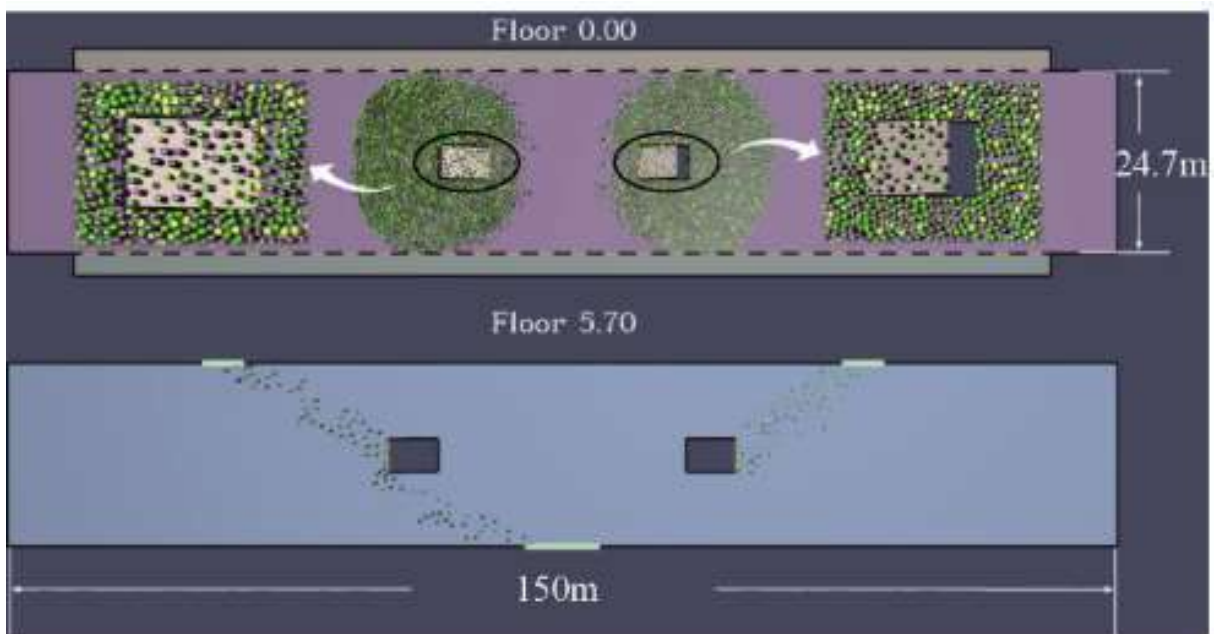


Figura 2. 14 – Plano de simulação de evacuação (Qin et. al.,2020)

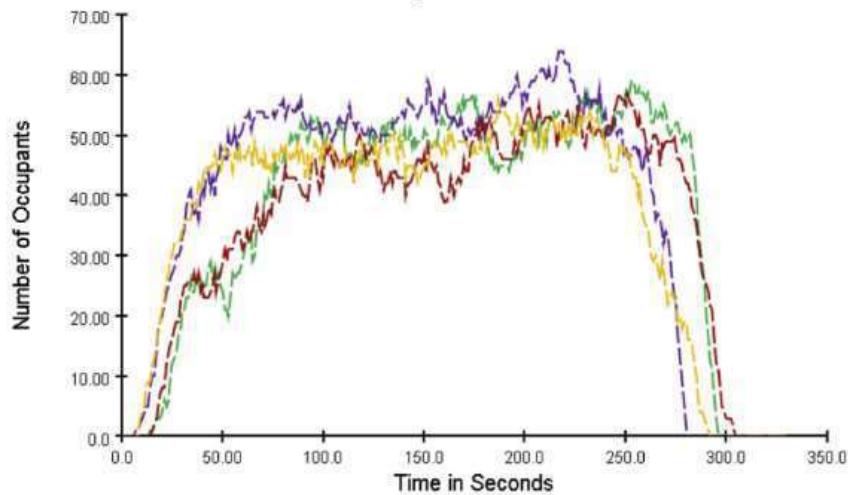


Figura 2. 15 – Diagrama de fluxo de evacuação em cada escada - (Qin et. al.,2020)

Mais recentemente, no corrente ano de 2021, Michael Gerges da Universidade de Birmingham, (Gerges et. al., 2021), apresentou um estudo que teve como objetivo melhorar a evacuação de edifícios residenciais de grande altura. Neste trabalho, utilizaram a tecnologia BIM para a modelação do edifício, o software Pathfinder para modelar a evacuação dos ocupantes e exploraram um método de envio de mensagens de voz para os smartphones dos ocupantes, em função das suas localizações. Neste estudo pretenderam definir regras mais expeditas para a gestão da evacuação de edifícios residenciais. Esta metodologia de envio de mensagens gravadas para os ocupantes, poderá permitir reduzir o tempo total de evacuação na casa dos 50%, pelo que se verifica ser uma tecnologia bastante inovadora e vantajosa.

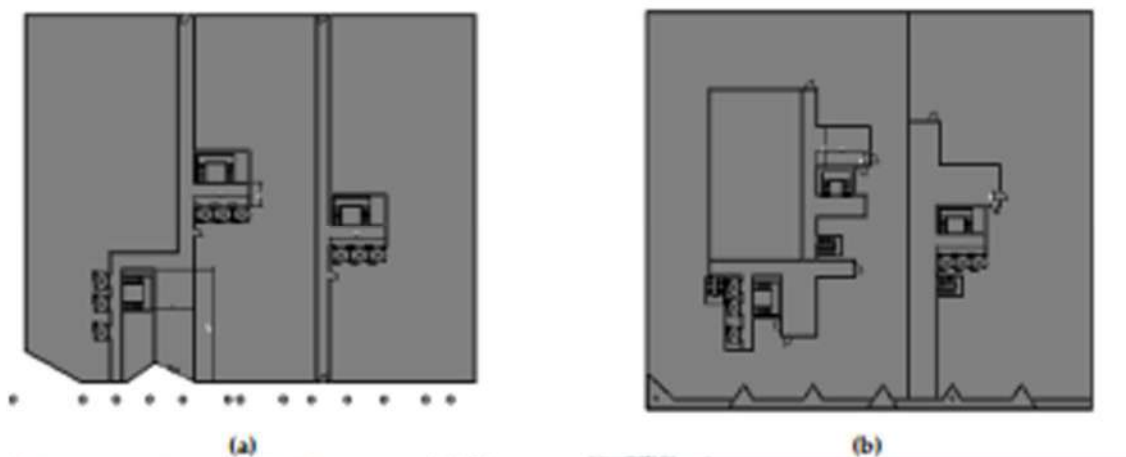


Figura 2. 16 – a) Planta do piso 0; b) Planta dos pisos superiores (Gerges et. al., 2021)

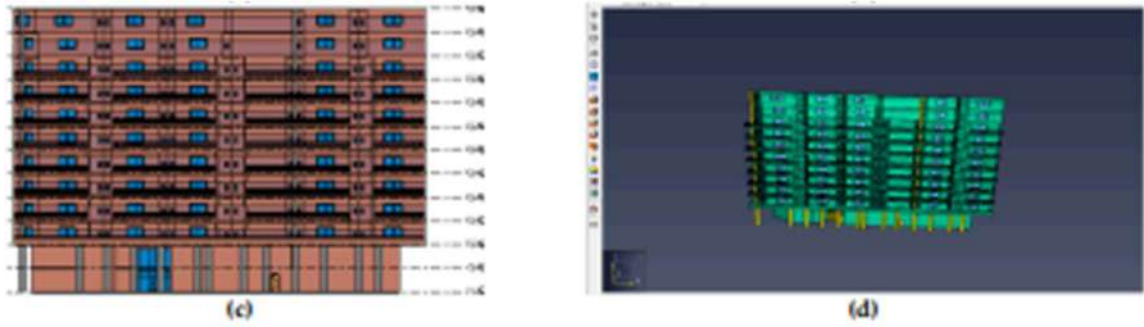


Figura 2. 17 – c) Modelo 3D Revit; d) Modelo 3D Pathfinder (Gerges et. al., 2021)

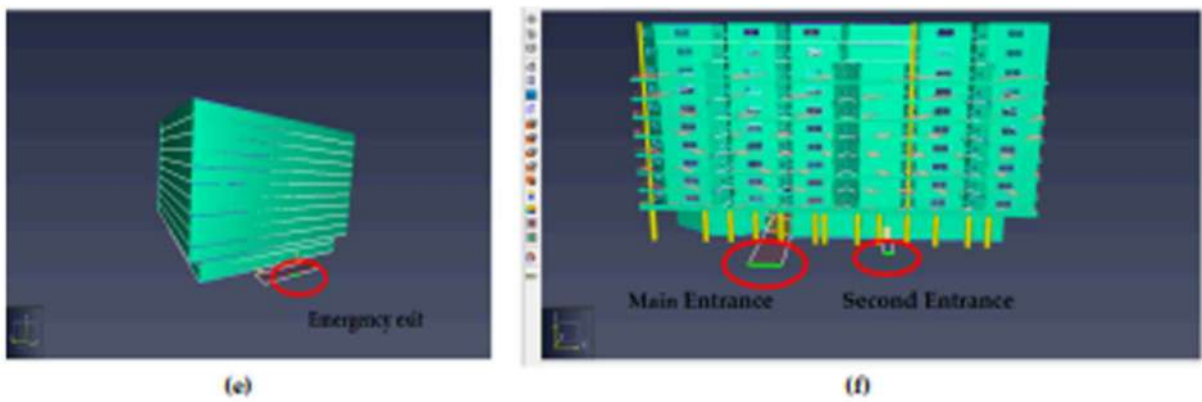


Figura 2. 18 – e) Saída de emergência; f) Entrada Principal e entrada secundária (Gerges et. al., 2021)

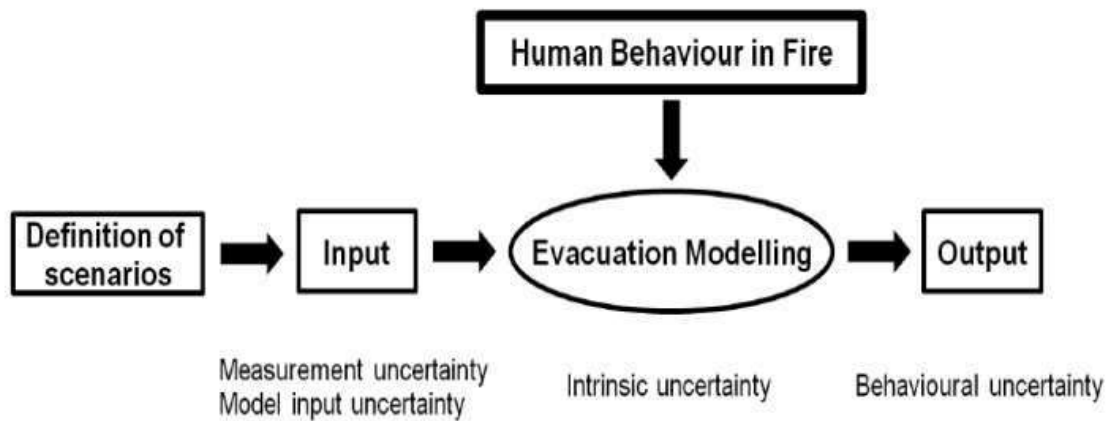


Figura 2. 19 – Modelo de fluxo de evacuação baseado em cenários definidos comportamento humano (Gerges et. al., 2021)

### 3. - Dinâmica do Fogo e Comportamento Humano

#### 3.1 - Dinâmica do fogo

A Dinâmica de Fogo é a área de estudo que analisa como os incêndios começam, se propagam, se desenvolvem e se extinguem. Para caracterizar o seu comportamento, a dinâmica do fogo deve incorporar a interação de várias ciências como, a química, a ciência do fogo, a ciência dos materiais, e as engenharias dos materiais, dos fluidos e da transferência de calor que interagem para influenciar o comportamento do fogo. (Madrzykowski, 2013)

O fogo forma-se sempre que há um processo de desprendimento de calor e energia luminosa

*"A rapid oxidation process, which is a chemical reaction resulting in the evolution of light and heat in varying intensities."* Para o fogo se formar, são necessários quatro elementos: 1- Combustível; 2- Comburente; 3- Calor; 4- Reação em cadeia. Uma representação gráfica destes quatro elementos é conhecida como “Tetraedro do fogo” e que tem a representação abaixo.

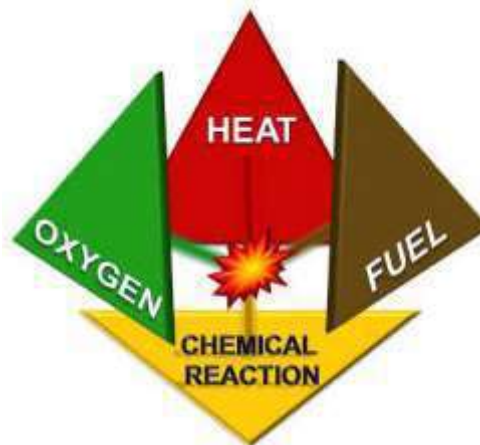


Figura 3. 1– Tetraedro de fogo

Iniciando o fogo, a substância queimada produz calor e tende a queimar a substância combustível restante. Essa reação é cíclica e acontece repetidamente pelo que é chamada de reação em cadeia (ver ponto 3.1.5 – Pirolise)

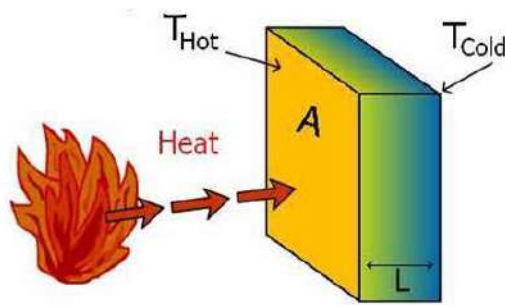
O fogo é um processo de oxidação que liberta calor e por isso mesmo é uma reação exotérmica, isto é, é uma reação química que liberta energia de um meio interior para um meio exterior.

### 3.1.1 - Transferência de calor

A transferência de calor é um fator importante na ignição, crescimento, propagação, deterioração e extinção de um incêndio. É importante notar que o calor é sempre transferido do objeto mais quente para o objeto mais frio - a energia térmica transferida para o objeto aumenta a temperatura do objeto, e a energia térmica transferida do objeto diminui a temperatura do objeto. (NIST, 2010)

### 3.1.2 - Condução

Neste fenómeno, a transferência de calor processa-se por contacto numa superfície material.



$$\dot{q} = \frac{kA(T_{Hot} - T_{Cold})}{L}$$

T – Temperatura (°C)

A – Area de exposição (m<sup>2</sup>)

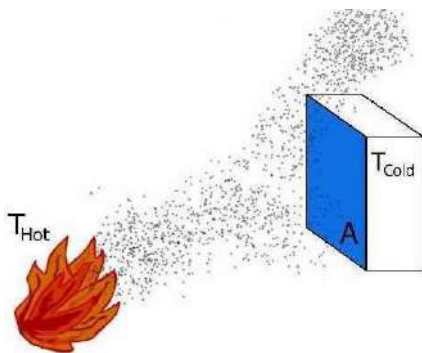
L – Profundidade do sólido (m)

K – Constante única para diferentes materiais (W / m °C)

Figura 3. 2 – Transferencia de calor por Condução (NIST, 2010)

### 3.1.3 - Convecção

Neste caso, a transferência de calor pressupõe a existência de um meio fluido ou gasoso para o transporte da energia.



$$\dot{q} = h(T_{Hot} - T_{Cold})A$$

T – Temperatura (°C)

A – Area de exposição (m<sup>2</sup>)

h – Constante única para diferentes materiais (W / m °C)

(Coeficiente de transferencia de calor por convecção)

Figura 3. 3 – Transferencia de calor por Condução (NIST, 2010)

### 3.1.4 - Radiação

No caso da radiação, não existe contacto material, nem transferência através de fluidos, mas a transferência de calor ocorre por raios eletromagnéticos, e pode processar-se mesmo no vazio.

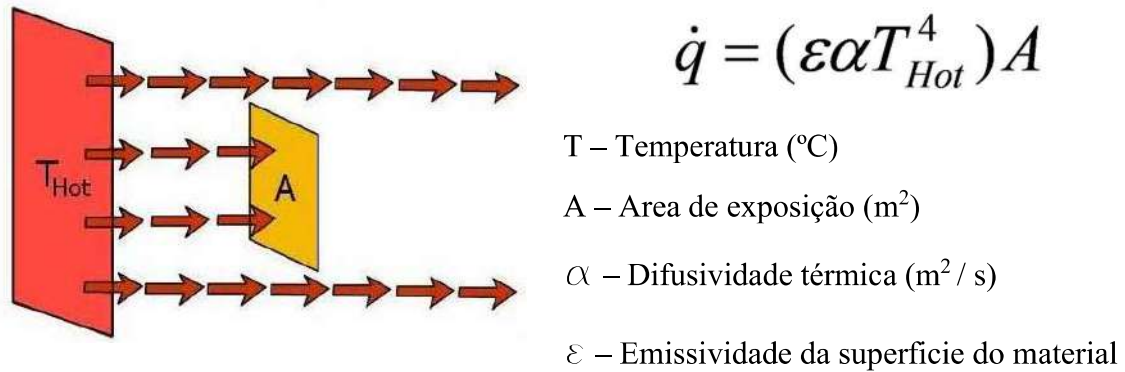


Figura 3. 4 – Transferencia de calor por Radiação (NIST, 2010)

### 3.1.5 – Pirolise

Para mitigar e extinguir um incêndio é crucial o entendimento de como um sólido se torna numa fonte de combustível. Quando um sólido é sujeito a uma determinada temperatura, sofre uma decomposição química, ou seja, essa decomposição é a produção (transformação em) vapores de combustível que vão queimar na chama. Com a presença de oxigénio essa combustão é alimentada (Kashiwagi, et al., 1982).

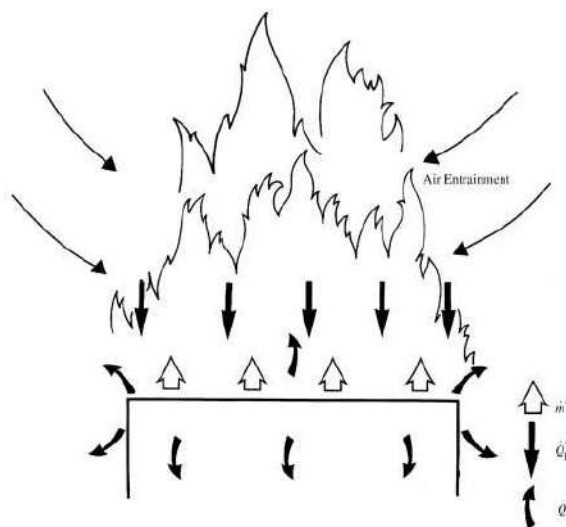


Figura 3. 5 – Representação de processos de transferência de massa e de calor (Drysdales, 1985)

$m^n$  – Fluxo de massa da superfície

$Q_F^n$  – Fluxo de calor da chama para a superfície

$Q_L^n$  – Perda de calor (expressa como um fluxo da superfície)

### 3.1.6 - Desenvolvimento tradicional de incêndio

A curva de desenvolvimento de um incêndio tradicional mostra a história de um incêndio com combustível limitado. Por outras palavras, o crescimento do fogo não é limitado pela falta de oxigênio, à medida que mais combustível é envolvido no incêndio, o nível de energia continua a aumentar até que todo o combustível disponível esteja queimando (totalmente desenvolvido). Então, à medida que o combustível é queimado, o nível de energia começa a diminuir. A chave é que o oxigênio está disponível para se misturar com os gases aquecidos (combustível) para permitir a conclusão do tetraedro do fogo e a geração de energia, ou seja o final do incêndio pelo consumo do combustível. (NIST, 2010).

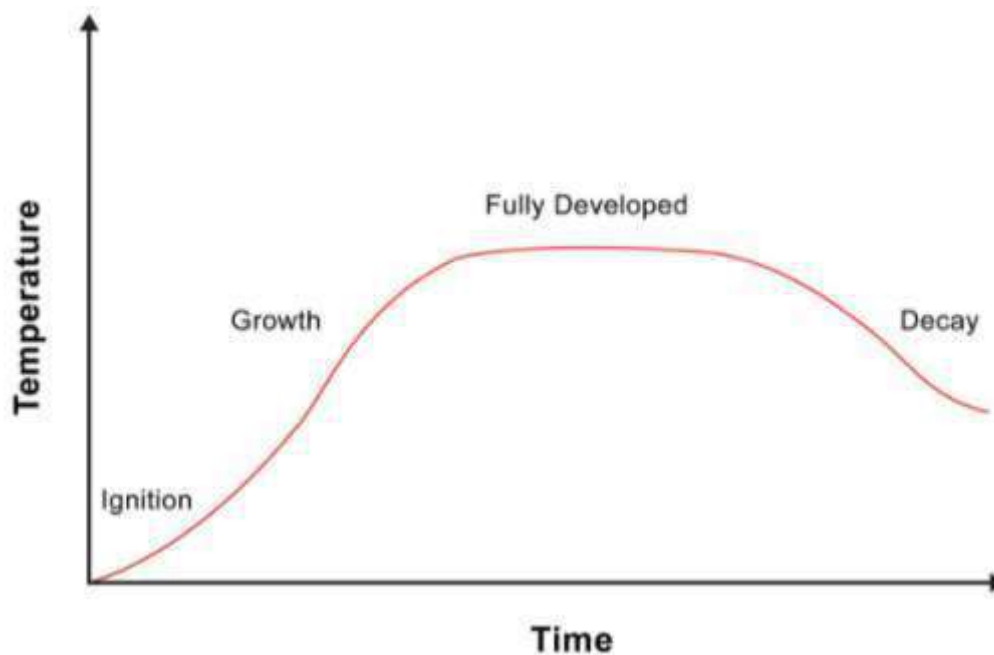


Figura 3. 6 – Desenvolvimento de um incêndio tradicional

(NIST, 2010)

### 3.1.7 - Comportamento de um incêndio e ocorrência de flashover

A curva de comportamento de um incêndio numa estrutura mostra o desenvolvimento de um incêndio ao longo do tempo. O incêndio começa num compartimento com portas e janelas fechadas (sem admissão de ar novo, rico em oxigénio). No início do crescimento do fogo, há oxigênio adequado para se misturar com os gases aquecidos, o que resulta em combustão em chamas. À medida que o nível de oxigênio dentro do compartimento é consumido, o incêndio perde intensidade, a liberação de calor diminui e, conseqüentemente, a temperatura diminui. Quando um vão abre, como quando a equipa de socorro entra por uma porta um volume de ar novo (rico em oxigénio) é introduzido. O oxigênio mistura-se com os gases aquecidos no compartimento e o nível de energia começa a aumentar. Esta mudança na ventilação pode resultar num rápido aumento no crescimento do incêndio, levando potencialmente a uma condição de flashover (incêndio no compartimento totalmente desenvolvido). (NIST, 2010)

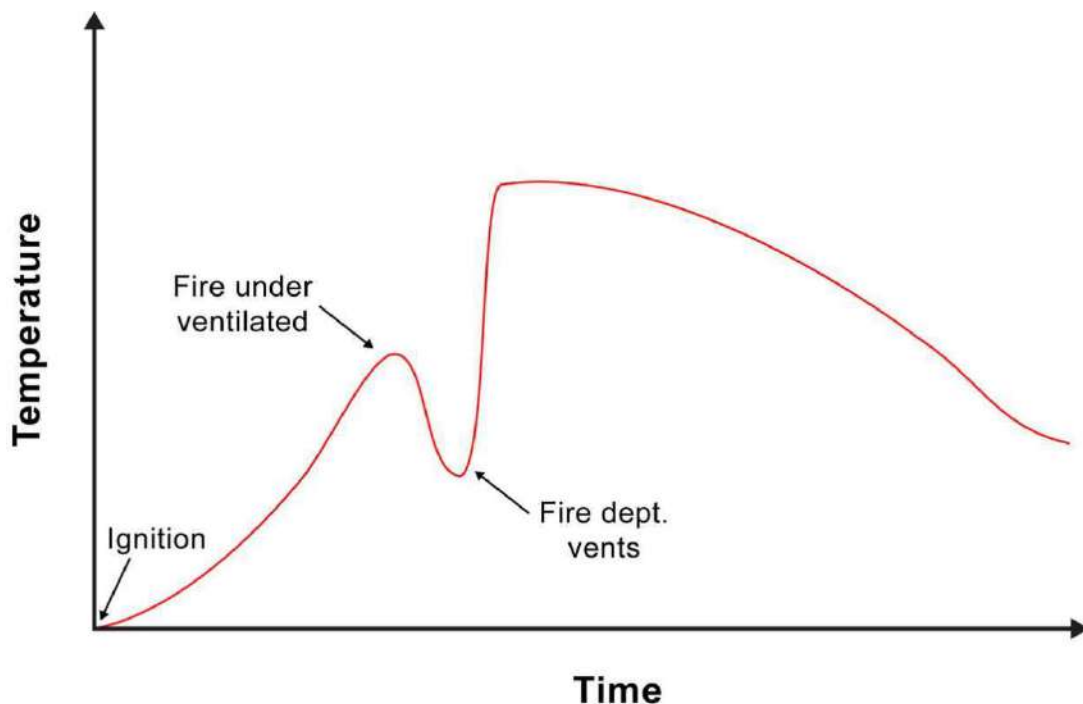


Figura 3. 7 – Comportamento de um incêndio e ocorrência de flashover  
(NIST, 2010)



Figura 3. 8 – Flashover numa cozinha – Ensaio (NIST, 2010)

### 3.1.8 - Extinção do Incêndio

Como indicado no ponto 3.1.5 – Pirolise, para conseguir a extinção de um incêndio, deve quebrar-se a reação em cadeia. Esta reação em cadeia pode ser quebrada pela eliminação (ou retirada) e um dos elementos dessa mesma cadeia.

Pode ser conseguido pelo abaixamento de temperatura (por ex. com adição de água), impedindo o processo de pirolise, pode ser conseguido por abafamento – retirada de oxigénio da reação em cadeia e pode ser conseguido pela introdução de gases ou espumas especiais (em instalações de pequenas dimensões há as mantas ignífugas). Por último também pode acontecer pela remoção da fonte de combustível, nos incêndios florestais utiliza-se a técnica do contrafogo que consiste em provocar um incêndio controlado na zona para onde se dirige o incêndio, para quando este atingir essa zona já não ter combustível para se manter / evoluir.

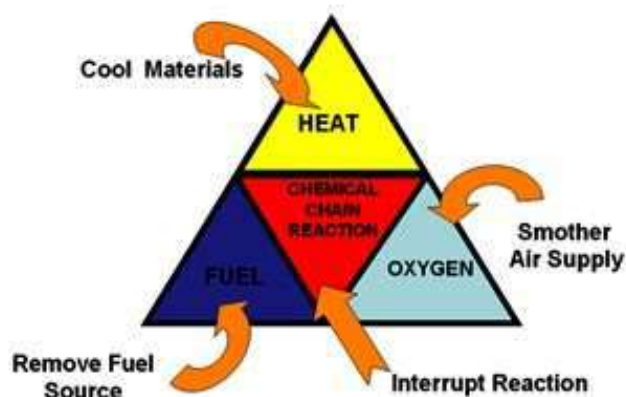


Figura 3. 9 – Tetraedro de fogo – retirar um dos elementos

### 3.2 – Comportamento Humano

Há vários fatores que influenciam o comportamento humano em situação de emergência. A experiência, idade, gênero, complexão física, conhecimento do local, quantidade de gases tóxicos, quantidade de oxigênio, são alguns dos fatores que de entre outros influenciam o comportamento humano em situação de emergência (Wood, 1972).

Não é objetivo deste trabalho aprofundar conceitos teóricos, contudo abordam-se os principais fatores que influenciam o comportamento humano. É precisamente a forma como as pessoas se comportam, que pode alterar todo o sucesso de evacuação, tanto em termos de número de vítimas como em termos de tempos de evacuação. Fatores intrínsecos à pessoa e fatores extrínsecos no que respeita ao movimento através de fumo. Na figura abaixo verifica-se que as pessoas de gênero masculino representaram mais disponibilidade para se movimentarem através do fumo (Wood, 1972).

	Move through smoke	NOT move through smoke
Men	684	380
Women	448	388

Figura 3. 10 – Movimento de Homem e Mulher na presença de fumo (Wood, 1972)

Para além do gênero, também a idade influencia o comportamento da pessoa perante o fogo, espera-se que pessoas mais novas sejam mais ativas e tenham uma atitude menos cautelosa na presença de fumo. A seriedade com que a pessoa avalia a situação influencia bastante na sua decisão, ou seja, se considera a situação como muito séria ou de gravidade elevada, poderá oferecer resistência em movimentar-se através do fumo, sendo então menos provável que o faça. O conhecimento das vias de evacuação é outro fator que influenciará a atitude da pessoa perante a necessidade de se movimentar através do fumo pois o ocupante terá uma maior confiança por saber para onde ir. Abaixo apresenta-se o quadro onde se verifica a capacidade da pessoa em se mover nas vias de evacuação na presença de fumo (Wood, 1972).

	Move through smoke	NOT move through smoke
Know escape route	719	488
Not know escape route	415	280

Figura 3. 11 – Movimento de pessoa na presença de fumo em via de evacuação (Wood, 1972)

Também a experiência prévia num episódio de incêndio poderá contribuir para a maior facilidade para a pessoa se movimentar através do fogo. (Wood, 1972)

	Move through smoke	Not move through smoke
Previously involved	334	209
Not previously involved	798	552

Figura 3. 12 – Movimento de pessoa com experiência de incêndio anterior (Wood, 1972)

O fator extrínseco mais óbvio e em estudo neste trabalho é a presença de fumo com a sequência do défice de oxigénio e o excesso de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CO (monóxido de carbono) causando no corpo humano a Hipoxia que é definida como a deficiência de oxigenação ao nível dos tecidos do corpo humano (Samuel, et al., 2008).

Então percebe-se que ao mesmo tempo que os gases produzidos pelo incêndio abafam a atmosfera, também é verdade que o oxigénio disponível é ou consumido ou afastado o que se reflete na redução de intensidade do incêndio, mas também na toxicidade para o ser humano. Esta situação exige cautela no socorro, pois para tentar socorrer um ocupante do interior de um compartimento privado de oxigénio, a abertura de um vão pode alimentar um incêndio com ar novo e provocar o efeito de Flashover. Na tabela abaixo podem observar-se os efeitos da redução de oxigénio no ser humano (Marser, 2010)

Table 1. Effects of Hypoxia <sup>8</sup> (Reduced Oxygen)	
Oxygen Percentage Available	Symptoms
21	Normal conditions, no effect.
19.5	OSHA oxygen-deficient atmosphere.
17	Muscular impairment, rapid breaths.
12	Dizziness, headache, rapid fatigue.
9	Unconsciousness.
7 to 6	Death within a few minutes.

Figura 3. 13 – Efeitos da Hipoxia no corpo Humano (Marsler, 2010)

O monóxido de carbono (CO) também é muito prejudicial pois é altamente tóxico para o ser humano e pequenas concentrações provocam efeitos graves à saúde.

Table 4. Human Response to Carbon Monoxide at Different Concentrations <sup>2</sup>	
Carbon Monoxide (CO) in Air	Human Response
0.2 %	Headache after 10 minutes, collapse after 20 minutes, and death after 45 minutes.
0.3 %	Maximum "safe" exposure for five minutes and danger of collapse in 10 minutes.
0.6 %	Headache and dizziness in 1 to 2 minutes and danger of death in 10 to 15 minutes.
1.28 %	Immediate effect, unconsciousness after 2 to 3 breaths and danger of death in 1 to 3 minutes.

Figura 3. 14 – Reação humana à exposição de Monóxido de Carbono (Marsler, 2010)

## 4. - Software utilizado e requisitos de hardware

### 4.1. Software Utilizado

#### 4.1.1 - CAD - Computer Aided Design ou desenho auxiliado por computador

De acordo com o fabricante de software – Autodesk - o AutoCAD® "é um software (CAD provém da expressão inglesa "computer-aided design", que significa projeto assistido por computador) utilizado por arquitetos, engenheiros e profissionais de construção para criar desenhos 2D e 3D com precisão." A versão utilizada foi a Autocad 2021.

Com este programa foi possível utilizar as plantas, alçados e cortes que representam o edifício real em 3D, sendo então a base para todo o trabalho que se seguiu. Há, contudo, outros softwares no mercado que podem ser utilizados e que são compatíveis também com este programa.

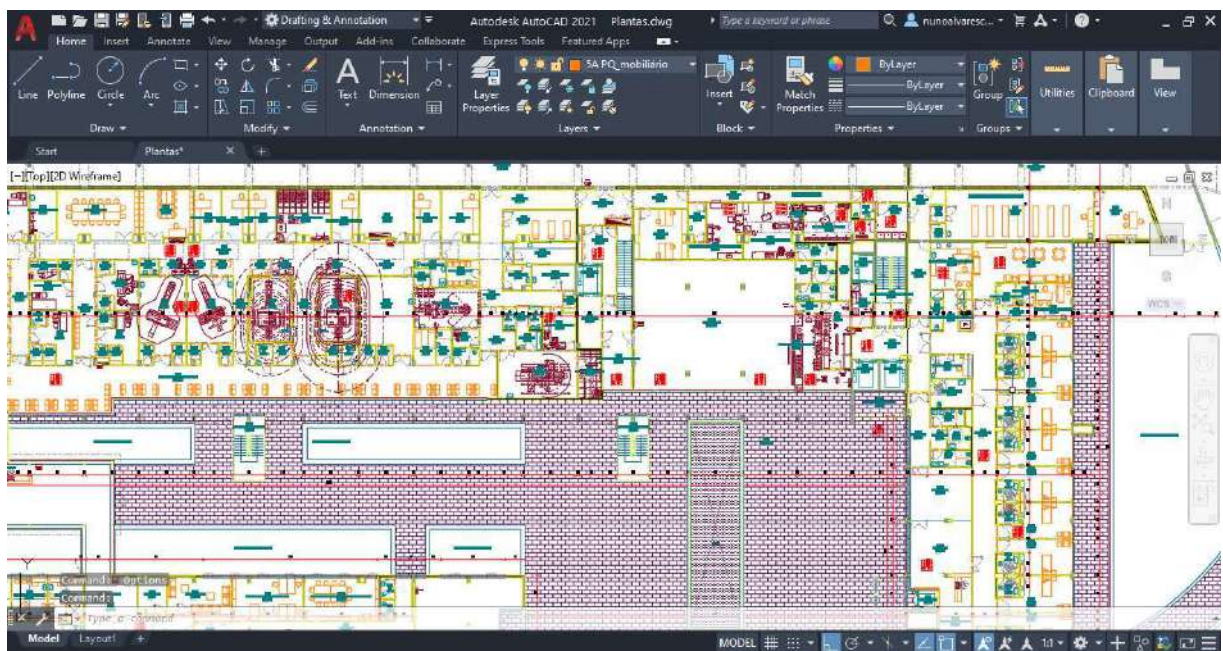


Figura 4. 1 – Programa Autocad versão 2021

#### 4.1.2 - Revit - Software de modelação de informações de construção

Tendo as peças desenhadas em 2D houve a necessidade de realizar o modelo em 3D. Para isso foi utilizado o Revit (também da Autodesk). O Revit é um software BIM utilizado em Arquitetura e Engenharia que permite projetar edifícios e suas infraestruturas em 3D (para além de muitas outras funcionalidades).

Uma característica importante é que na criação do edifício em 3D, foram criadas as famílias dos elementos que constituem o modelo, tendo sido atribuídas algumas características/propriedades a esses elementos. Foram criadas paredes, tetos, pisos, janelas, portas, entre outros elementos do edifício.

A facilidade na utilização deste software foi determinante na opção de o utilizar para a modelação 3D face à alternativa de o fazer com o software Pyrosim.

Foi então efetuado o modelo 3D de todo o edifício e exportado o ficheiro com a extensão IFC.

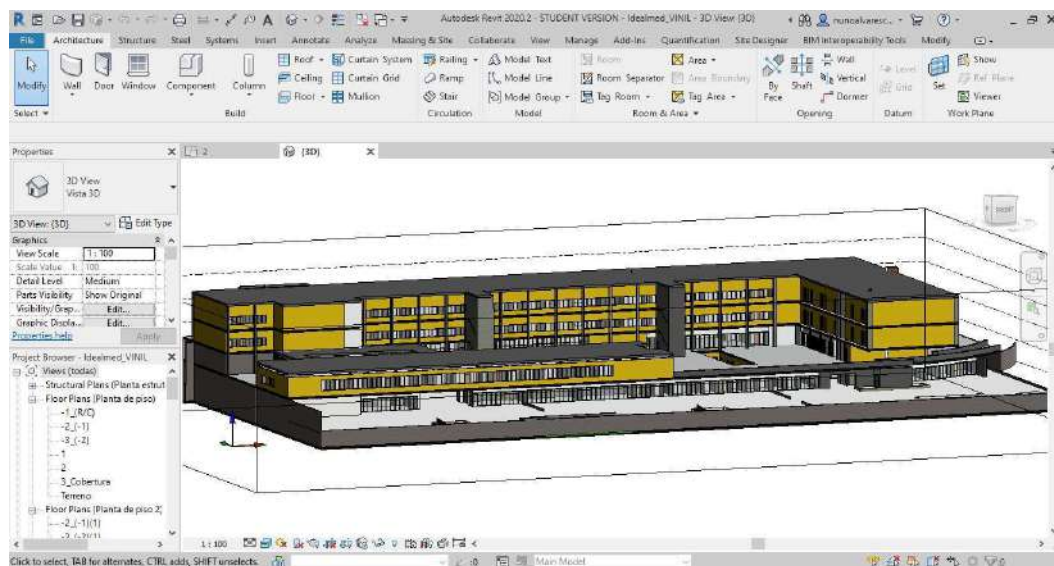


Figura 4. 2 – Programa Revit 2020

#### 4.1.3 - Pyrosim, Fire Dynamic Simulator (FDS) e Smokeview

O Pyrosim o FDS e o Smokeview são na realidade três softwares que trabalham em conjunto. O Pyrosim é na realidade a interface gráfica, o FDS o software de simulação dinâmica, e o Smokeview a plataforma de visualização dos resultados calculados.

O funcionamento interligado entre eles faz-se de tal forma que parece tratar-se de apenas um programa. Por essa razão e para simplificar a leitura deste documento a partir deste ponto para cada uma destas valências (introdução e cálculo) será apenas referido como PYROSIM. O Smokeview, pela razão apresentada mais à frente será referido aquando da apresentação de resultados.

#### 4.1.4 - Pyrosim - Interface Gráfico

Segundo o fabricante Thunderhead Engineering o Pyrosim é um software utilizado para simulação para ciência e engenharia utilizado para gerir geometrias, especificar parâmetros e produzir resultados de simulação de incêndios em edifícios. É o interface gráfico utilizado para a realização do modelo 3D e para a realização da simulação pelo Fire Dynamic Simulator. Neste caso foi importado um ficheiro com extensão IFC.

Após a importação foram atribuídas todas as características necessárias aos elementos construtivos envolventes às fontes de ignição de cada simulação. É através do Pyrosim que se inicia o Fire Dynamic Simulator e assim se realiza o cálculo de cada simulação.

A figura 4.3 mostra um exemplo de interface gráfico de um modelo de território, onde existe alguma vegetação em torno das construções, onde se pretende estudar os fenómenos de transferência de calor associados a um incêndio na vizinhança dos edifícios.

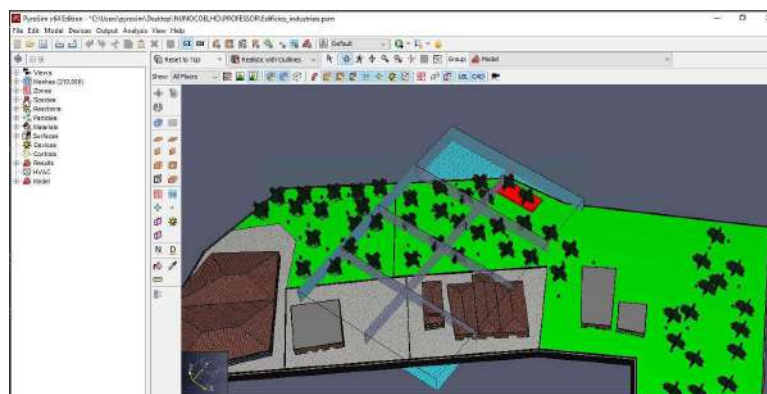


Figura 4. 3 – Pyrosim – Interface gráfico

#### 4.1.5 - Fire Dynamic Simulator - Simulador de Dinâmica de Fogo

Como o nome indica o Fire Dynamic Simulator (FDS - Simulador de Dinâmica de Fogo) é precisamente um Computational Fluid Dynamics (CFD - Fluxo de fluido dinâmico de fogo).

Este software a par com o Smokeview são produtos de um esforço colaborativo internacional entre o National Institute of Standards and Technology dos Estados Unidos da América (NIST) e o Technical Research Centre of Finland (VTT).

O software calcula e simula a evolução do incêndio, ou seja, propagação das chamas e fumo. O cálculo faz-se aplicando o Método dos Elementos Finitos (Moukalled, et al., 2015), recorrendo às equações de Navier-Stokes. São equações que permitem modelar com precisão todo um conjunto de fenómenos em fluxos incompressíveis turbulentos ou laminares de fase única, para fluxos compressíveis de todas as velocidades e até fluxos de fase múltipla.

Quando se fala em propagação das chamas e libertação de fumos, importa perceber que a simulação tem em linha de conta o material combustível, o fornecimento de oxigénio e a fonte de energia. Tem então como resultado a libertação de calor e de gases (simplicemente chamados de fumo).

O FDS calcula a desenvolvimento de um incêndio em função do modelo e parametrização realizados na interface gráfica (Pyrosim). O calculo é feito em 3 dimensões x;y;z (volume) sendo por isso complexo e demorado. É conveniente perceber o volume que importa simular o incêndio para otimizar a malha(s) de cálculo uma vez que os recursos de hardware são muito mobilizados pelo programa, ou seja, tanto o CPU quanto a memória são ocupados quase inteiramente para os cálculos do FDS como se poderá ver mais à frente em 4.2 – requisitos de Hardware e Critérios de Processamento (NIST, 2010).

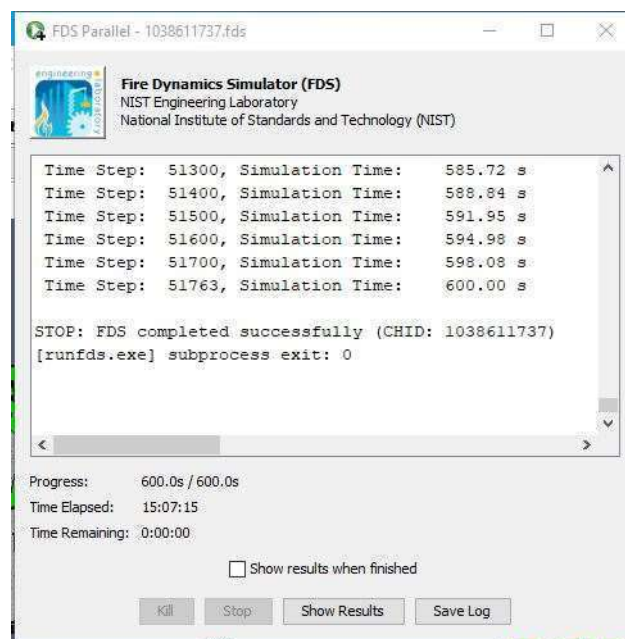


Figura 4. 4 – Fire Dynamics Simulator (NIST, 2010)

#### **4.1.6 - Smokeview - Visualizador de resultados**

Como o nome indica o Smokeview é um visualizador de resultados que permite observar os resultados da simulação. Podemos através dele observar não só o desenvolvimento do incêndio (propagação das chamas e libertação de fumos) como também visualizar os resultados escolhidos na plataforma, tais como: Temperatura; Taxa de Libertação de Calor; Visibilidade; Velocidade do ar, entre outros. À semelhança do FDS, também o Smokeview é produto do NIST e do VTT.

#### **4.1.7 - Pathfinder - Simulador de Movimento Humano**

O Pathfinder é também um produto da Thunderhead Engineering. É então utilizado para simular o movimento humano de saída. Ele fornece uma interface gráfica de utilizador para design do modelo e execução de simulação, bem como ferramentas de visualização 2D e 3D para análise de resultados.

As pessoas são representadas por pequenos bonecos (Avatar) aos quais podemos atribuir/parametrizar determinadas tarefas/comportamentos. No caso em estudo há comportamentos de Pacientes; Pacientes acamados; Senhoras grávidas; Acompanhantes de grávidas, Adulto, acompanhante de grávidas, criança, paciente em cadeira de rodas, Enfermeiros, Secretariado Clínico, Bombeiros, entre outros.

O Pathfinder consiste em 3 módulos: Uma interface gráfica de utilizador, o simulador e o visualizador 3D.

De acordo com o Manual Técnico do programa, o Pathfinder oferece duas opções principais de comportamento para o movimento do ocupante, modo SFPE 2016 (Fire Protection Engineering - Engenharia de Proteção contra Incêndio) e modo de Direção.

O modo SFPE é um modelo de fluxo, onde as velocidades de caminhada são determinadas pela densidade dos ocupantes dentro de cada sala e o fluxo através das portas é controlado pela largura da porta.

Baseado na ideia de comportamentos de direção inversa, os comportamentos de direção foram apresentados pela primeira vez no artigo de Craig Reynolds "Comportamentos de direção para personagens autónomos" (Reynolds 1999) e posteriormente refinados em comportamentos de direção inversa num artigo de Heni Ben Amor (Amor et al. 2006). O modo de direção do

Pathfinder permite que um comportamento mais complexo surja naturalmente como um subproduto dos algoritmos de movimento - eliminando a necessidade de filas de porta explícitas e cálculos de densidade.

A geometria de navegação é organizada em salas de forma irregular. Cada quarto tem limites internos (como mobiliário e outros obstáculos) e externos que não podem ser atravessados por um ocupante. A viagem entre duas salas adjacentes é feita por portas comunicantes. Uma porta que não conecta duas salas e é definida no limite externo de uma sala é uma porta de saída. Pode haver várias portas de saída num modelo.

A geometria de navegação (Malha) é bidimensional (área). Cada local pode estar a uma cota altimétrica diferente (andar) e a deslocação entre esses andares pode ser realizada por escadas e/ou elevadores.

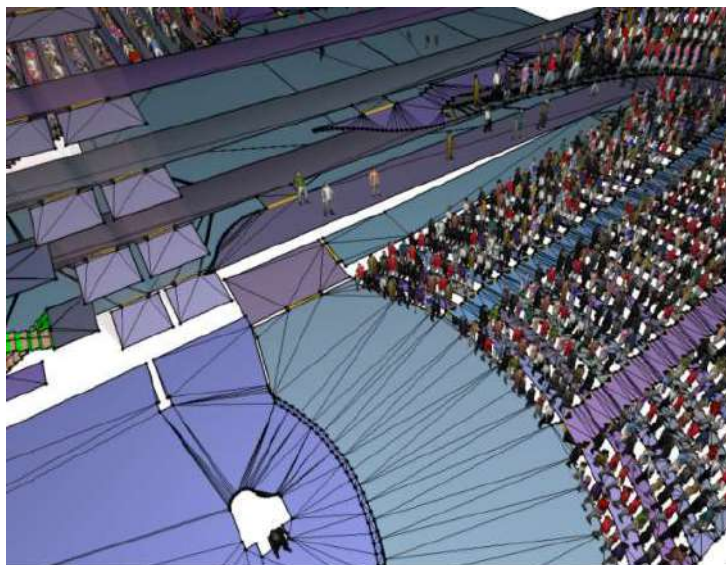


Figura 4. - Malha triangular 3D para representar a geometria do modelo (Retirada do site da Thunderhead Engineering).

## 4.2 Requisitos de Hardware e critérios de processamento

### 4.2.1 - Requisitos de Hardware

Para utilização do software percebeu-se quais os programas que exigem mais recursos. Sem dúvida o Pyrosim e o Smokeview são os que exigem mais e por isso foram as referências para a seleção dos recursos.

De acordo com o Manual FDS Fire Dynamics Simulator - Technical Reference Guide - Volume 4: Software Quality Assurance, o FDS pode correr em Windows 64 Bits, Linux ou Mac OS X. Havia a possibilidade de realizar o cálculo em apenas um computador ou em Cluster. Optou-se pela primeira destas duas situações com sistema operativo Windows 64 bits.

O volume virtual onde decorre cada simulação é no interior de uma ou mais malhas (Mesh). É dentro dessa malha que definimos o volume de simulação que pretendemos realizar.

A computação requer um processador rápido com pelo menos entre 2 e 4 GB de RAM (memória) por core (núcleo de processador). A velocidade de processador determina o tempo que o cálculo demora a ser realizado enquanto a quantidade de RAM disponível determina quantas células de cada malha podem ser alocadas em memória. A cada malha o FDS atribui 1 Core do CPU. Um disco duro também é requisito importante, pois há cálculos que facilmente ultrapassam os 10 GB de espaço de armazenamento.

Não menos importante é uma placa gráfica rápida para a apresentação de resultados no Smokeview dadas as possibilidades de visualização 3D que permitem não só perceber a propagação de chamas e de fumos, mas também perceber graficamente a evolução de vários dados tais como: de temperatura, Taxa de libertação de calor, visibilidade, entre outros.

#### **4.2.2 - Critérios de processamento**

A fim de explorar o potencial do modelo face aos recursos disponíveis, optou-se por utilizar um computador portátil numa primeira fase com processador Intel Core i7 6500U com 4 cores e 24 GB de RAM. Considerando que para cada core se recomendam 4GB seriam necessários 16 GB. Era então mais do que suficiente a memória disponível. Nesta primeira fase foram realizados testes para perceber o funcionamento do Pyrosim e explorar o potencial da máquina.

Numa segunda fase, foi então requisitada uma máquina virtual ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, máquina essa com as seguintes características: 20 cores e 32 GB de RAM. Considerando o mínimo de 2GB por cada Core poderíamos ter até  $32\text{GB} / 2\text{GB} = 16$  Cores => 16 malhas

Importa referir que numa simulação cada cálculo das malhas é feito por ciclo de computação. Então as malhas terão de ter um tamanho idêntico, sob pena de os núcleos com as malhas mais pequenas serem mais rápido do que os restantes e então ficarem suspensos à espera da

conclusão do cálculo das malhas maiores. Sendo todas de tamanho idêntico, então todos os núcleos funcionaram a velocidades semelhantes.

Para realizar o cálculo paralelo de várias malhas com um número de núcleos correspondentes deverá ser efetuada a operação Message-Passing Interface (\*). No interface Pyrosim podemos ver no menu da figura 4.6 "Run FDS Parallel" o botão para iniciar essa tarefa.

(\*) Manual do FDS Fire Dynamics Simulator - Technical Reference Guide - Volume 4: Software Quality



Figura 4. 5 – Opções para iniciar os cálculos

Utilizando o comando atrás indicado, efetuou-se um cálculo onde foram utilizadas 8 malhas a que correspondem cada uma a um núcleo de processador do CPU. Tal pode-se verificar na figura 4.7.

```
Starting FDS ...  
  
MPI Process      0 started on w10pirosim01  
MPI Process      6 started on w10pirosim01  
MPI Process      4 started on w10pirosim01  
MPI Process      2 started on w10pirosim01  
MPI Process      5 started on w10pirosim01  
MPI Process      7 started on w10pirosim01  
MPI Process      3 started on w10pirosim01  
MPI Process      1 started on w10pirosim01
```

Figura 4. 6 – 8 malhas que correspondem a 8 núcleos de CPU

O número de malhas utilizadas em cada simulação pode ser consultado no CAP 8 do presente documento.

Neste capítulo pretendeu dar-se uma visão geral de como funciona o programa de cálculo utilizado no presente estudo, mostrando um pouco das suas exigências e suas limitações.

## **5. Legislação aplicável**

### **5.1. Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE)**

A inauguração do edifício em estudo ocorreu no dia 16 de maio de 2012\*. O edifício tinha de cumprir a legislação à data - Decreto Lei (D.L.) 220 / 2008, de 12 de novembro que entrou em vigor desde 1 de janeiro de 2009 e que substituiu toda a legislação dispersa existente.

Até à publicação desse Decreto-Lei havia um leque vasto de resoluções do Conselho de Ministros, decretos-lei, decretos regulamentares, portarias, uns com conteúdo excessivamente minucioso, outros raramente ultrapassando o plano genérico. Verificavam-se sérias lacunas e omissões e tal devia-se parcialmente ao facto de para um conjunto elevado de edifícios não existirem regulamentos específicos de segurança contra incêndios. Aplicava-se apenas o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), de 1951.

Foi então publicado o D.L. 220/2008 de 12 de dezembro, que englobava as disposições regulamentares de segurança contra incêndio aplicáveis a todos os edifícios e recintos, distribuídos por 12 utilizações-tipo, havendo em cada uma delas quatro categorias de risco de incêndio.

O Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro foi alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 224/2015 de 9 de outubro. A 18 de outubro de 2019 sofre a última alteração pela publicação da Lei n.º 123/2019 que estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios.

\*- Inauguração da Clínica - Coimbra <https://www.dn.pt/portugal/hospital-privado-inaugurado-amanha-na-cidade-da-saude-2519193.html>

Na Lei n.º 123/2019 lê-se o seguinte:

*"Artigo 1.º*

*Objeto*

*A presente lei procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 224/2015, de 9 de outubro, que republica, e pelo Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios.*

*Artigo 2.º*

*Alteração ao Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro*

*Os artigos 2.º, 3.º, 5.º, 9.º, 10.º, 11.º, 12.º, 14.º, 14.º-A, 17.º, 18.º, 19.º, 21.º, 22.º, 24.º, 25.º, 26.º, 27.º, 28.º, 29.º, 32.º e 34.º do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 224/2015, de 9 de outubro, que republica, e pelo Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, que aprova o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios, passam a ter a seguinte redação:"*

Entende-se que o enquadramento legal dado pelo D.L 220/2008 mantém a sua estrutura principal, sendo melhorados os aspetos que o legislador identificou de forma corrigir todo o processo.

É a Lei n.º 123/2019 de 18 de outubro a aplicável à realização deste trabalho.

## **5.2 - Regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios**

As disposições técnicas gerais e específicas de Segurança Contra Incêndios em Edifícios referentes às condições exteriores comuns, às condições de comportamento ao fogo, isolamento e proteção, às condições de evacuação, às condições das instalações técnicas, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança e às condições de autoproteção são regulados pelo Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios.

Era a Portaria 1532/2008 que aprovava o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE). Passou agora esse regulamento a ser aprovado pela Portaria

135/2020 de 2 de junho e pela Declaração de Retificação n.º 26/2020. Esta última retifica algumas "inexatidões" da Portaria 135/2020.

### 5.3 Utilizações Tipo

O RJ-SCIE designa por Utilização-Tipo a classificação do uso dominante de todo ou de uma parte de qualquer edifício ou recinto, incluindo os estacionamento, os diversos tipos de estabelecimentos que recebem público, os industriais, oficinas e armazéns, em conformidade com o disposto no artigo 8º, onde são definidas as utilizações-tipo de edifícios e recintos

<b>Utilização-Tipo</b>	<b>Designação</b>
UT I	Habitacionais
UT II	Estacionamentos
UT III	Administrativos
UT IV	Escolares
UT V	Hospitalares e Lares de Idosos
UT VI	Espectáculos e Reuniões Públicas
UT VII	Hoteleiros e Restauração
UT VIII	Comerciais e Gares de Transporte
UT IX	Desportivos e de Lazer
UT X	Museus e Galerias de Arte
UT XI	Bibliotecas e Arquivos
UT XII	Industriais, Oficinas e Armazéns

Quadro 5. 1 – Utilizações Tipo

### 5.4 - Locais de Risco

Segundo o RJ-SCIE, Local de Risco é *"a classificação de qualquer área de um edifício ou recinto, em função da natureza do risco de incêndio, com exceção dos espaços interiores de cada fogo e das vias horizontais e verticais de evacuação"*. O quadro 5.2 identifica os vários locais de risco definidos no regulamento. O quadro 5.3 define o efetivo máximo de cada local de risco.

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

<b>Local</b>	<b>Descrição</b>	<b>Condicionantes</b>
Risco A	Local que não apresenta riscos especiais	Efetivo < 100 pessoas Efetivo público < 50 pessoas Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme, atividades, produtos, materiais e equipamentos que não envolvam riscos agravados de incêndio
Risco B	Local acessível ao público ou ao pessoal afetado ao estabelecimento	Efetivo > 100 pessoas ou, efetivo público > 50 pessoas ou, mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme ou, atividades, produtos, materiais e equipamentos que não envolvam riscos agravados de incêndio
Risco C	Local que apresenta riscos agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio	Atividades, produtos, materiais e equipamentos que envolvam riscos agravados de incêndio e aumentem a carga de incêndio
Risco D	Local de um estabelecimento com permanência de pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme	Pessoas acamadas e crianças com idades inferiores a 6 anos
Risco E	Local de um estabelecimento destinado a dormida	Pessoas que não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D
Risco F	Local com meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes	

Quadro 5. 2 - Descrição e condicionalismos dos Locais de Risco

<b>Local de risco</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
Efetivo – total	≤ 100 a)	>100				
Efetivo – público	≤ 50 a)	> 50				
Efetivo – pessoas limitadas	≤ 10% (a)	≤ 10%	≤ 10%	> 10%	≤ 10%	≤ 10%
Efetivo – locais de dormida	0	0	0		≥ 1	0
Risco agravado de incêndio			Sim			
Continuidade de atividades socialmente relevantes						Sim

Quadro 5. 3 – Quadro interpretativo *Locais de Risco*

Quadro 5.3 - a) Para um determinado local ser considerado local de risco A, o efetivo - total seja inferior ou igual a 100 pessoas ou o efetivo – público seja inferior ou igual a 50 pessoas.

## 5.5. - Categoria de Risco

**Categorias de risco segundo o RJ-SCIE é:** “a classificação em quatro níveis de risco de incêndio de qualquer utilização-tipo de um edifício e recinto, atendendo a diversos fatores de risco, como a sua altura, o efetivo, o efetivo em locais de risco, a carga de incêndio e a existência de pisos abaixo do plano de referência”. Segundo o Art.º 12º são eles: risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado, conforme apresentado no quadro 5.4.

<b>Categoria de Risco</b>	<b>Risco de Incêndio</b>
1ª Categoria	Risco reduzido
2ª Categoria	Risco moderado
3ª Categoria	Risco elevado
4ª Categoria	Risco muito elevado

Quadro 5. 4 – Categoria de Risco

## 5.6. – Verificação do cumprimento da Legislação sobre Segurança contra incêndios em edifícios

Atendendo a que o edifício em estudo é relativamente recente, tendo sido sujeito a um processo de licenciamento do projeto de SCI junto da ANEPC, verifica-se que o mesmo cumpre com o estipulado no RJ-SCIE em vigor. Seja relativamente a condições exteriores comuns, seja em termos de acessibilidade pelos bombeiros, ou em termos de saídas para o exterior, unidades de passagem em todas as portas, etc, verificou-se que o edifício está conforme a legislação. Por esse motivo considerou-se pouco relevante efetuar uma análise exaustiva do edifício face ao regulamento de SCI.

## 6. - Apresentação do Caso de Estudo

### 6.1 - Documentos e fontes para a realização do trabalho

Para a realização do trabalho foram fornecidos pela Clínica, em formato digital, os elementos indicados no quadro abaixo

<b>ESPECIALIDADES</b>	<b>PEÇA DESENHADA</b>	<b>PEÇA ESCRITA</b>
Projeto de Arquitetura	Ficheiro DWG	
Projeto de Segurança Contra Incêndios	Ficheiro DWG	Ficheiro DOC
Plano de Segurança Interno		Ficheiro PDF
Projeto de AVAC	Ficheiro DWG	

Quadro 6. 1 - Resumo com elementos fornecidos

Efetuu-se uma visita ao local para perceber o edificado e aferir da correção dos elementos fornecidos face à situação real e percebeu-se que as peças desenhadas de Arquitetura se encontravam compatíveis com o edifício real. Foram essenciais estes elementos para a realização de todo o trabalho.

Quanto ao Projeto de AVAC os compartimentos nele representados, não estavam coincidentes com a Arquitetura de peças desenhadas e do edifício real. Esta situação levou a que fossem tidos alguns critérios para compatibilização da Arquitetura e dar seguimento ao processo de modelação do edifício e correspondentes simulações de incêndio e evacuação.

### 6.2 - Implantação e vias de acesso

A Unidade Hospitalar de Coimbra encontra-se localizada em Coimbra, mais concretamente na Praceta Prof. Robalo Cordeiro - Circular Externa de Coimbra, sendo o acesso ao edifício assegurado pelo arruamento anteriormente referido (Figura 6.1).

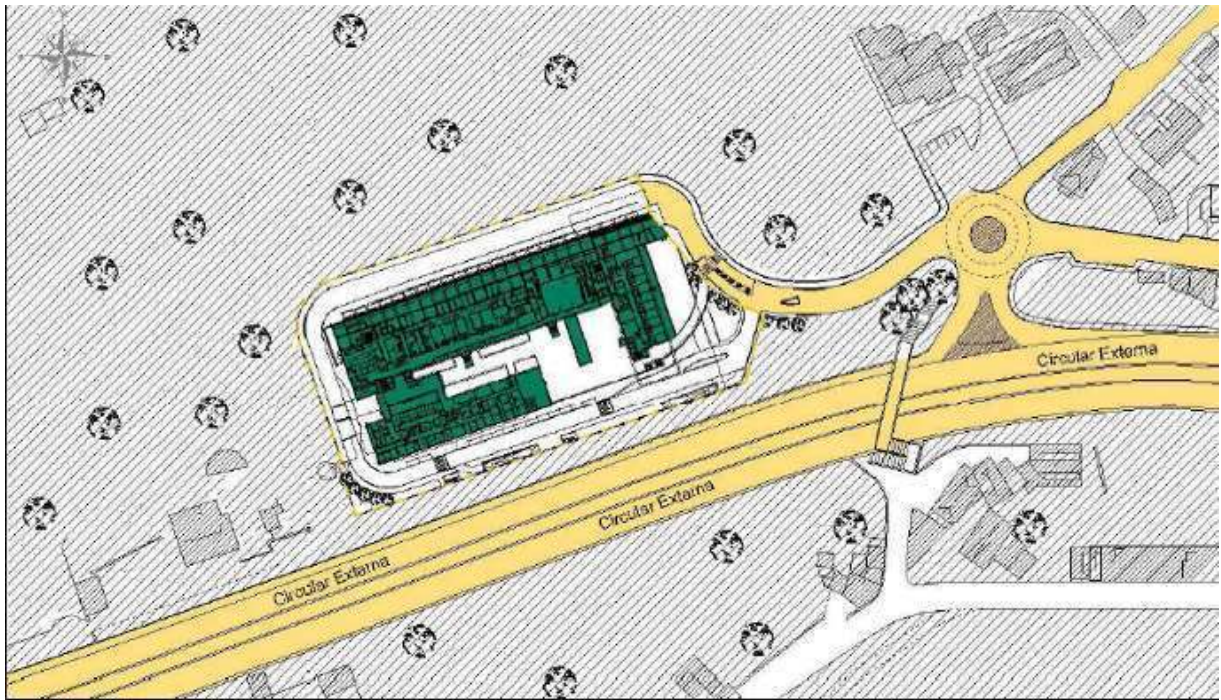


Figura 6.1 – Localização e Acesso à Unidade Hospitalar de Coimbra

### 6.2.1 Descrição funcional e respetivas áreas piso a piso

De acordo com o projeto de Segurança Contra Incêndios em edifícios, o edifício tem uma forma retangular aberto em que o lado aberto é um edifício só com um piso correspondente ao Centro de Saúde e parte da clínica, enquanto os outros lados são ocupados pelos cuidados continuados no lado nascente, e pela clínica no lado poente. No centro encontra-se uma praça ajardinada para utilização pública.

Entre o muro de suporte e a estrutura do edifício existe um fosso com ventilação direta do exterior através de grelhas de pavimento na rua. Este fosso inicia no piso -3 e chega ao arruamento norte. O parque de estacionamento no piso -3 é enterrado ocupando a totalidade da área.

O piso -2 é um piso semienterrado constituído por parque de estacionamento com saída direta para o exterior, instalações técnicas (PT, gerador, cogeração e caldeiras), um auditório, 6 lojas, fisioterapia outro parque de estacionamento de menor área, compartimento do gerador, área técnica dedicada ao PT e quadros elétricos, compartimentos de chegada e saída de roupa, cozinha e instalações funcionais da cozinha, dois restaurantes um para cuidados continuados e outro virado para o exterior.

O piso -1, tem uma área menor que os anteriores tendo no centro uma praça, e é repartido em três corpos de edifício ligados entre si. O bloco que tem apenas um piso é dividido em unidade de saúde, medicina do trabalho consultórios e uma cafeteria.

O corpo maior é a clínica onde estão instalados os serviços de imagiologia, com as suas dependências técnicas e laboratório de análises. No outro corpo existe um refeitório com copa e cafeteria, e cuidados continuados constituídos por 10 quartos, sala de estar dois consultórios, enfermagem, banho de ajuda e uma pequena sala de refeições.

O piso 1 é constituído por dois corpos: o da clínica e o dos cuidados continuados. Na clínica encontram-se os serviços de Ginecologia, estética, pediatria e centro de diagnóstico anatómopatológico, além de internamento com 12 camas. Os cuidados continuados dispõem de consultório, gabinete de enfermagem, banho de ajuda, duas salas de estar e têm 49 camas.

O piso 2 é constituído pelos mesmos corpos de edifício do piso anterior. Na clínica existem os serviços de cardiologia, gastro, oftalmologia, pneumologia, sono, neuro, urologia, psicologia, 4 gabinetes médicos, farmácia, esterilização e sala de espera. Nos cuidados continuados existem um bloco operatório com três salas de operações, 49 camas, consultório, gabinete de enfermagem, banho de ajuda e salas de estar.

Nas figuras abaixo observam-se os alçados do edifício realizados no Revit.



Figura 6. 2 – Alçado Principal

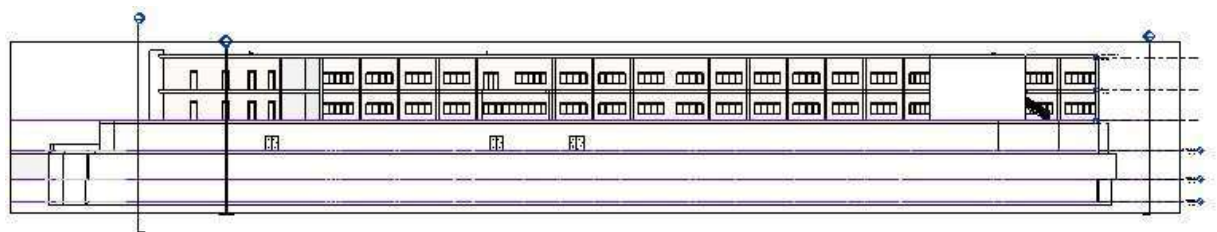


Figura 6. 3 – Alçado Posterior

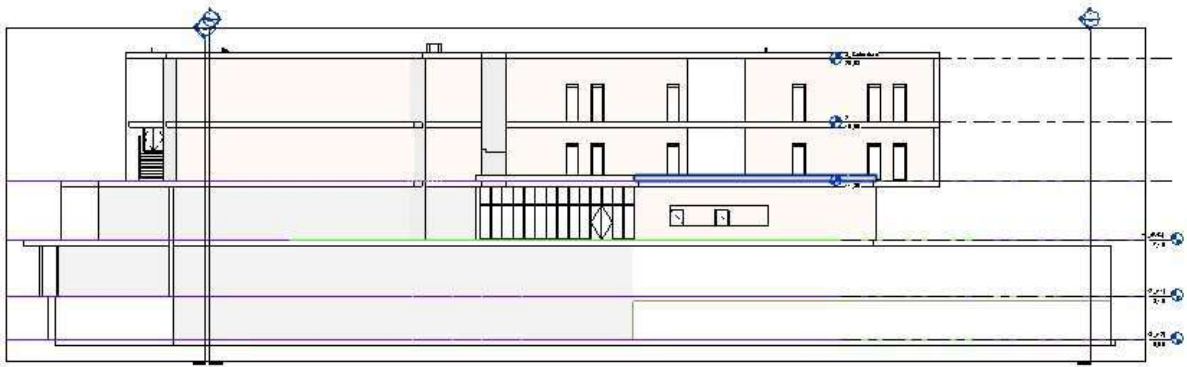


Figura 6. 4 – Alçado Poente

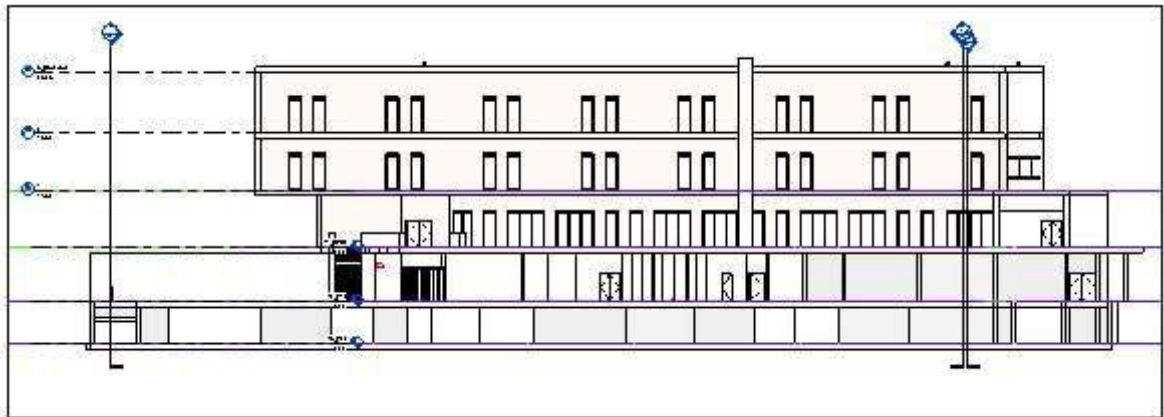


Figura 6. 5 – Alçado Nascente

### 6.3 - Utilizações Tipo

A Unidade Hospitalar de Coimbra, designada por Unidade Hospitalar, possui 43 valências clínicas a funcionar de forma integrada, sendo classificada como uma utilização-tipo mista, uma vez que possui duas utilizações-tipo (UT II – Estacionamento e Utilização Tipo V – Hospitalar e lar de idosos), segundo a Lei 123/2019. A Unidade Hospitalar é constituída por 5 pisos possuindo uma área bruta de construção de 30848 m<sup>2</sup> distribuída do seguinte modo:

Piso	Utilização Tipo	Área (m <sup>2</sup> )
-3	II - Estacionamento	11352,00
-2		4491,40
-1	V - Hospitalar	2866,70
1		5745,50
2		3064,50
Cobertura		3031,20
		297,00

Figura 6. 6 – Utilizações tipo – Plano de Emergência (Rocha, 2012)

## 6.4 - Categoria de Risco

De acordo com o capítulo anterior e para uma classificação do edifício, devem-se observar os seguintes fatores de risco:

Unidade Hospitalar	Altura da Utilização Tipo	Efectivo	Efectivo		Categoria de Risco
			Locais Risco D	Locais Risco E	
UT V - Hospitalar	H < 9 m	2082	207	2	4. <sup>a</sup>

Unidade Hospitalar	Altura da Utilização Tipo	Área Bruta ocupada (m <sup>2</sup> )	N.º de pisos abaixo do Plano de referência	Categoria de Risco
UT II - Estacionamento	--	15843,40	2	3. <sup>a</sup>

Figura 6. 7 – Categorias de Risco do edifício  
(Rocha, 2012)

## 6.5 - Características Físicas do edifício

### 6.5.1 - Vias de Acesso

As vias de acesso cumprem com o preconizado no RT-SCIE - Artº 4.

### 6.5.2 - Acesso às Fachadas

Art.º 6 - Acessibilidade às fachadas. Há duas fachadas acessíveis, com pontos de penetração através dos vãos de janela com as dimensões 1,30 x 0,75 m (envidraçados) que estão

sinalizados nas próprias janelas. O pano do peito das janelas tem uma espessura de 0,23 m. O centro de saúde é acessível em qualquer ponto do lado da praça.

### 6.5.3 - Características construtivas exteriores

No quadro 6.2 estão indicadas as classes de reação ao fogo dos materiais das fachadas e verifica-se que os elementos da construção garantem os requisitos exigidos para edifícios hospitalares.

<b>ELEMENTOS DAS FACHADAS</b>	<b>CLASSE DE REAÇÃO AO FOGO</b>
Revestimentos e elementos transparentes	Cs2d0
Caixilharia e estores	Ds3d0
Guardas Terraço	0,60 m
classe de reação ao fogo mínima do revestimento de cobertura	EFL

Quadro 6. 2 – Classe de reação ao fogo de elementos de construção das fachadas

(Rocha, 2012)

### 6.5.4 - Isolamento de locais de circulação e Resistência ao fogo de elementos de construção

#### 6.5.4.1- Isolamento e proteção de locais de risco

Segundo o Projeto de SCIE *"Todos os locais de risco C, D e F foram isolados dos locais adjacentes por paredes e portas de acordo com o artigo 21º, 22º e 24º da portaria 1532/2008 de 29 de dezembro"*

<b>LOCAL</b>	<b>CLASSE DE RISCO</b>	<b>TETO</b>	<b>PAREDE</b>	<b>PAVIMENTO</b>
Consultórios	A	D2-d2	D2-d2	E FL-s2
Locais de pequena ocupação	A	D2-d2	D2-d2	E FL-s2

Refeitórios para não residentes	B	A2-s1	A2-s1	C FL-s2
Salas de espera	B	A2-s1	A2-s1	C FL-s2
Áreas técnicas	C	A1	A1	A1 FL
Compartimentos do lixo	C	A1	A1	A1 FL
Laboratórios	C	A1	A1	A1 FL
Farmácia	C	A1	A1	A1 FL
Quartos	D	A1	A1	C FL-s2
Locais de cadeira de rodas como refeitórios	D	A1	A1	C FL-s2
Outros locais de acamados	D	A1	A1	C FL-s2
N.A.	E	N.A.	N.A.	N.A.
Posto de segurança	F	A1	A1	C FL-s2
PT	F	A1	A1	C FL-s2
Gerador	F	A1	A1	C FL-s2
Bombagem de incêndio	F	A1	A1	C FL-s2

Quadro 6. 3 – Reação ao Fogo de materiais nos vários locais do edifício (Rocha, 2012)

### 6.5.5 - Isolamento e proteção de meios de circulação

Os meios de circulação são essenciais para garantir a não propagação de fumos e chamas principalmente para garantirem uma evacuação em segurança dos utentes e funcionários do edifício. Nos subcapítulos seguintes sumarizam-se as características de materiais das vias horizontais e verticais de evacuação.

#### 6.5.5.1 - Proteção das vias horizontais de evacuação

LOCAL	LARGURA	REACÇÃO AO FOGO DE MATERIAIS	MEIOS
-------	---------	------------------------------	-------

	(m)	TETO	PAREDE	PAVIMENTO	
Vias horizontais de Evacuação	2,25	C-s2d0	C-s2d0	C FL-s1	Controlo de Desenfumagem

Quadro 6. 4 – Classificação ao fogo de materiais de revestimento em vias horizontais de evacuação - (Rocha, 2012)

### 6.5.5.2 - Proteção das vias verticais de evacuação e camaras CF

LOCAL	LARGURA (m)	REACÇÃO AO FOGO DE MATERIAIS			MEIOS
		TETO	PAREDE	PAVIMENTO	
Escadas, Camaras CF	1,40, 1,80 *	A2-s1d0	A2-s1d0	C FL-s1	Controlo de Desenfumagem
Escadas Exteriores	1,40, 1,80	B-s3d0	B-s3d0	C FL-s3	
*- Escadas					

Quadro 6. 5 – Classificação ao fogo de materiais de revestimento em vias verticais de evacuação - (Rocha, 2012)

### 6.5.5.3 - Isolamento e proteção das caixas dos elevadores e restantes características

As paredes das caixas dos elevadores têm a resistência REI 60 e portas de patamar E30. Há 5 elevadores prioritários destinados ao uso dos Bombeiros. De acordo com o projeto de SCIE a instalação dos elevadores cumpre o Regulamento de Segurança de Elevadores Elétricos.

Abaixo do plano de referência os elevadores são protegidos por camaras CF. Acima do plano de emergência, os elevadores que possuem proteção de camaras CF são destinados a evacuação de acamados. Os elevadores possuem portas de patamar e cabina deslizantes com funcionamento automático e de largura igual ou superior a 1,30m e têm uma capacidade de carga nominal igual ou superior a 1600 kg e uma dimensão igual ou superior a 1,3 x 2,4 (Rocha, 2012).

#### 6.5.5.4 - Isolamento e proteção de canalizações e condutas

Existem registos corta-fogo na passagem de condutas e canalizações através dos compartimentos corta-fogo. Estes registos possuem características iguais às dos elementos atravessados – REI120. As canalizações e condutas com diâmetro nominal superior a 75mm ou secção equivalente que atravessam paredes e pavimentos de compartimentação corta-fogo, são condutas metálicas com ponto de fusão superior a 850°. As restantes encontram-se alojadas em courettes (ductos). As canalizações e condutas que conduzem efluentes de combustão encontram-se alojadas em courettes. Os tubos de queda, ramais de descarga possuem resistência ao fogo EI60 e são construídos com materiais da classe A1. As courettes são seccionadas ao nível dos pisos garantindo a compartimentação CF (Rocha, 2012).

### 6.6 - Cenários estudados

Neste trabalho foram estudados 5 cenários de incêndio e correspondente evacuação. Foram os cenários: A0; A1; A2; A3 e B. Foram feitas propostas alternativas para todos os cenários exceto o cenário A0. Como se poderá observar mais à frente as alternativas visaram otimizar a ventilação e desenfumagem por forma a reduzir os tempos de evacuação dos setores em estudo. No presente capítulo apresentam-se os locais onde deflagram os incêndios e respetivos setores a evacuar.

#### 6.6.1 - Sala de Estar Piso -1 Maternidade (Cenário A0)

As figuras seguintes mostram pormenores do local onde foi definido o incêndio do cenário A0.

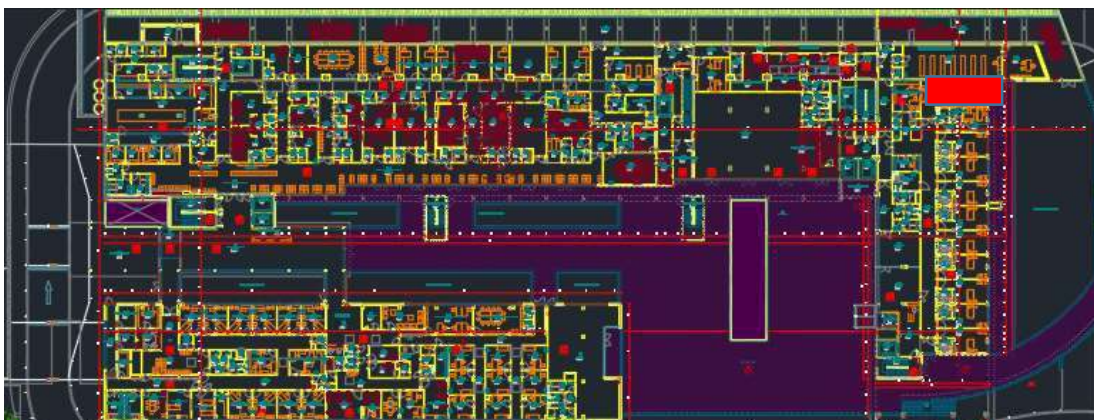


Figura 6. 8 – Localização do cenário A0 – Início do incêndio



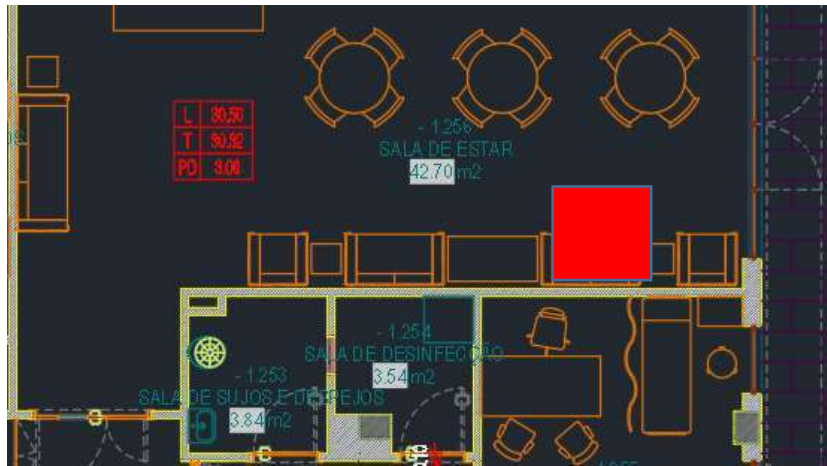


Figura 6. 9 – Sala de Estar da Maternidade -1.256. Início do incêndio

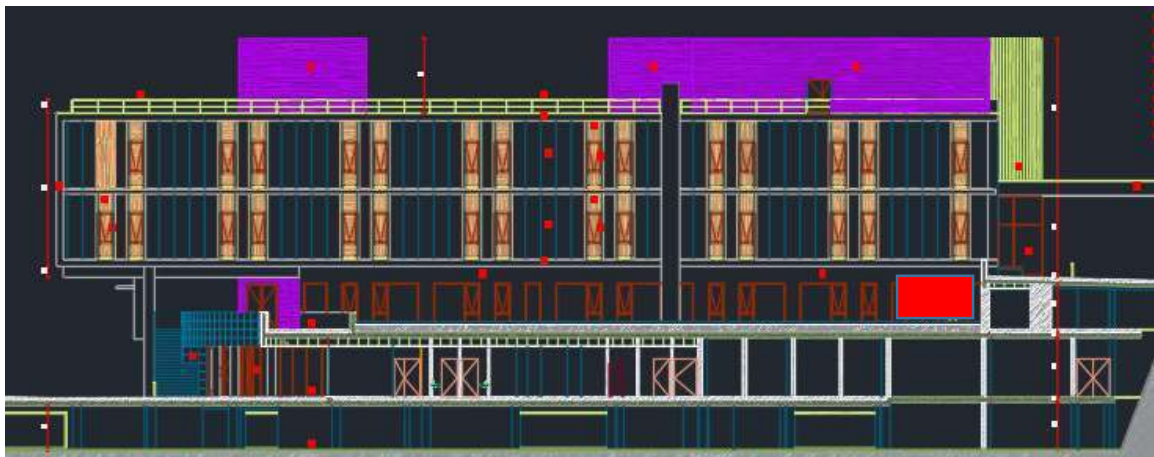


Figura 6. 10 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Alçado Nascente)

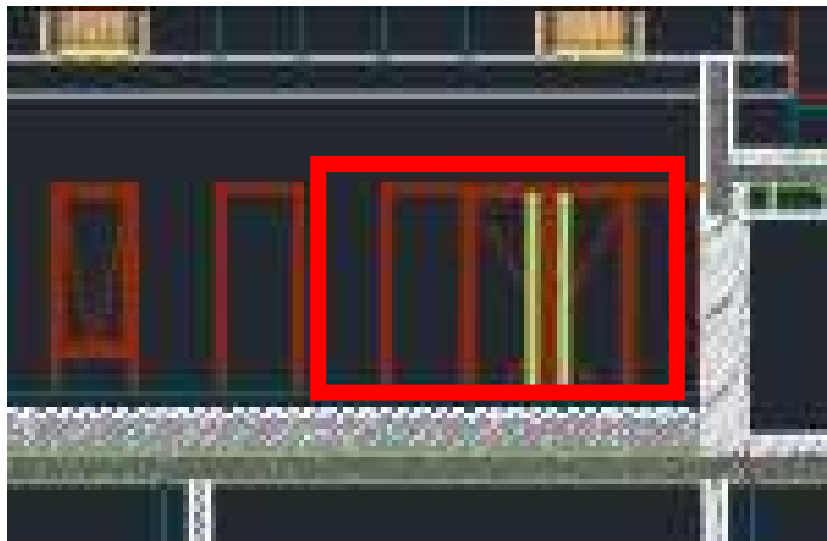


Figura 6. 11 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Ampliação Alçado Nascente)



Figura 6. 12 – Sala de Estar da Maternidade -1.256 (Alçado Nascente - Revit)

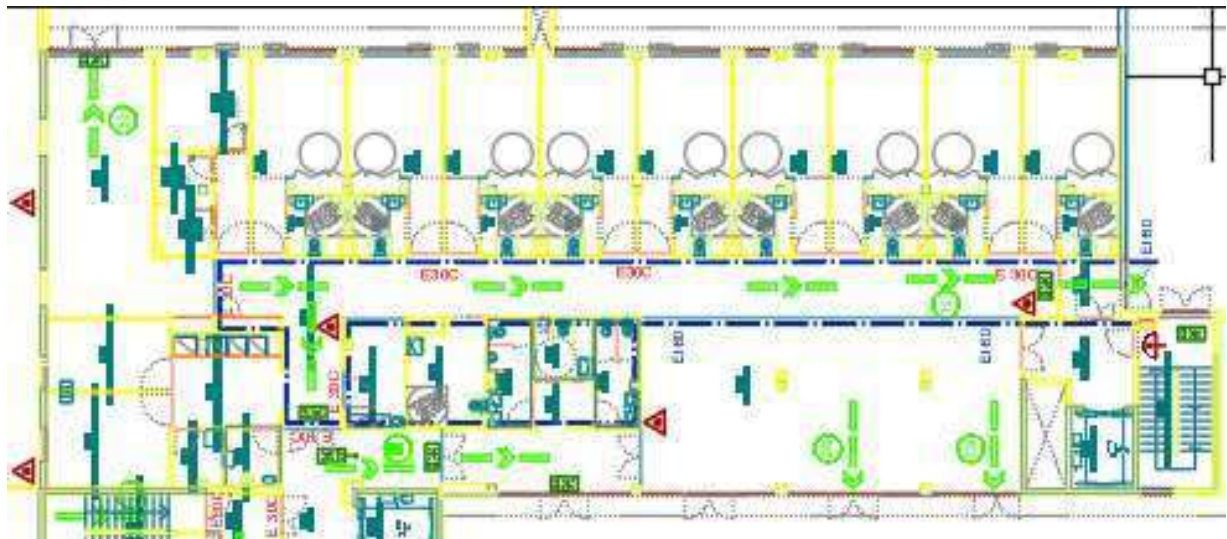


Figura 6. 13 - Vias de Evacuação Cenário A0 - Projeto de SCIE

Na figura 6.14 podem identificar-se os vários setores, e respetivos setores de refúgio para a situação de incêndio. A figura 6.15 mostra o ponto de encontro no exterior.

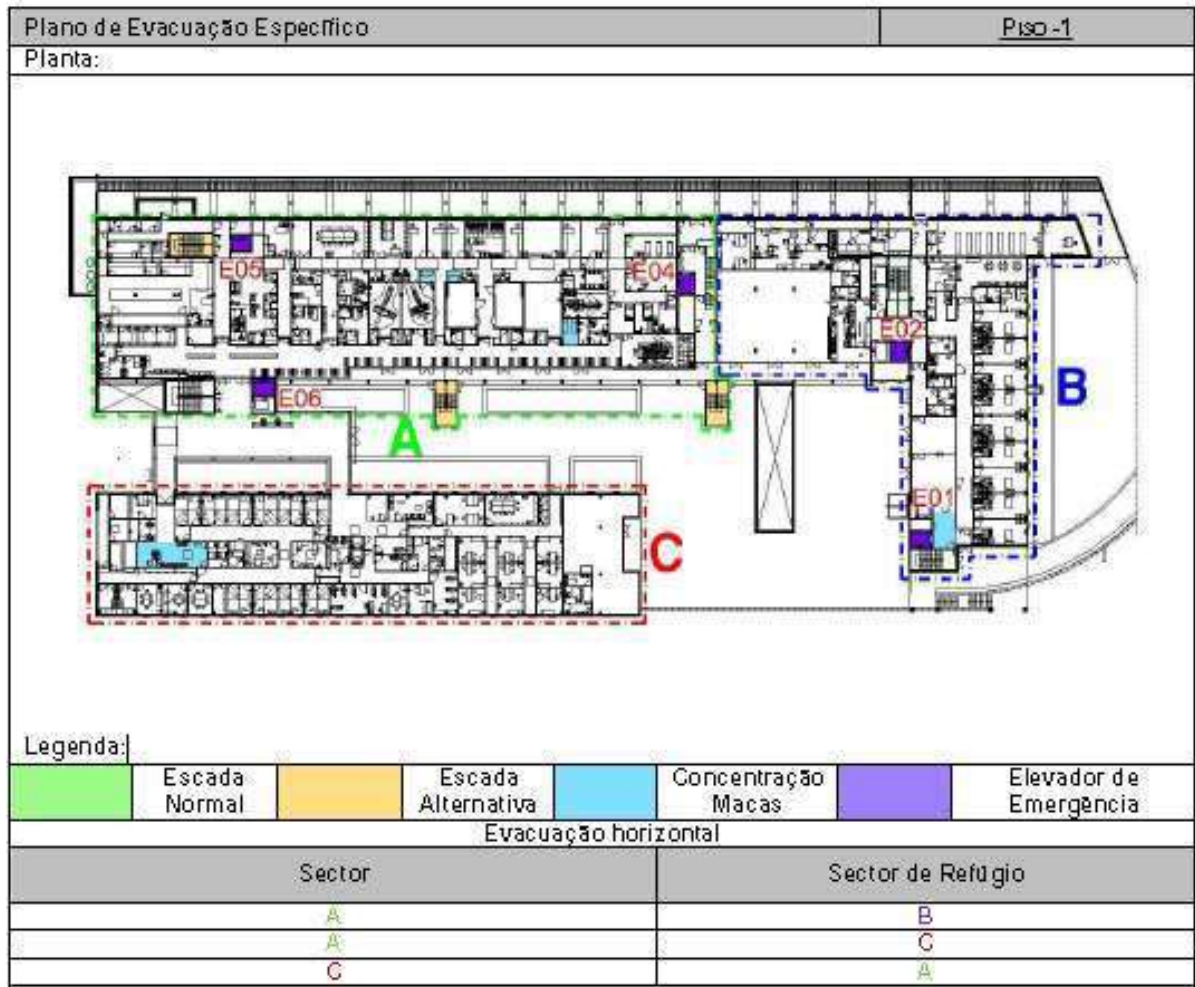


Figura 6. 14 - Plano de evacuação (Rocha, 2012)



Figura 6. 15 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012)

### 6.6.2 - Corredor piso 2 Internamento Maternidade (A1; A2 e A3)

Seguidamente, será apresentado nas próximas figuras a localização do cenário A1. Neste caso, o incêndio terá lugar num corredor do piso 2 do Internamento.

#### 6.6.2.1 - Cenário A1

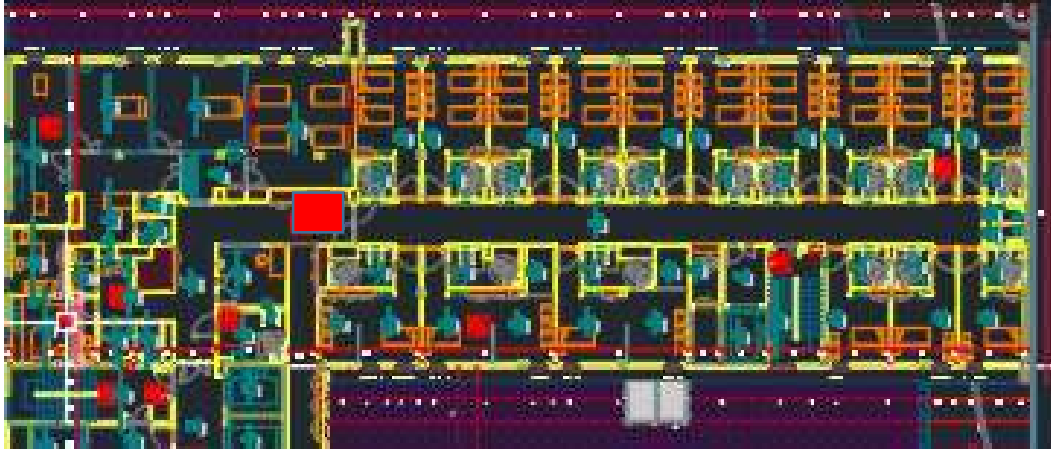


Figura 6. 16 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2

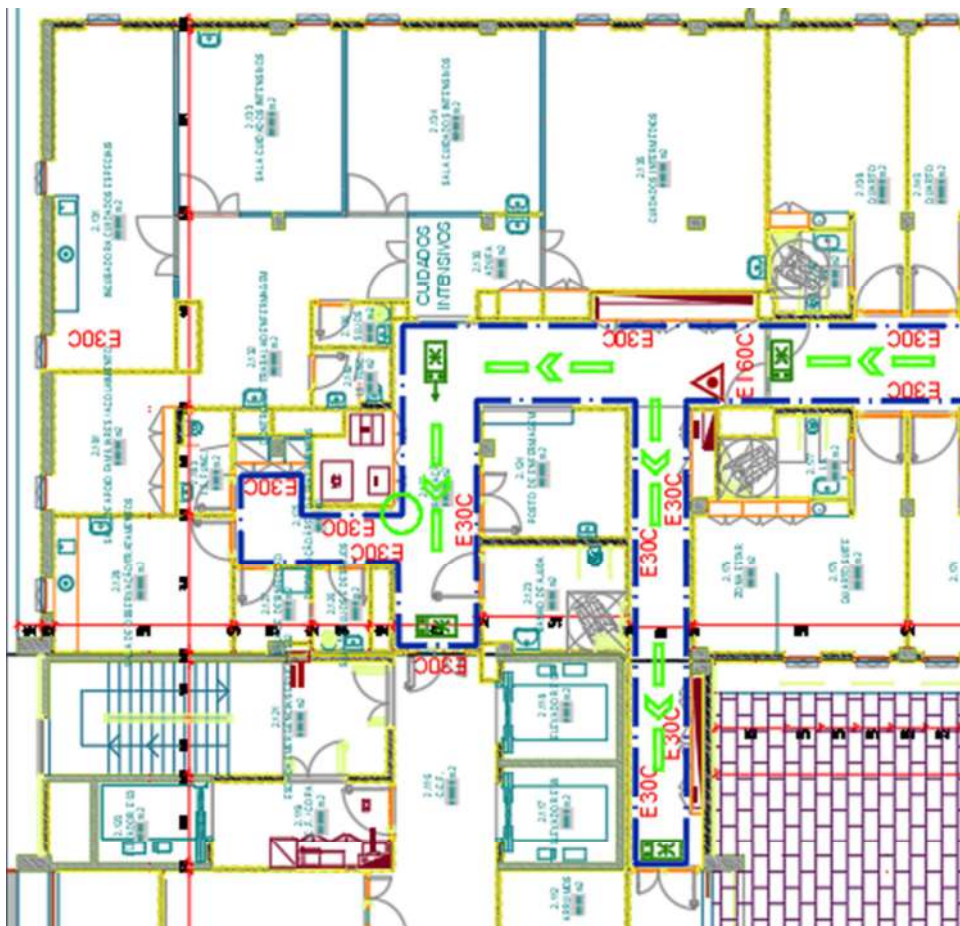


Figura 6. 17 - Vias de Evacuação Cenário A1 - Projeto de SCIE

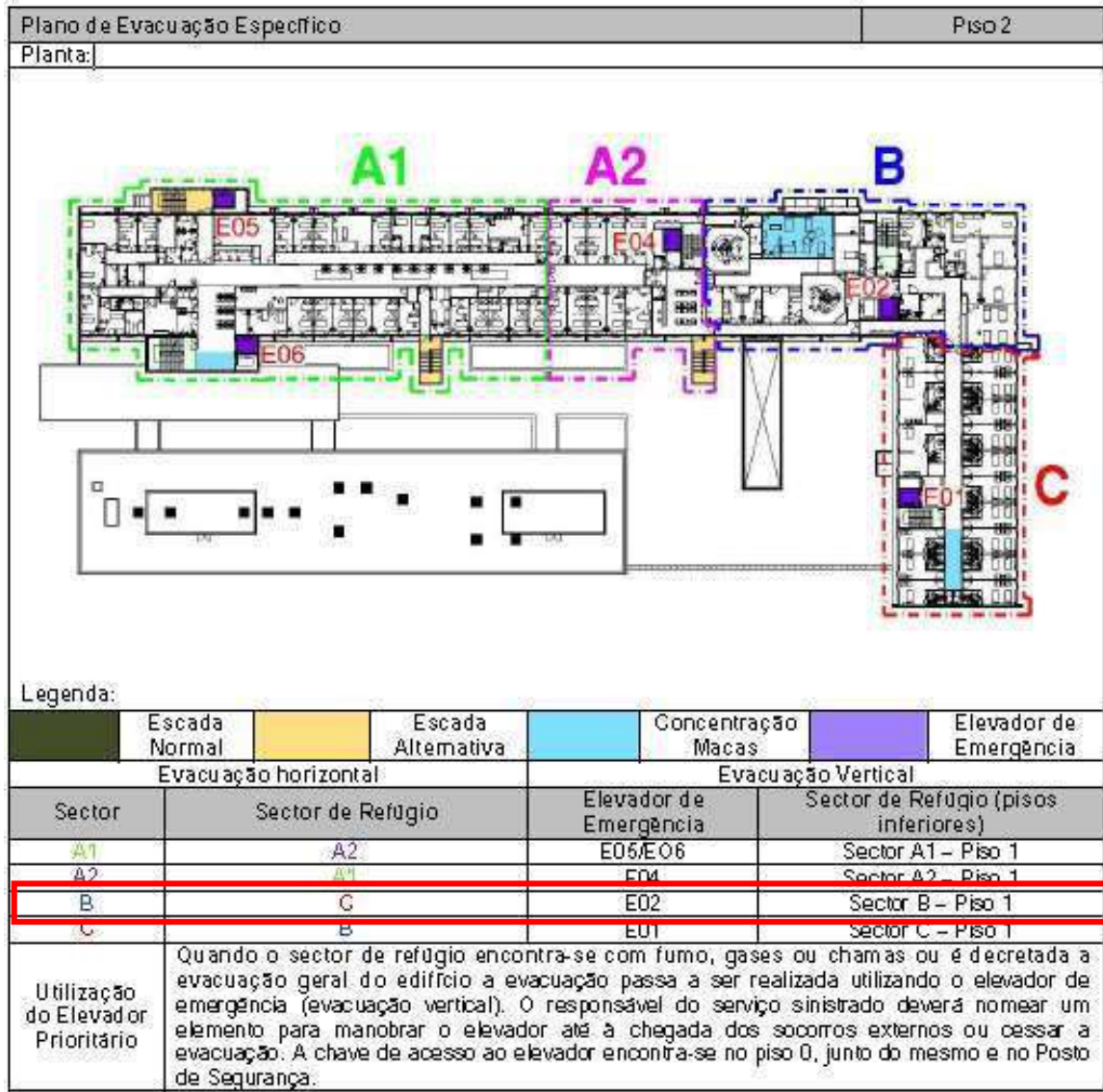


Figura 6. 18 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12)



Figura 6. 19 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012)

### 6.6.2.2 - Cenário A2

Nesta seção será apresentado o cenário A2. Este cenário tem a fonte de incêndio praticamente no mesmo local do cenário A1, junto à porta Corta Fogo do corredor, mas no lado oposto dessa porta.

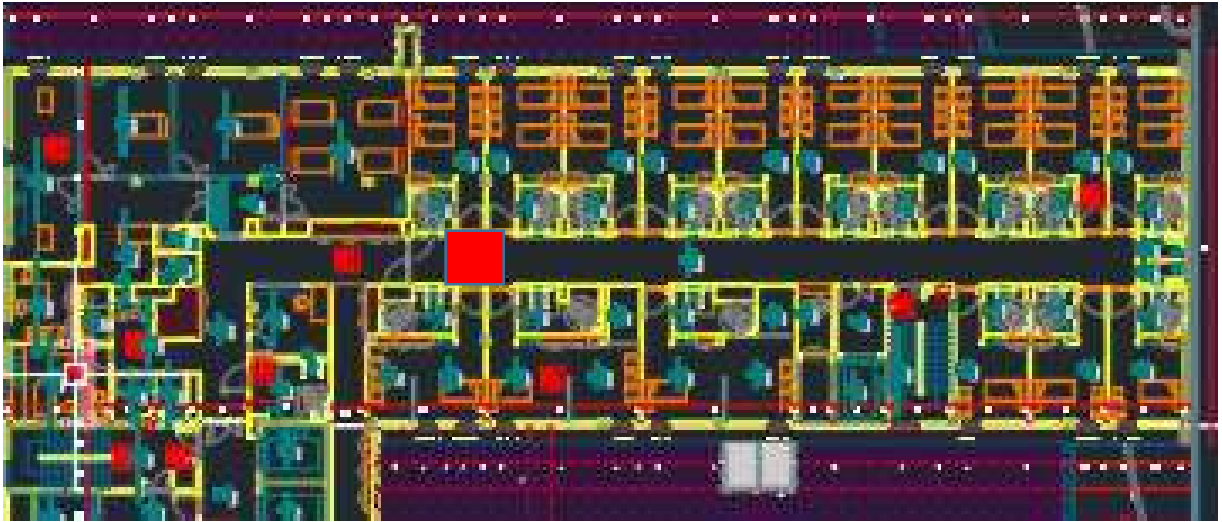


Figura 6. 20 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2

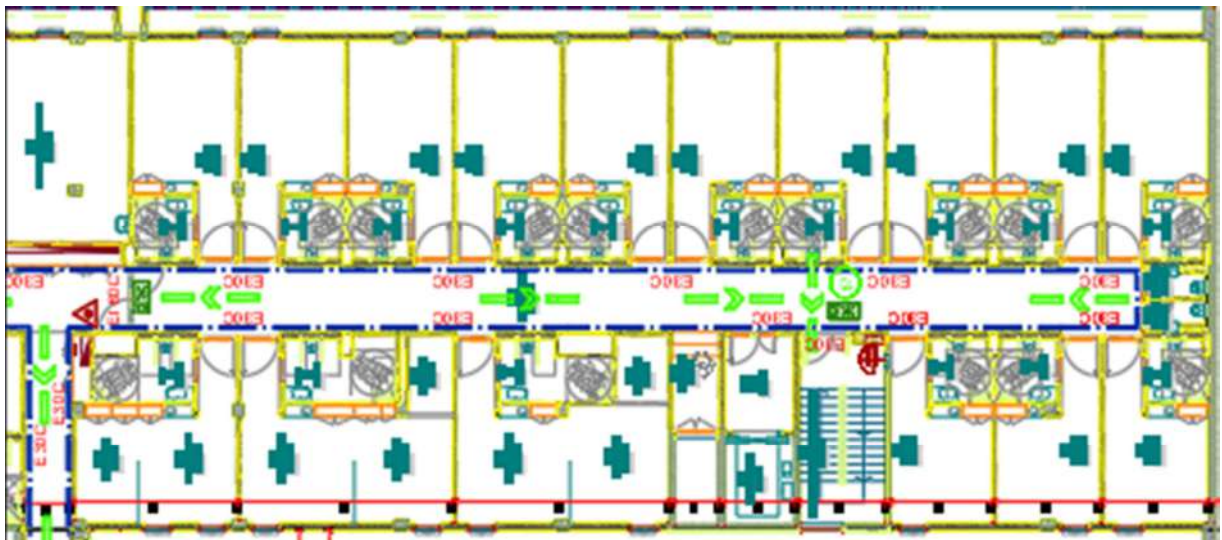


Figura 6. 21 - Vias de Evacuação Cenário A2 - Projeto de SCIE

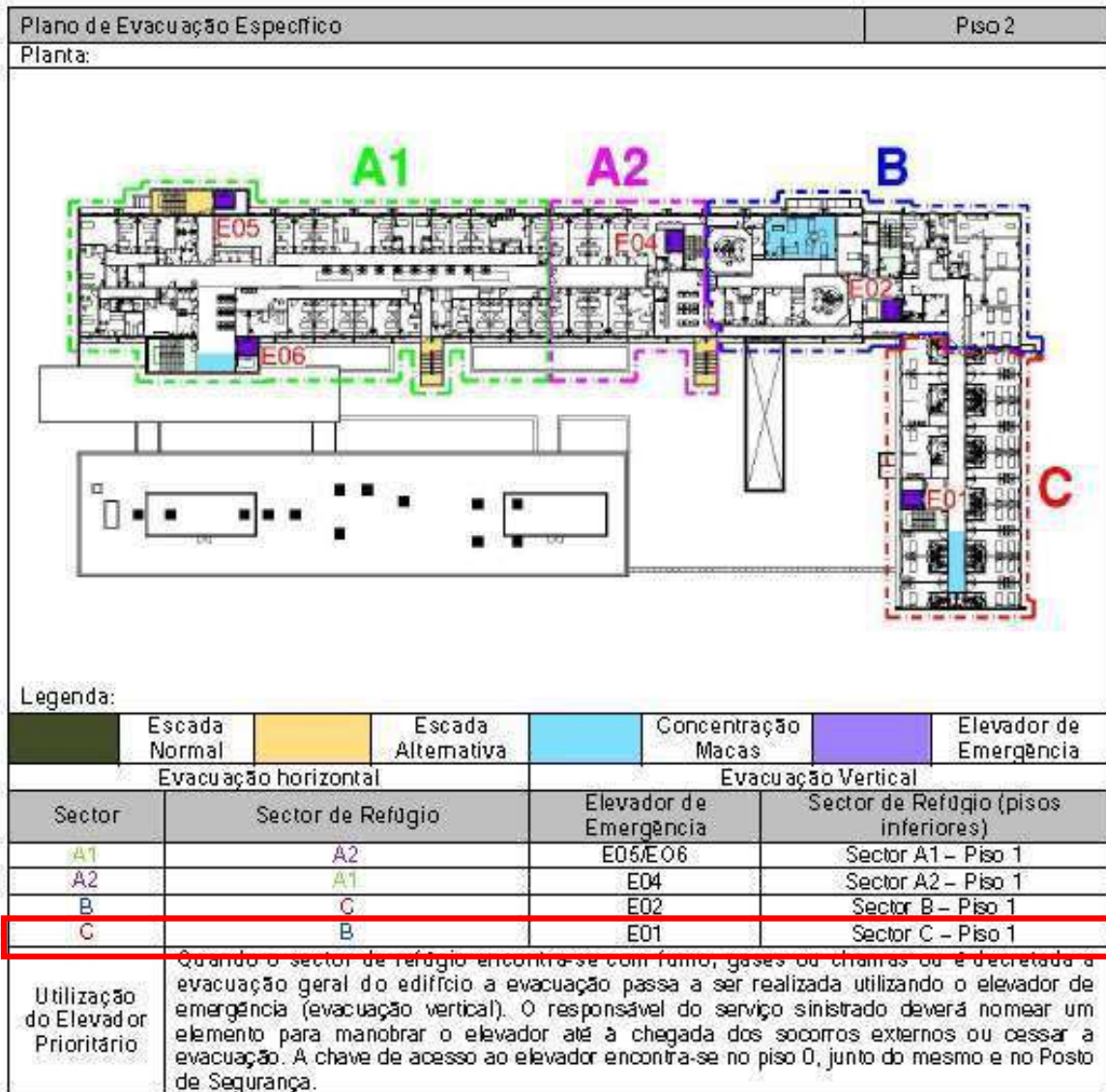


Figura 6. 22 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12)



Figura 6. 23 – Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012)

### 6.6.2.3- Cenário A3

Neste ponto, identifica-se o local do foco de incêndio para o estudo do cenário A3. Neste caso, é considerado na sala de espera do piso.

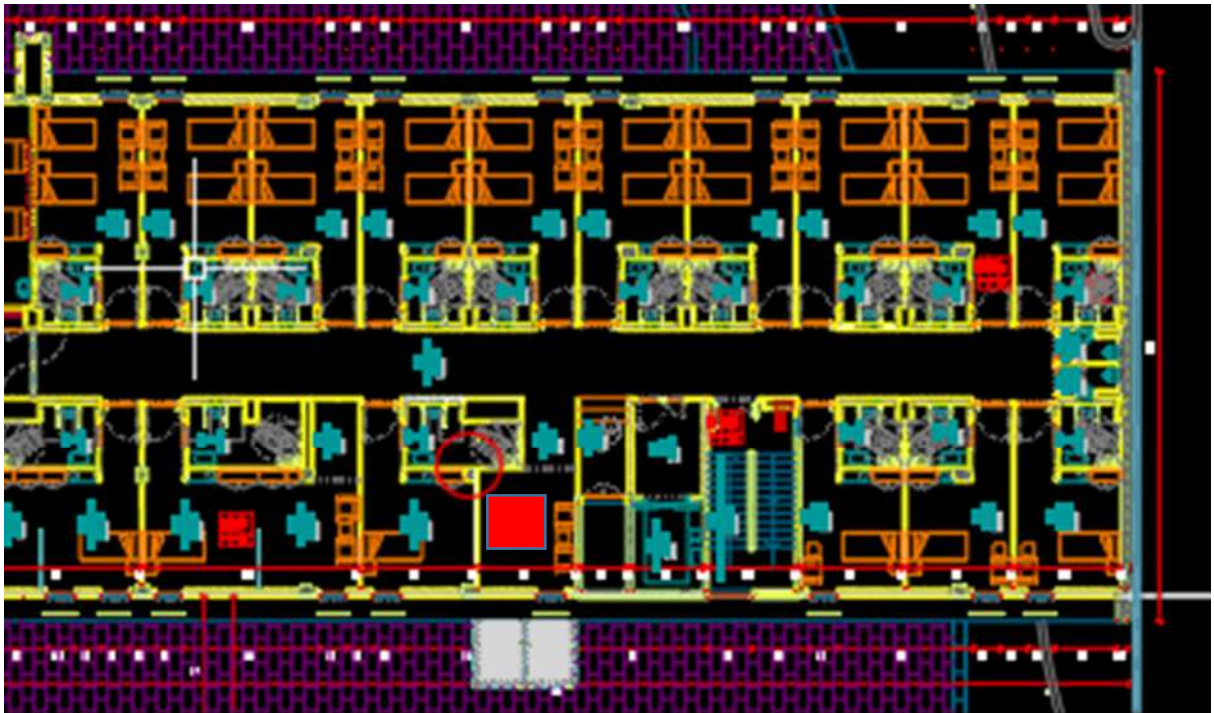


Figura 6. 24 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2



O Plano de Evacuação e as respectivas vias de evacuação deste cenário são idênticas ao do cenário A2 pelo que não se repete essa informação.

### 6.6.2.4- Cenário B

O cenário de incêndio considerado neste caso, foi para um incêndio na recepção das consultas externas, do piso 2.



Figura 6. 25 – Localização do início do incêndio – Planta do piso 2



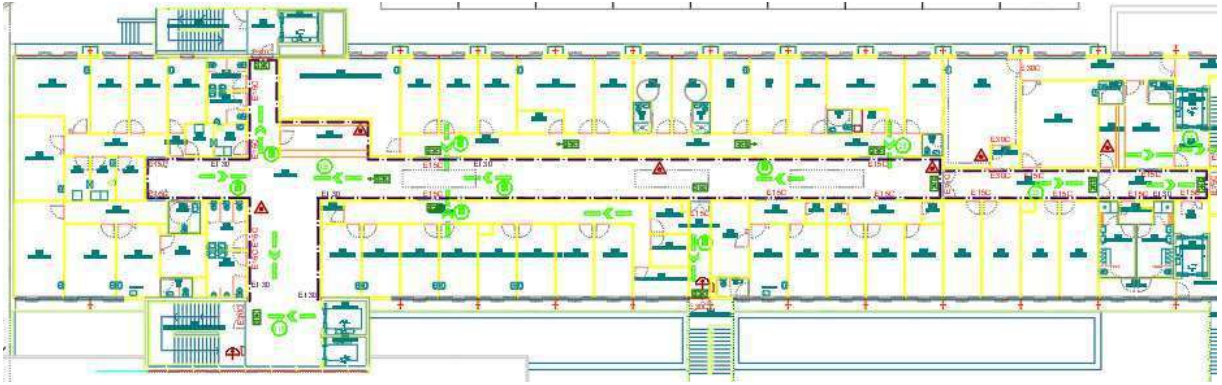


Figura 6. 26 - Vias de Evacuação Cenário A2 - Projeto de SCIE



Figura 6. 27 - Localização do Ponto de Reunião comum a todos os cenários (Rocha, 2012)

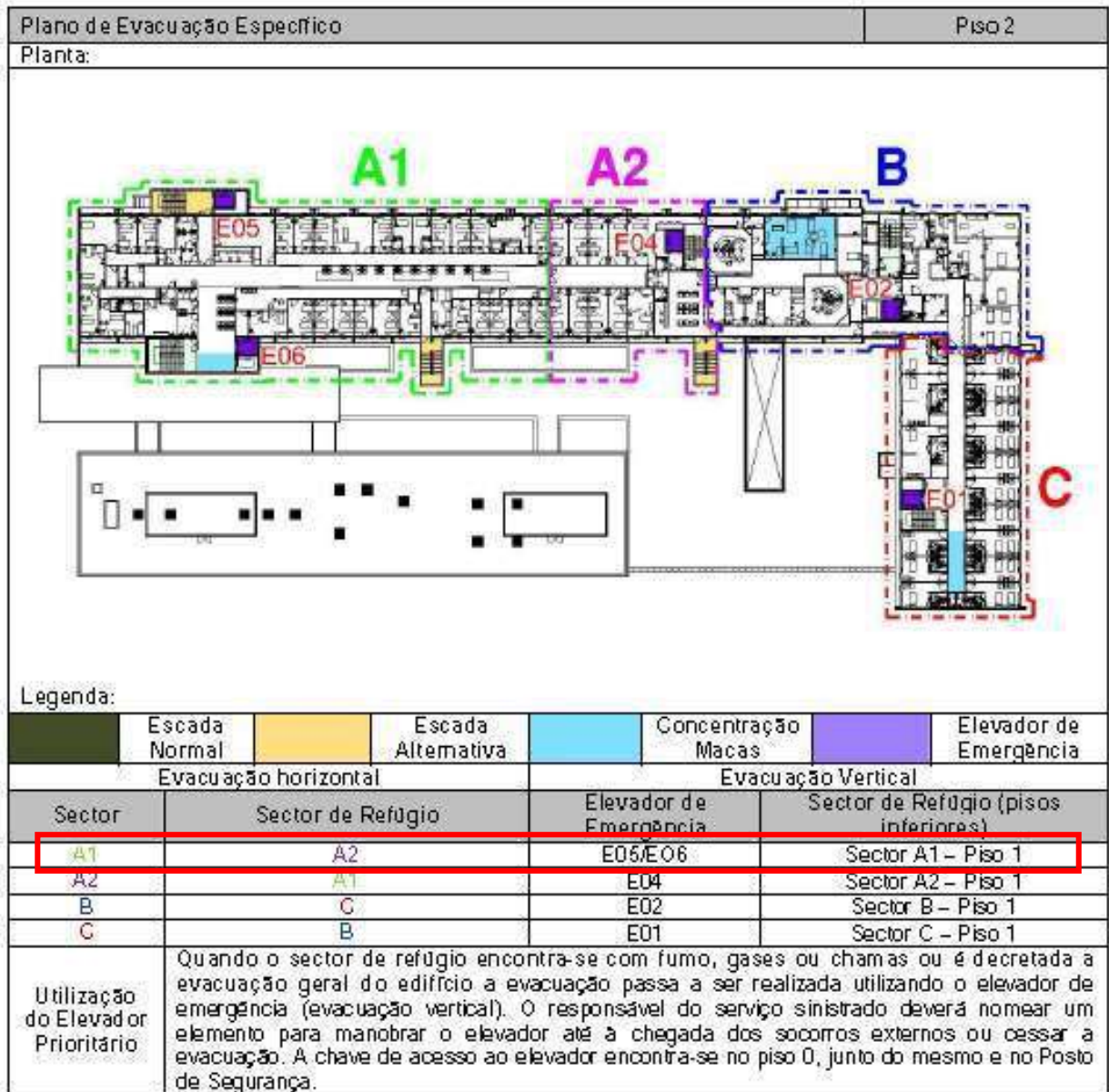


Figura 6. 28 - Plano de evacuação (Plano de Emergência interno - PEI 4 - 6/12)

## 7. - Execução do modelo

As simulações de incêndio realizaram-se em 3 dimensões através do Pyrosim e do Pathfinder. Para chegar desde os elementos fornecidos até aos modelos 3D tiveram de se realizar vários passos com os programas referidos no capítulo 4.

### 7.1 - Modelo 2D Fornecido

O modelo 2D fornecido pela Clínica, consistia num ficheiro de formato DWG que continha o projeto de Arquitetura com plantas, cortes e alçados. Nesses elementos foi possível perceber também todos os revestimentos e vãos existentes no edifício (foram validados em visita às instalações). Foi então exportado o ficheiro para ser aberto pelo programa REVIT.

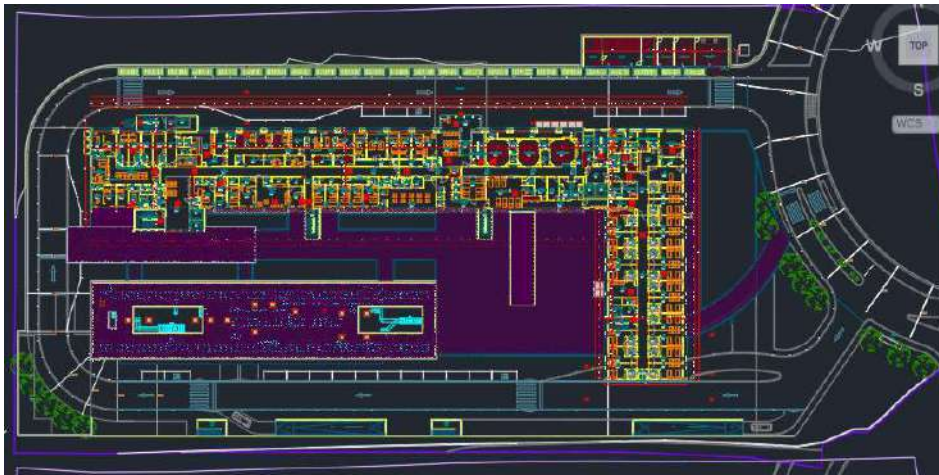


Figura 7.1 - Planta Piso 1 – Exemplo dos elementos recebidos



Figura 7.2 - Planta Piso 1 com indicação de revestimentos – Exemplo dos elementos recebidos

## 7.2 - Modelação 3D

Com os elementos 2D e após importado o ficheiro associando cada planta de piso ao piso real de 3D. Foram criados os pisos do edifício, indicando as cotas de cada um. A cada piso foi então associada a “máscara” do piso importadas do ficheiro cad. Seguidamente iniciaram-se as representações das paredes exteriores, paredes interiores, colocação de vãos de portas e janelas, representação de tetos falsos, assentamentos de lambrins e pavimentos em vinil e por último a colocação de mobiliário correspondente aos cenários a simular. Como referido no capítulo 4 foram estas as famílias de elementos construtivos do modelo.

Obteve-se um modelo 3D representativo do edifício real e apto a ser utilizado como base para a simulação de incêndio e evacuação. Foi exportado para um ficheiro IFC.

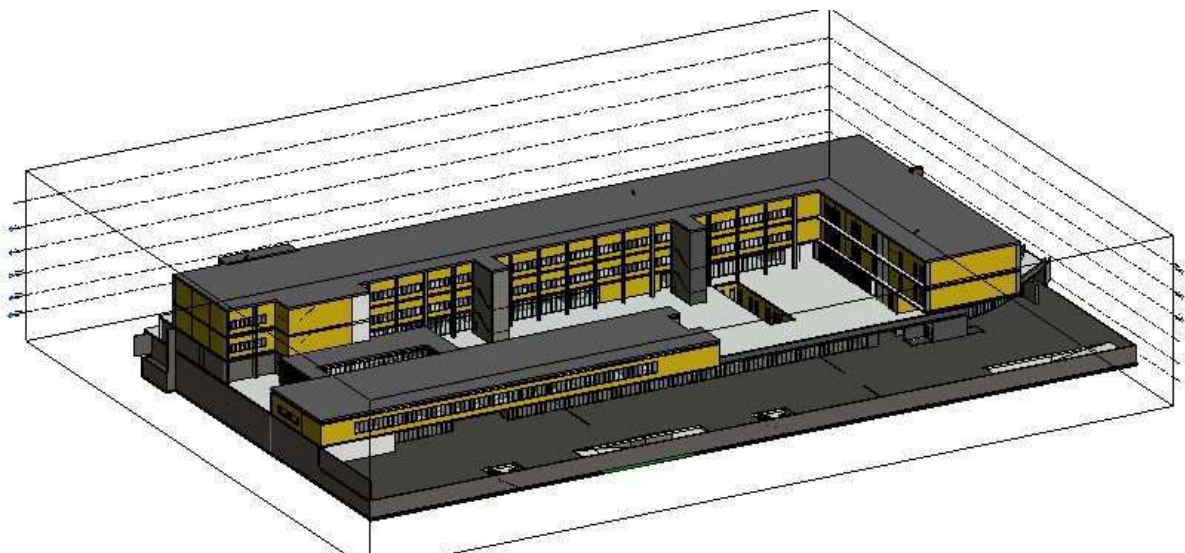


Figura 7.3 - Clínica - Modelo 3D Revit - Poente / Sul

## 7.3 - Modelo 3D para simulação de incêndio - Interface Pyrosim

Com o ficheiro IFC procedeu-se à importação deste para o programa Pyrosim. Iniciou-se a atribuição de cada nível (piso) e a parametrização/caracterização de todas as famílias (paredes, tetos e pisos, bem como o mobiliário). Este passo possibilita a simulação de incêndio em qualquer local do modelo pois foram associados materiais às superfícies do modelo. A parte da parametrização é crítica, pois é nesta fase que são caracterizados os elementos constituintes do modelo e definida a zona de cálculo. Esta parametrização influencia o comportamento do fogo e a propagação de fumos.

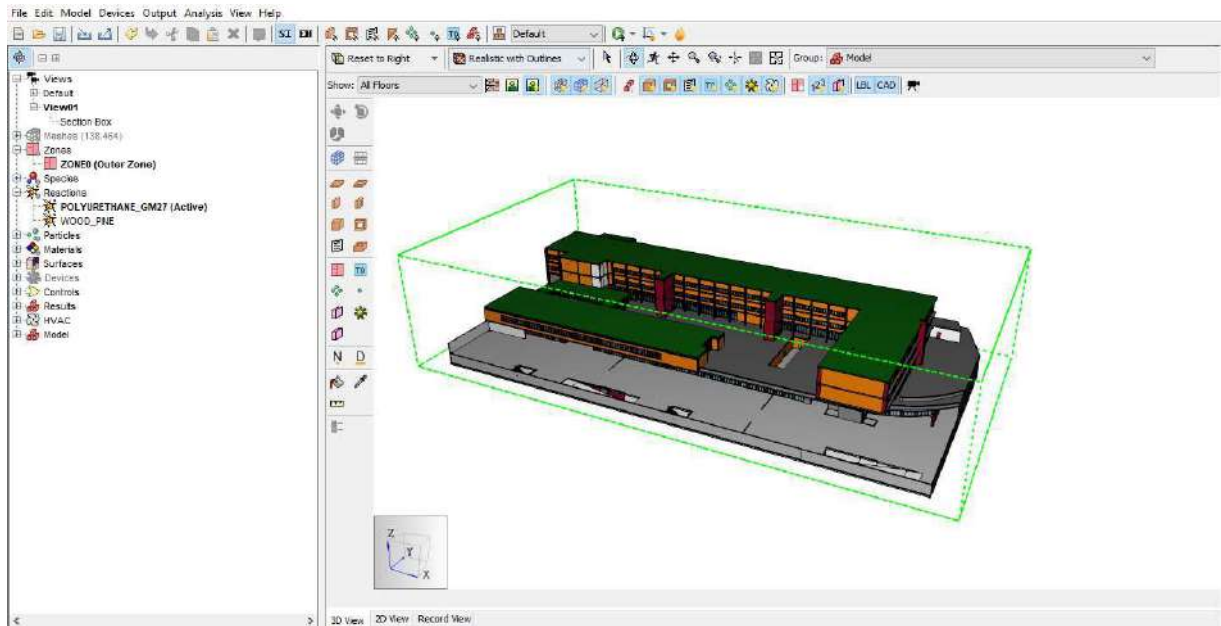


Figura 7. 4 - Imagem do interface Pyrosim com modelo importado de Revit

### 7.3.1 - Materiais

Para além de se utilizar a biblioteca dos materiais do próprio Pyrosim instalado na máquina também se recorreu à biblioteca disponível nas várias simulações da Thunderhead Engineering \*

\*- (<https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pyrosim/>)

## Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

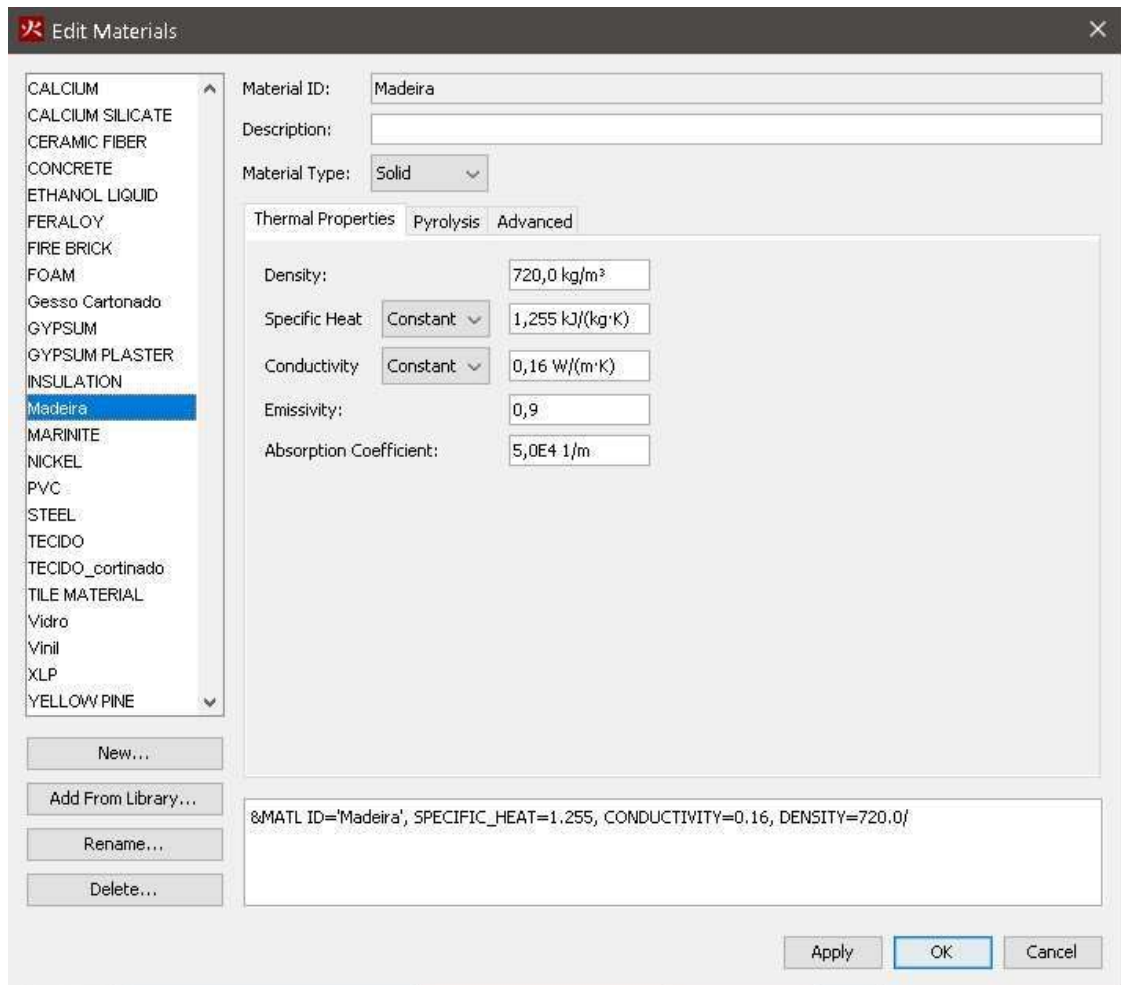


Figura 7.5 – Ferramenta de Parametrização de Material - "Madeira"

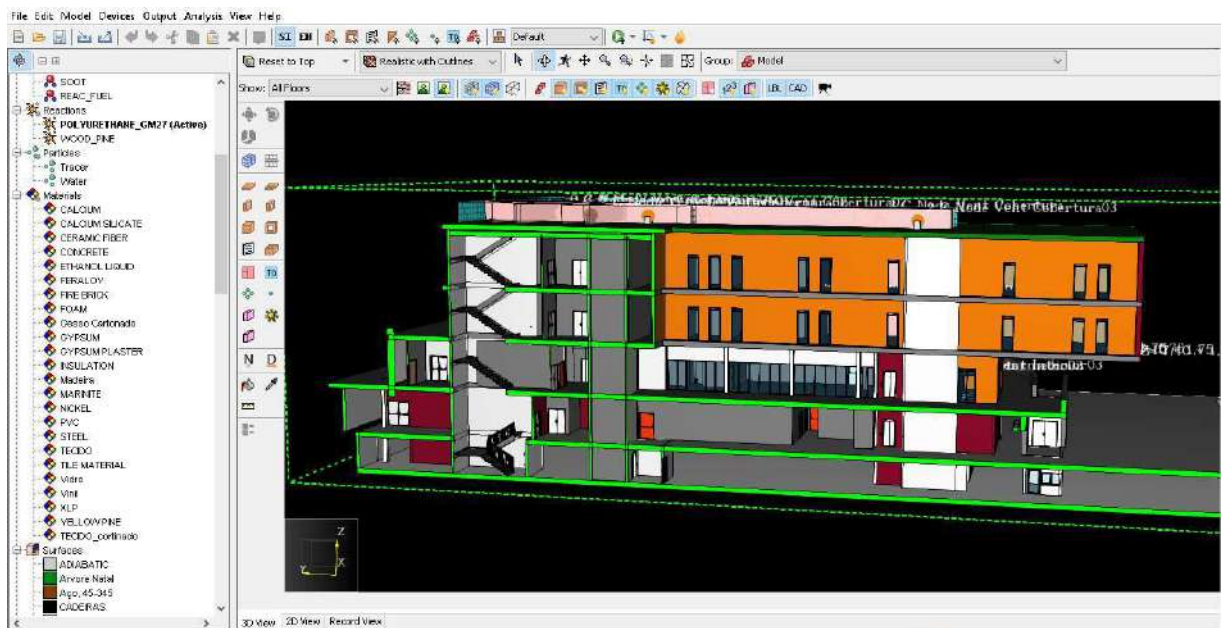


Figura 7.6 – Separadores de Materiais e Superfícies

### 7.3.2 - Superfícies

Como se percebe é no separador superfície que parametrizamos as superfícies existentes no modelo para depois associarmos a cada família de objetos. Aqui se percebeu a diferença entre cada uma delas e assim o comportamento previsível face ao fogo.

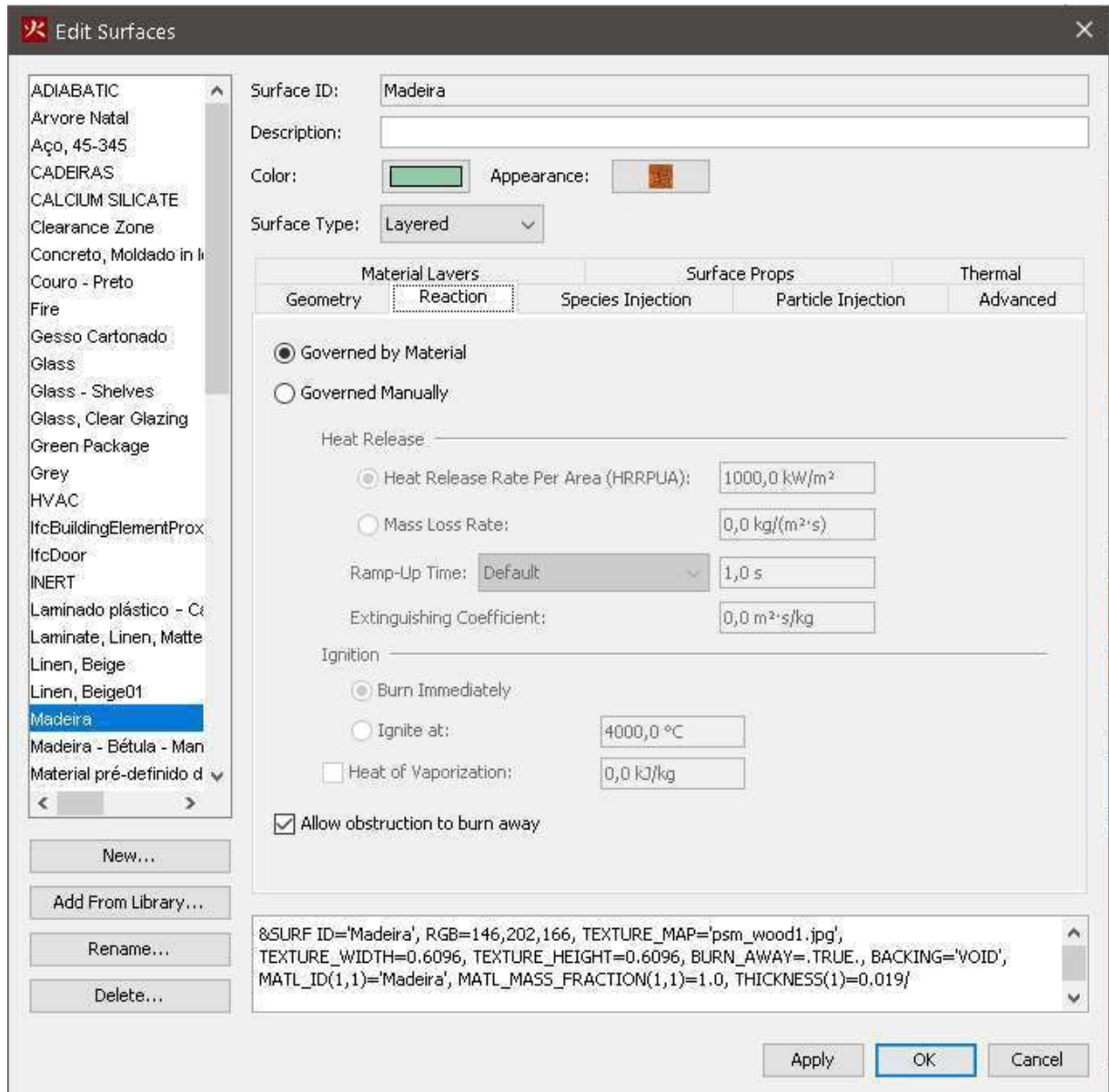


Figura 7. 7 – Parametrização da Superfície "Madeira"

### 7.3.3 - Mesh - Malha de Volumes Finitos - Definição da malha de cálculo

Toda a simulação acontece no interior das malhas, é no interior destas que se define o volume a ser analisado pelo programa, bem como as células que as constituem. É por isso muito importante perceber a dimensão e/ou geometria da malha para o que se pretende simular e garantir que estas envolvem todo o volume em estudo. Foram tidas em conta as recomendações do Manual Fire Dynamics Simulator - Technical Reference Guide - Volume 4: Software Quality Assurance. É nas malhas que é realizado o cálculo das equações da mecânica dos fluídos (NIST, 2010).

### 7.3.3.1 - Dimensão das malhas

Dadas as limitações dos recursos dos sistemas informáticos, importa perceber o que pretendemos e como pretendemos calcular encontrando uma solução equilibrada entre performance e rigor do cálculo / simulação.

Malhas maiores ou com mais células do que necessário exigem mais da máquina e tornam o cálculo demorado, mas com mais informação e detalhe, já o contrário, malhas menores e com menor número de células tornam o cálculo mais rápido, mas com menos informação e detalhe. De acordo com Korhonen & Hostikka (2009), células com valores de 25 cm de tamanho ou mais são suficientemente precisos para analisar o comportamento do fumo de incêndio em grandes volumes. Células de tamanhos inferiores a 15 cm provocam cálculos mais complexos pelo que são recomendados em estudos e análises de incêndio e de fumo em volumes reduzidos. Quanto maiores as malhas, mais células haverá para calcular e por isso mais demorados serão os cálculos (NIST, 2010).

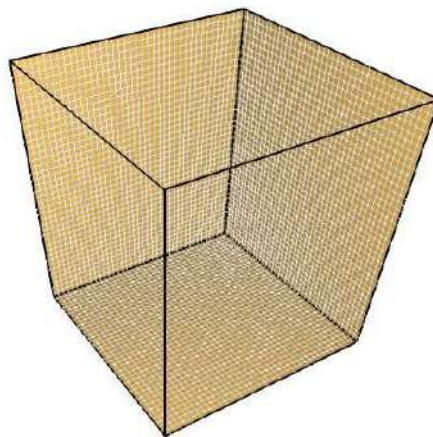


Figura 7. 8 – Malha 10 x 10 x 10 com células com 0,25 m<sup>3</sup> - 64.000 células

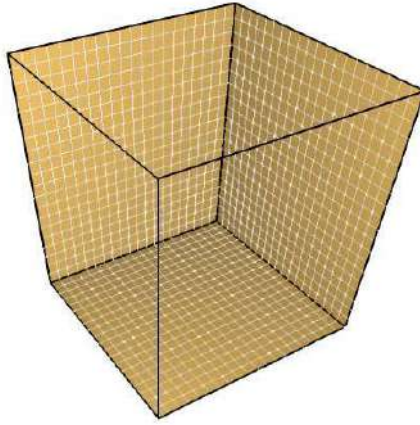


Figura 7. 9 - Malha 10 x 10 x 10 com células com 0,50 m<sup>3</sup> - 8.000 células

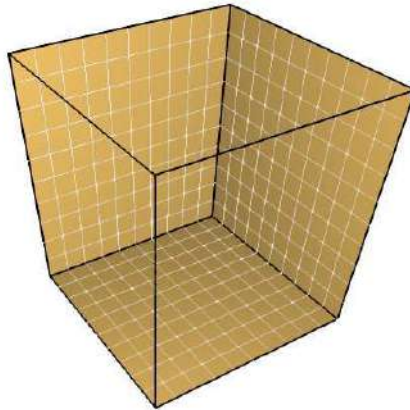


Figura 7. 10 - Malha 10 x 10 x 10 com células com 1 m<sup>3</sup> - 1.000 células

DIM CELULA	MALHA 10 X 10 X 10 (m <sup>3</sup> )		
	0,25 (m)	0,50 (m)	1,00 (m)
X	40	20	10
Y	40	20	10
Z	40	20	10
Numero de Celulas	64 000	8 000	1 000

Quadro 7. 1 - Número de células na malha em função do tamanho das células

### 7.3.3.2 - Geometria de malha múltipla

## Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

O volume total da malha de cálculo não necessita de ser obrigatoriamente um sólido regular já as submalhas sim, deverão ser. As malhas nada mais são do que a soma das submalhas. Pode-se adaptar o estudo às zonas em causa.

Na imagem abaixo adapta-se a forma total às zonas a estudar.

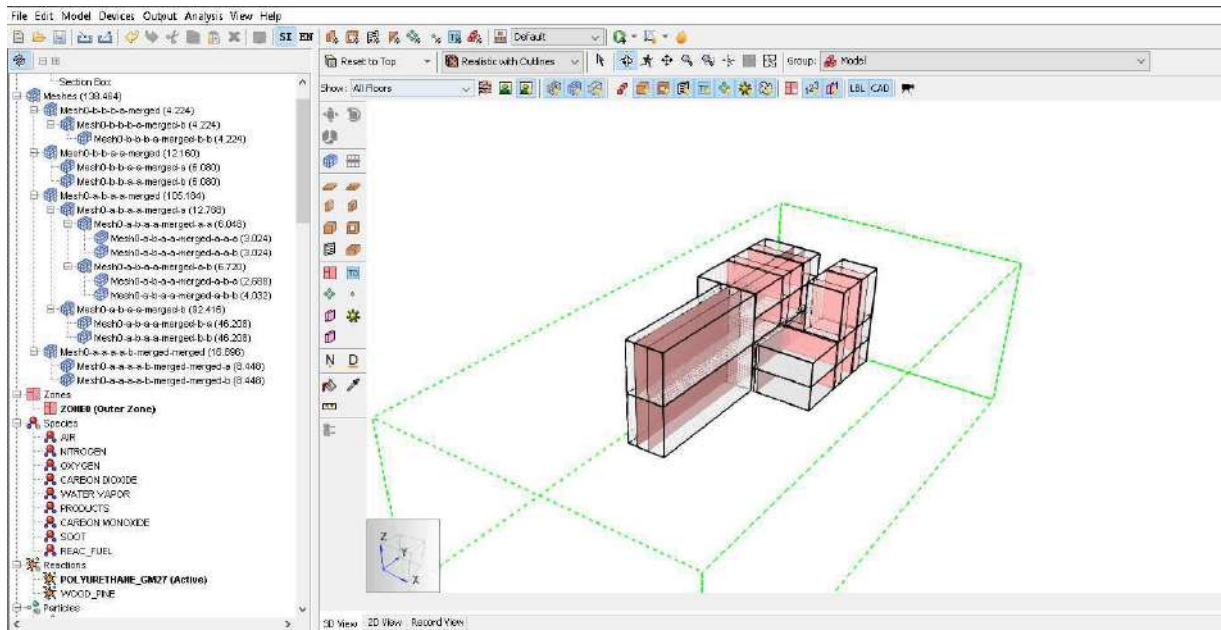


Figura 7. 11 - Uma malha constituída por 11 submalhas com células de 0,50m  
(Cenário A do estudo)

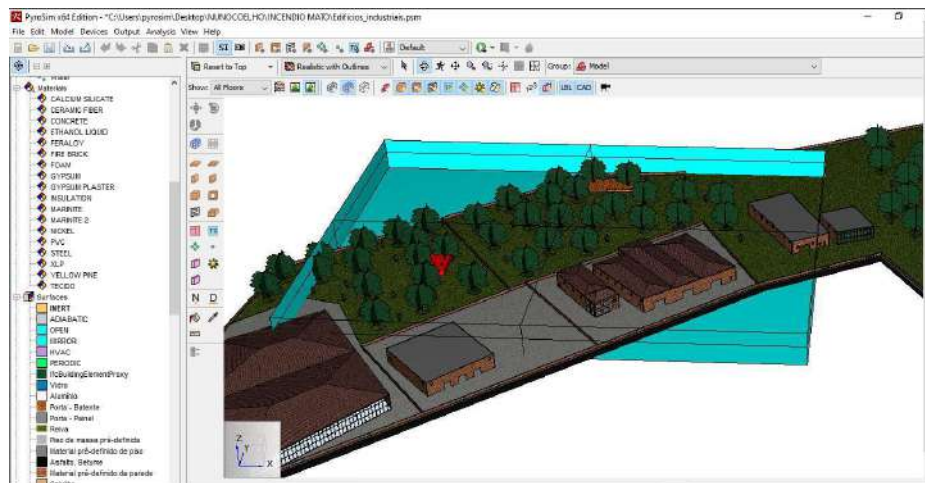


Figura 7. 12 - Uma malha com 4 submalhas com células de 1,00m  
Cenário de simulação de uma interface floresta / zona industrial em Vila Nova de Poiares



Figura 7. 13 – Desenvolvimento de incêndio

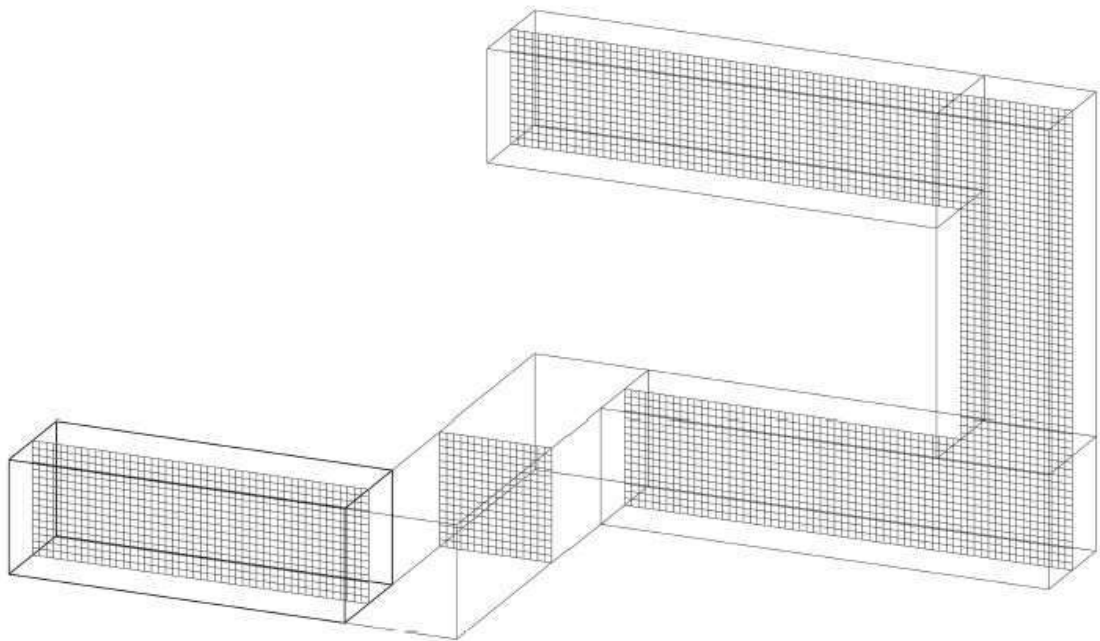


Figura 7. 14 - Exemplo de geometria de malha - FDS Users Guide

### 7.3.3.3 - Cálculo com malha múltipla – Alinhamento

Para o alinhamento das células, foram tidas em conta as recomendações do FDS Users GUIDE começando pela mais importante (NIST, 2010):

- As células adjacentes devem ter a mesma área de seção transversal;
- Evitar colocar os limites de malhas onde se espera a ocorrência de eventos, em especial fogo;
- Não há vantagem em sobrepor malhas porque a informação de cada malha só é trocada no limite destas;
- Garantir que as obstruções planares são bem evidenciadas no interior das malhas, pois basta que estando a obstrução junto ao limite de uma malha, não sendo considerada, a malha não irá transmitir a informação dessa obstrução à malha adjacente;

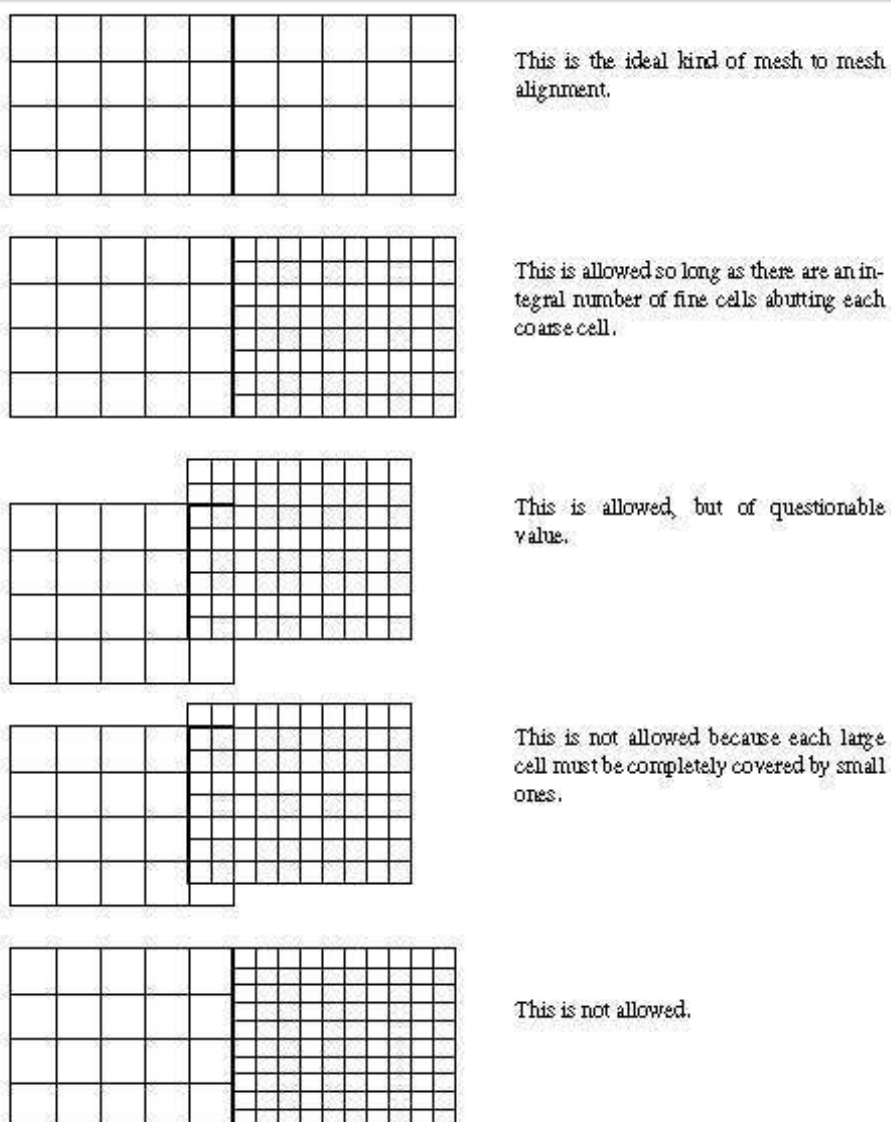


Figura 7. 15 – Recomendações para alinhamento de malhas (NIST, 2010)

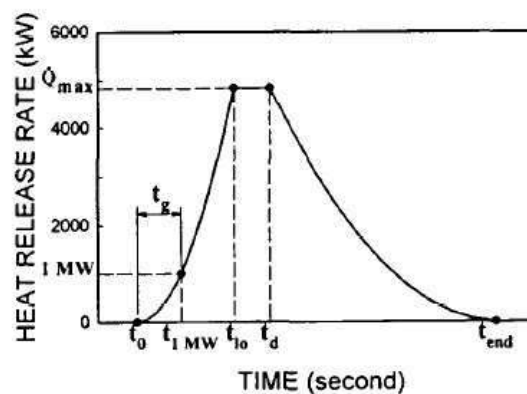
#### 7.3.3.4 - Resolução da malha

Ao dimensionar a malha a primeira questão que se coloca é qual a dimensão das células a considerar. O manual tem mesmo essa questão seguida de uma resposta. Geralmente deverá ser iniciado o estudo com uma malha relativamente grosseira podendo em seguida ir aprimorando o cálculo (reduzindo o tamanho e conseqüentemente aumentando o número de células da malha). Este procedimento deverá ser realizado até que não hajam diferenças significativas nos resultados (NIST, 2010).

### 7.3.4 - Superfícies e curvas de incêndio

#### 7.3.4.1 - Objetos presentes na simulação

A Taxa de Liberação de Calor (HRR) é a taxa de geração de calor pelo fogo. É normalmente medida em Joules por segundo ou Watts (mais usados megawatts ou quilowatts). HRR é o calor que está disponível em cada metro quadrado de superfície absorvendo calor dentro de uma superfície particular. As taxas de liberação de calor de itens típicos em incêndios são necessárias para estimar o crescimento do fogo e temperaturas em incêndios. Normalmente, a taxa de liberação de calor (energia térmica em evolução por unidade de tempo) de um incêndio  $Q$  (kW) muda conforme o tamanho do incêndio muda, em função do tempo  $t$  (segundos) após a ignição do fogo. Ou seja, a variação de “ $Q$ ” versus “ $t$ ” é extremamente importante na caracterização da taxa de crescimento de um incêndio (Heat Release Rates of Burning Items in Fires. AIAA 2000-0722, 2000)



Heat Release Rate vs. Time in  $t^2$ -fire Characterization.

Figura 7. 16 – HRR / Tempo em caracterização  $t^2$

Importa salientar que valores como a temperatura da camada de fumo, a altura da camada de fumo a partir do teto ao pavimento, a densidade ótica da camada de fumo e as temperaturas de pavimento, paredes e teto são calculados na simulação computacional e podem ser mais ou menos precisos em função da maior ou menor precisão dos parâmetros utilizados para a realização da simulação. Aliás todos os modelos podem ser sempre mais refinados, aproximando-se assim mais da realidade.

Para utilização de taxas de libertação de calor na simulação, recorreu-se a uma folha de calculo disponibilizada pela Thunderhead Engineering que se baseia na publicação (Estimating the fire behavior of wood flooring using a cone calorimeter. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 110,, 2011). Esta folha basicamente permite a transposição dos dados das curvas indicadas nesta publicação para o Pyrosim

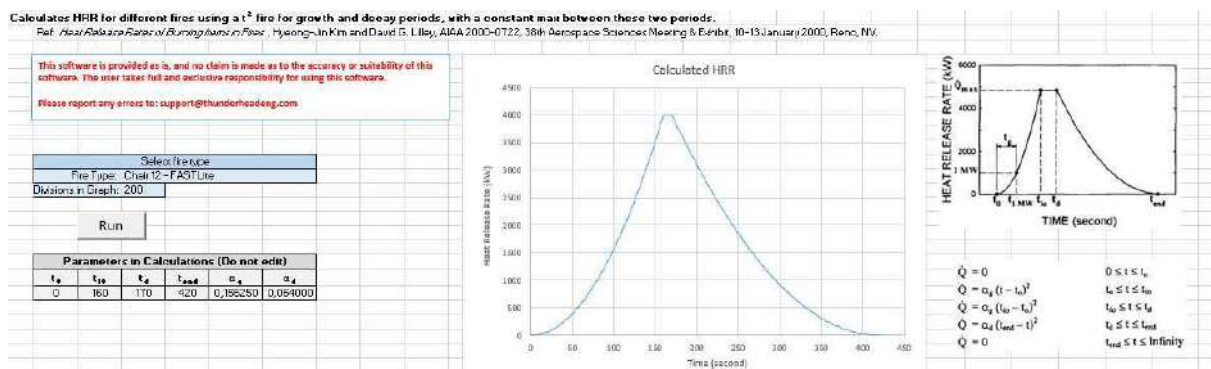


Figura 7. 17 – Escolha do tipo de incêndio

### 7.3.4.2 - Burner - Fonte de incêndio

As simulações realizadas tiveram obviamente de ter uma fonte onde o incêndio tem o seu início e se propaga. Regulamentarmente a taxa de libertação de calor em unidades hospitalares atinge até os 5 MW - de acordo com a norma EN 1991-1-2 Actions on structures exposed to fire.

De acordo com o quadro seguinte, foram considerados incêndios com ritmo de crescimento Médio e com uma Taxa de Libertação de Calor por unidade de superfície de 250 KW/m<sup>2</sup>.

Taxa máxima de libertação de calor por unidade de área $RHR_f$			
Ocupação	Taxa de crescimento de incêndio	$t_{\alpha}$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
Habitação	Média	300	250
Hospital (quarto)	Média	300	250
Hotel (quarto)	Média	300	250
Biblioteca	Rápida	150	500
Escritório	Média	300	250
Sala de aulas de uma escola	Média	300	250
Centro comercial	Rápida	150	250
Teatro (cinema)	Rápida	150	500
Transporte (espaço público)	Lenta	600	250

Figura 7. 18 – Taxa de Crescimento de incêndio e RHRf para diferentes tipos de ocupação (Eurocódigo1 , 2010)

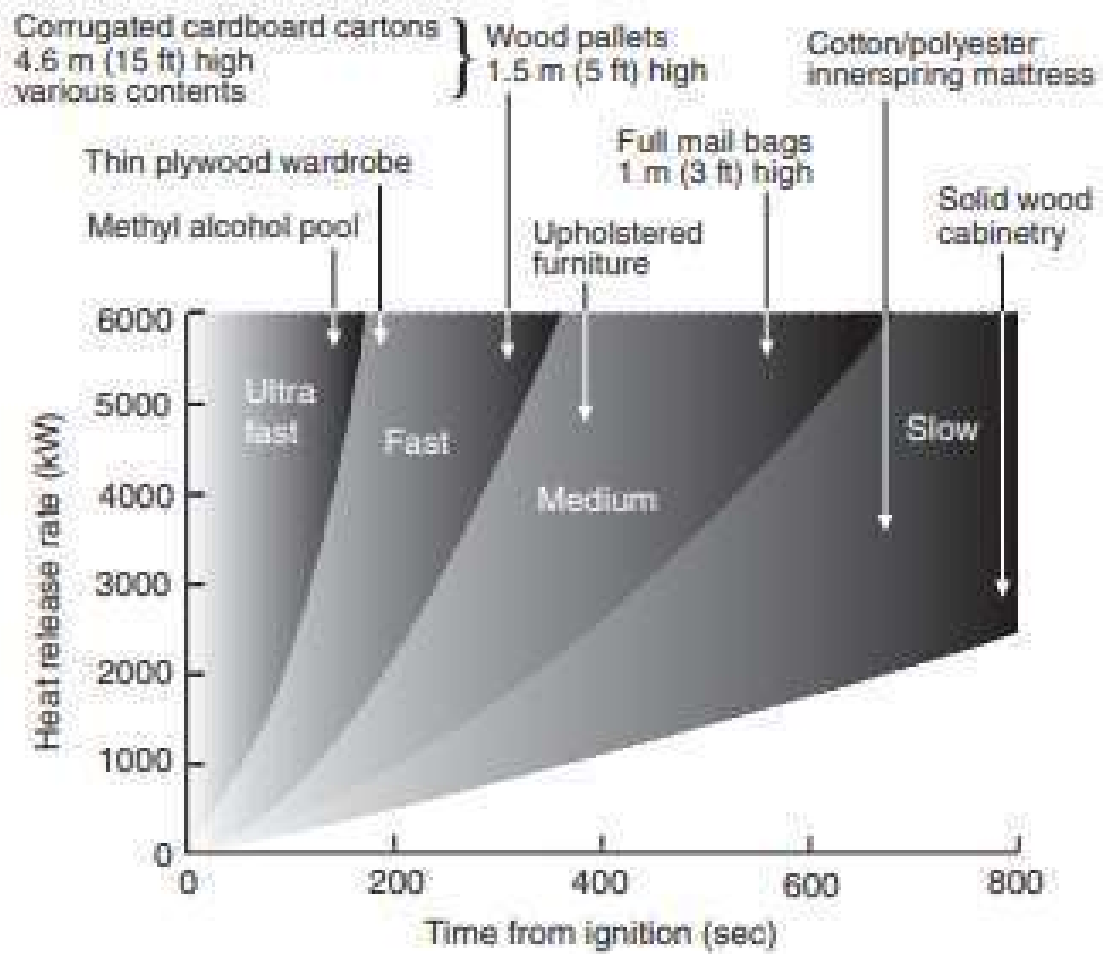
Relativamente ao valor da taxa de libertação de calor por unidade de área, baseou-se nos valores de referência de (Heat Release Rates of Burning Items in Fires. AIAA 2000-0722, 2000). Na tabela abaixo para além desses valores, também se observam os valores da carga de incêndio. Cada simulação deste trabalho teve o seu valor de "Q" conforme se poderá observar mais à frente.

**TABLE B. Heat Release Rate vs Time in t<sup>2</sup>-fire Characterization of HAZARD Data (Furniture Calorimeter)**

CCODE	DESCRIPTION	IGNITION SOURCE	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>end</sub>	Q <sub>max</sub>	t <sub>g</sub>	D <sub>g</sub>	Et <sub>g</sub>
Fg. B1.	Bed 1	BED001 Double bed,bedding,night table,plywood walls;test R1 (85-2998)	Wastebasket&trash,0.75 kg	169	211	230	230	936	2106.4	42	0.566893	0.0042330
Fg. B2.	Bed 2	BED002 Double bed,bedding,night table;plywood walls;test R5 (85-2998)	Wastebasket&trash,0.75 kg	164	239	360	430	998	6825.5	75	0.177778	0.0211680
Fg. B3.	Chair 1 (F21)	UPC001 Upholstered chair,F21,wood frame,pu foam-fr,olefin	Gas burner,50kw,200s	126	218	260	250	607	2121.5	92	0.118147	0.0176190
Fg. B4.	Chair 2 (F23)	UPC002 Chair,F23,wood frame,fr cotton batting,olefin test 24 (82-2604)	Gas burner,50kw,200s	0	538	450	450	1932	696.6	538	0.003455	0.0003190
Fg. B5.	Chair 3 (F25)	UPC003 Upholstered chair,F25,wood frame,pu foam,olefin, test 29	Gas burner,50kw,200sec	106	215	260	250	679	1996.1	109	0.064168	0.0113705
Fg. B6.	Chair 4 (F28)	UPC004 Uphols.chair F28,wood frame,pu/pe/ctrn bedding,cotton test 28	Gas burner,50kw,200sec	82	478	420	420	1184	726.5	395	0.006377	0.0012460
Fg. B7.	Chair 5 (F30)	UPC005 Uphols.chair F30,pu frame,pu foam,olefin test 30 (82-2604)	Gas burner,50kw,200sec	40	140	130	223	1017	810.0	100	0.100000	0.0014250
Fg. B8.	Chair 6	CHR001 Bean bag chair,vinyl/ps foam beacs,c05 nbs tn 1103	Newspaper,396g	88	748	545	718	1228	475.5	660	0.002296	0.0016430
Fg. B9.	Chair 7	CHR002 Chair,molded flexible pu frame,pu cover test 64 (83-2787)	Gas burner,50kw,200s	644	1662	1330	1330	2685	454.1	1018	0.000965	0.0002470
Fg. B10.	Chair 8	CHR003 Easy chair,molded ps foam frame,pu pad&cover,c07, test 48	Gas burner,50kw,200s	38	245	240	240	883	952.3	207	0.023338	0.0023000
Fg. B11.	Christmas Tree	CTR001 Christmas tree,spruce,dry, vit 285,no.17	200 ml isopropanol	290	327	320	350	478	657.4	37	0.700460	0.0401250
Fg. B12.	Cooking Oil	CKG001 Cooking Oil,Corn,Cottonseed,Etc In 12in Pan		0	15	5	1020	1000	111.1	15	4.444444	
Fg. B13.	Curtain	CJR001 Curtain,Cotton,0.31kg/M2, hem 9	5ml isopropanol	123	229	175	175	411	240.7	105	0.089000	0.0043210
Fg. B14.	Loveseat (F31)	UPS002 Loveseat,F31,wood frame,pu foam(fr),olefin test 37 (82-2604)	Gas burner,50kw,200s	71	165	229	249	701	2825.3	94	0.113173	0.0138250
Fg. B15.	Mattress 1	MAT001 Mattress,m05,pu foam,rayon ticking,beddng	Wastebasket,0.72kg cont	269	437	430	450	933	1577.4	168	0.035431	0.0076870
Fg. B16.	Mattress 2	MAT002 Mattress+boxspring(westchase hillon) tes; 67 (83-2787)	Cigarette lighter	144	858	606	950	2233	416.7	714	0.001962	0.0002650
Fg. B17.	Sofa (F32)	UPS001 Upholsteredsofa,F32,wood/frame,pu foam-fr,olefin test 38	Gas burner,50kw,200s	74	154	211	223	651	2932.7	80	0.156250	0.0216500
Fg. B18.	Trash Bags	TRB001 Trash bags (3),paper		0	100	58	111	517	336.4	100	0.100000	0.0020410
Fg. B19.	TV Set	TLV001 Television set,b/w,wood cabinet,exp.3	100ml isopropanol	304	984	670	670	1872	286.7	680	0.002163	0.0002010
Fg. B20.	Wardrobe	QLT001 Wardrobe closet,plywood,fr paint nbsir83-2787 test 42	Cardboard box/paper 0.9kg	70	113	170	170	358	5406.3	43	0.50833	0.1530200
Fg. B21.	Waste Basket	WPB001 Wastepaper basket,polyethylene,milk cartons,exp.7	10ml isopropanol	115	2034	350	350	1264	15.0	1919	0.000272	0.0000180

Figura 7. 19 – Valores de carga de incêndio

Também a rapidez como evolui o incêndio pode ser escolhida em função do tipo de material considerado. A evolução pode ser determinada de acordo com a tabela abaixo e seguindo a equação t-quadrado (Hurley, et al., 2003)



**FIGURE 3.7.2** Set of *t*-Squared Growth Curves

Figura 7. 20 – Evolução de incêndio

(Hurley, et al., 2003)

Cada curva da função depende do valor de  $\alpha$  assim, para cada evolução de incêndio há uma curva que representa a propagação desse mesmo incêndio.

Os valores considerados para cada cenário são os indicados na tabela abaixo. Há valores que se consideraram diferentes dos atrás indicados para ajustar à simulação, são, contudo, mais desfavoráveis não reduzindo por isso a severidade do incêndio.

CENÁRIO	HRRPUA EN 1991-1-2	HRRPUA Hietaniemi (2007)	HRRPUA CONSIDERADO (Kw/m2)	CRESCIMENTO CONSIDERADO	
A	300	250	250	0,047	RÁPIDO
A1	300	250	250	0,047	RÁPIDO
A2	300	250	250	0,047	RÁPIDO
A3	300	250	250	0,047	RÁPIDO
B	300	250	300	0,047	RÁPIDO

\* Neste trabalho foi considerado um crescimento rápido

Quadro 7. 2 – Taxas de libertação de calor consideradas para os vários cenários

### 7.3.5 - Dispositivos de Exclusão ou Inclusão de elementos

#### 7.3.5.1 - Dispositivos de exclusão - Vidros

Um vidro de uma janela tem uma temperatura limite, a partir da qual o mesmo parte. Esta situação é da maior importância, pois são os vidros que constituem uma barreira física entre o interior (pobre em oxigénio consumido no incêndio) e o exterior (rico em oxigénio). A rutura de um vidro diz-se frágil pois é caracterizada pela propagação rápida de trincas com uma deformação plástica nula no material adjacente à fratura.

O processo de propagação das trincas nos materiais frágeis é muito veloz, gerando situações catastróficas. Este tipo de comportamento é característico nos vidros, no qual uma pequena rutura "corre" pelo corpo inteiro do material. Esta rutura durante o incêndio provoca a "alimentação" do incêndio pelo ar exterior rico em oxigénio gerando o fenómeno flashover.

A temperatura utilizada para quebra de vidro foram 320° C. Esta temperatura foi a temperatura verificada na rutura de vidros em incêndio no estudo realizado por Experimental Observations and Modelling of Window Glass Breakage in Building Fires (He, et al., 1988)

Para excluirmos o vidro introduzimos um dispositivo termopar onde indicamos o que ativa, nesta situação é temperatura e posteriormente o valor da temperatura. Indicamos também se é acionado uma vez ou múltiplas vezes. Esse dispositivo deverá ser considerado no centro geométrico e interior do compartimento do vidro ou conjunto de vidros em estudo.

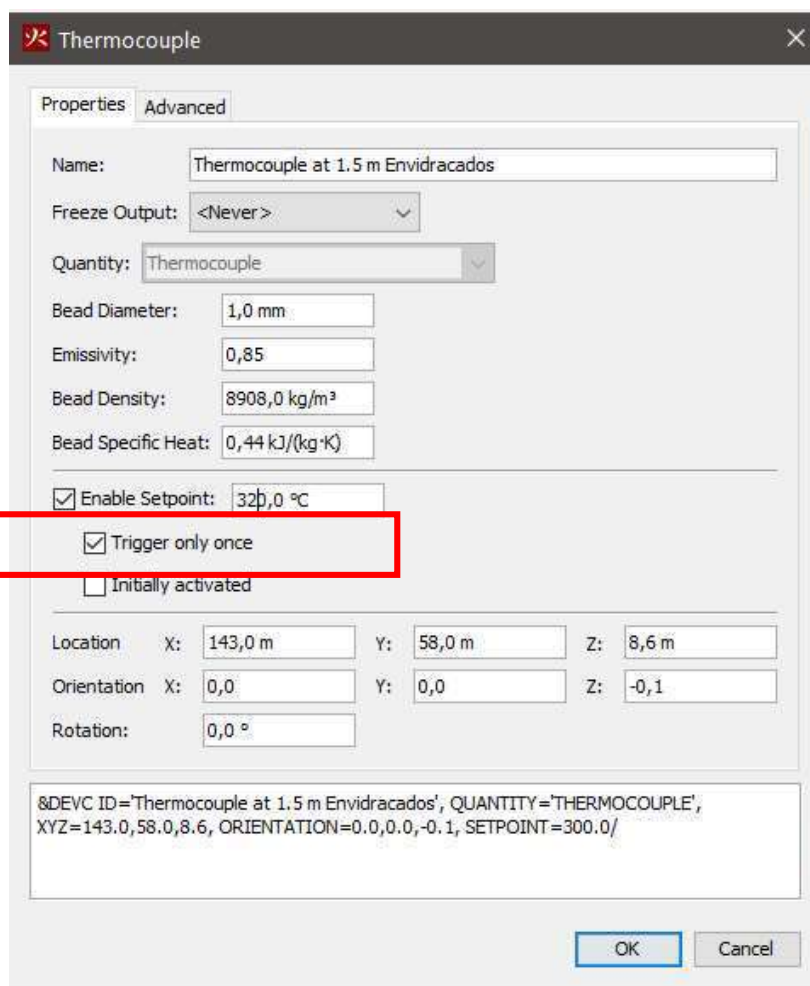


Figura 7. 21 - Menu de parametrização do termopar dos Envidracados - Temperatura a 320°C

De seguida é importante indicar o controlo que vai desativar o vidro (ou vidros) quando o dispositivo indicado atrás atingir a temperatura de referência.

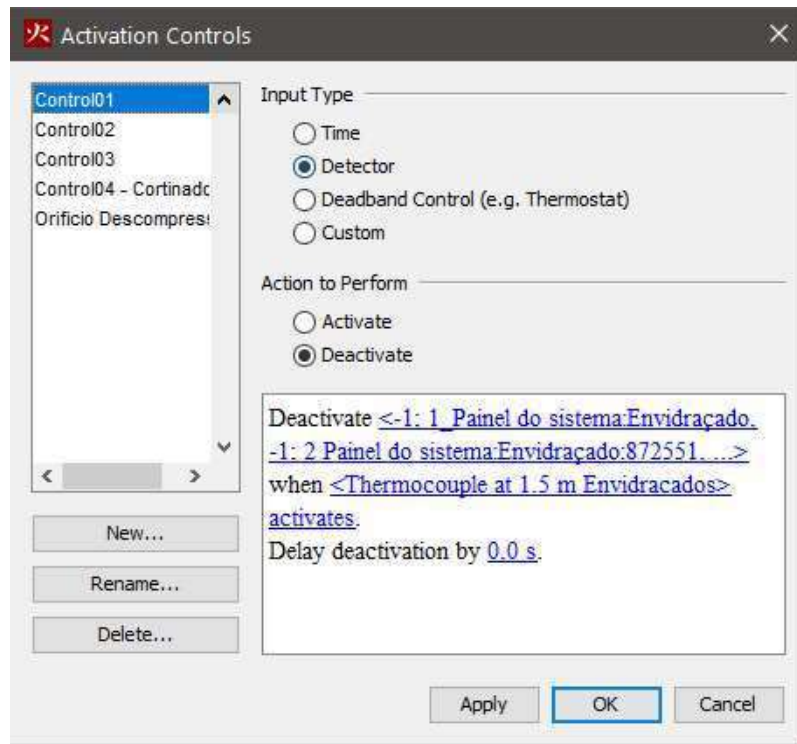


Figura 7. 22 - Dispositivo de exclusão - Painel do Sistema Envidraçado desativa quando termopar ativa (atinge 320°C)

### 7.3.5.2 - Dispositivos de inclusão - Portas corta-fogo

Com os vidros simula-se a sua quebra através da sua desativação. Quanto às portas corta-fogo, estas são também úteis, pois, o seu estado poderá ser o de portas abertas (desativadas), sendo fechadas (ativadas) através da central de deteção de incêndios. Assim o estado normal destas é desativado e passa a ativado quando o controlo de ativação cumpre a condição (de temperatura ou de tempo de simulação) e o controlo dá indicação de ativação.

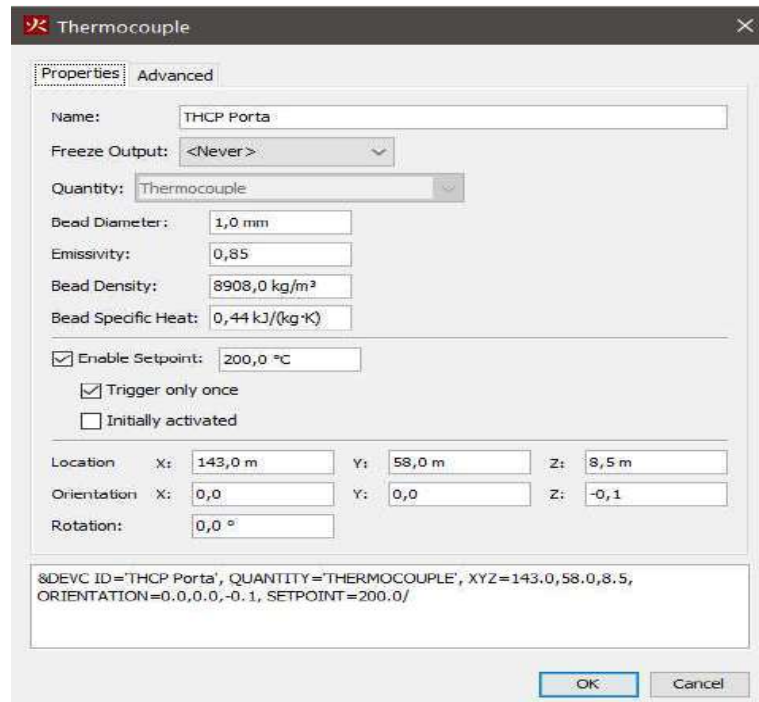


Figura 7. 23 - Menu de parametrização do termopar das Portas Corta Fogo - Temperatura a 200°C

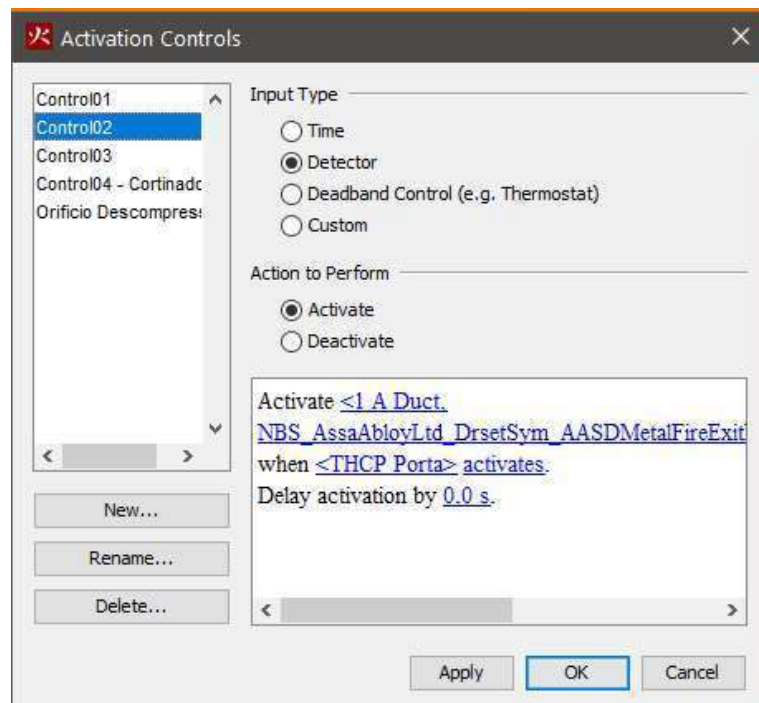


Figura 7. 24 - Dispositivo de Inclusão - Porta Corta Fogo ativa quando termopar ativa (atinge 200°C)



Figura 7. 25 - Termopares dos envidraçados e das portas corta-fogo - Vista exterior

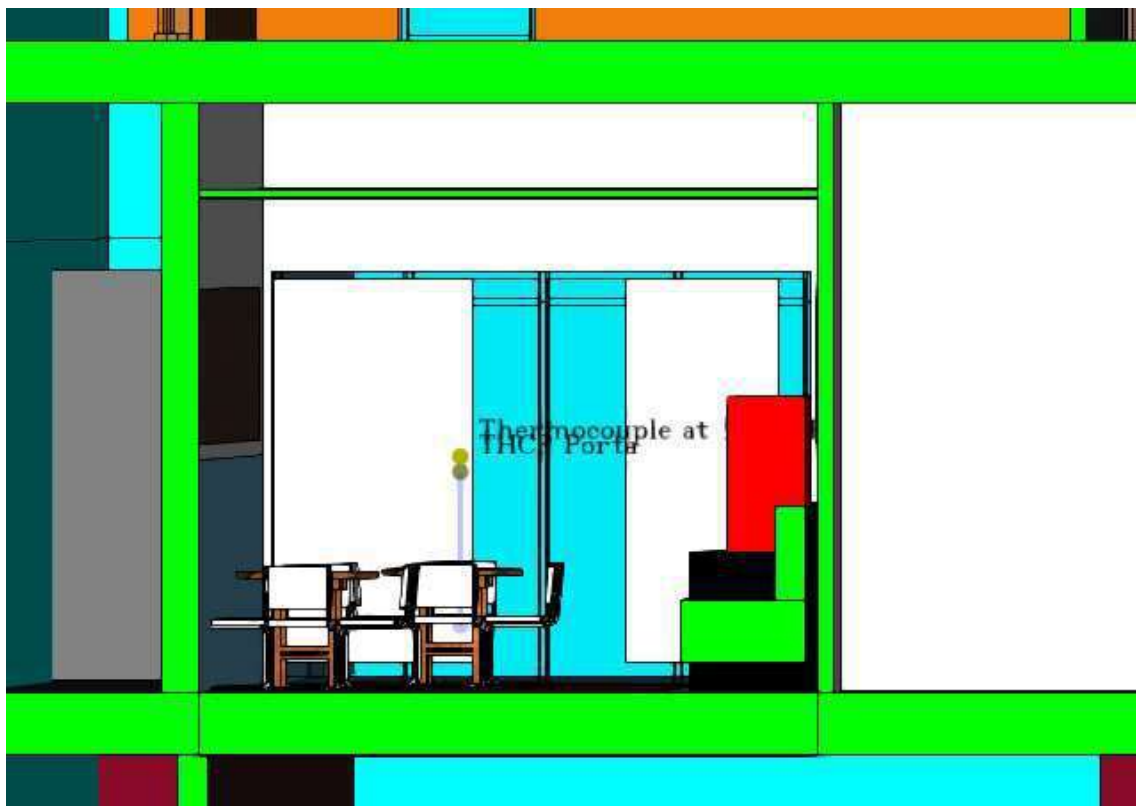


Figura 7. 26 - Termopares dos envidraçados e das portas corta-fogo - Vista interior

### 7.3.6 - Sensores de visibilidade

Os sensores de visibilidade são úteis, pois como o nome dá a entender, medem a visibilidade. São colocados nas rotas de evacuação, pois o fumo nos caminhos de evacuação reduz a visibilidade e conseqüentemente reduz a velocidade de evacuação dos ocupantes do edifício. Na imagem abaixo vê-se os sensores no corredor do piso. Os valores de visibilidade ao longo do tempo são exportados para o Pathfinder que os terá em conta na taxa de redução de velocidade dos ocupantes (menor visibilidade => menor velocidade). Esses sensores estão à altura de 1,75 m do piso.

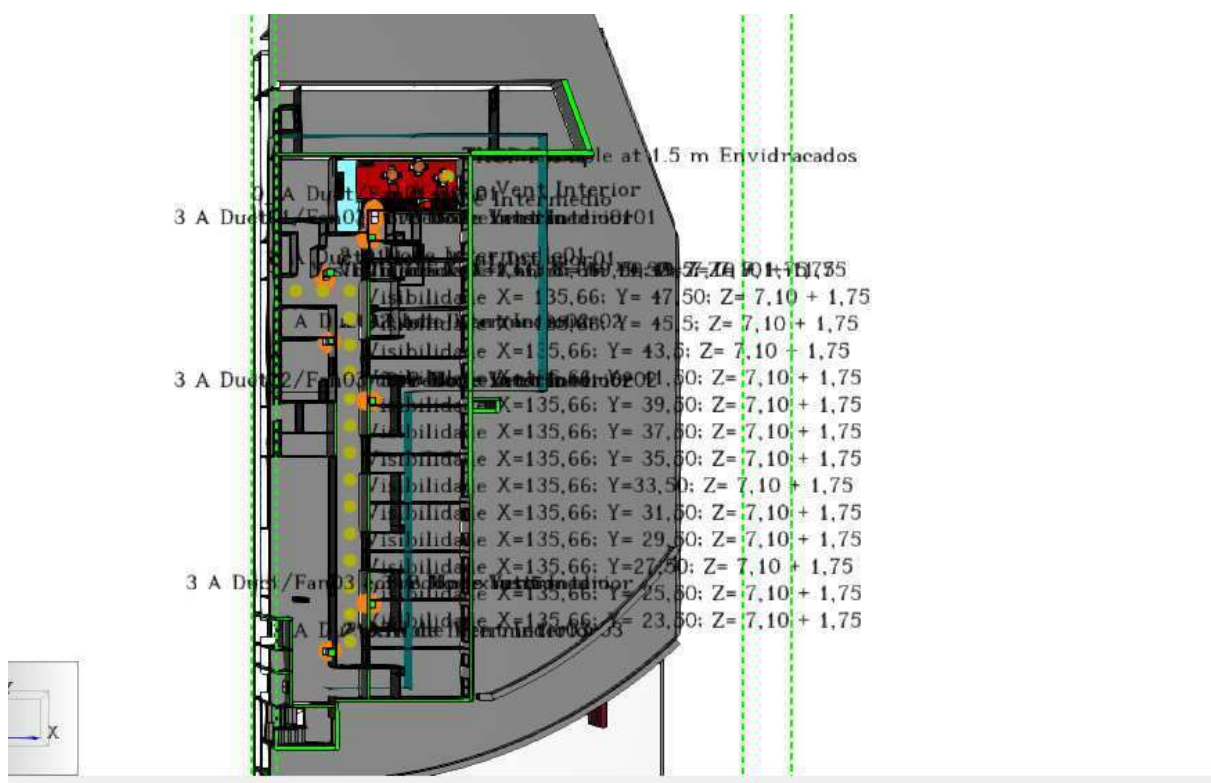


Figura 7. 27 – Sensores de visibilidade cenário A

### 7.3.7 - Slices (cortes) Temperatura - Visibilidade

As Slices ou cortes são planos verticais ou horizontais que nos dão informação sobre a evolução de temperaturas, visibilidade, velocidade do ar, taxa de libertação de calor, ou outros parâmetros que queiramos estudar.

Neste trabalho interessou estudar a temperatura e a visibilidade, pelo que foram introduzidos esses planos de forma a termos informação sobre o desenvolvimento desses parâmetros.

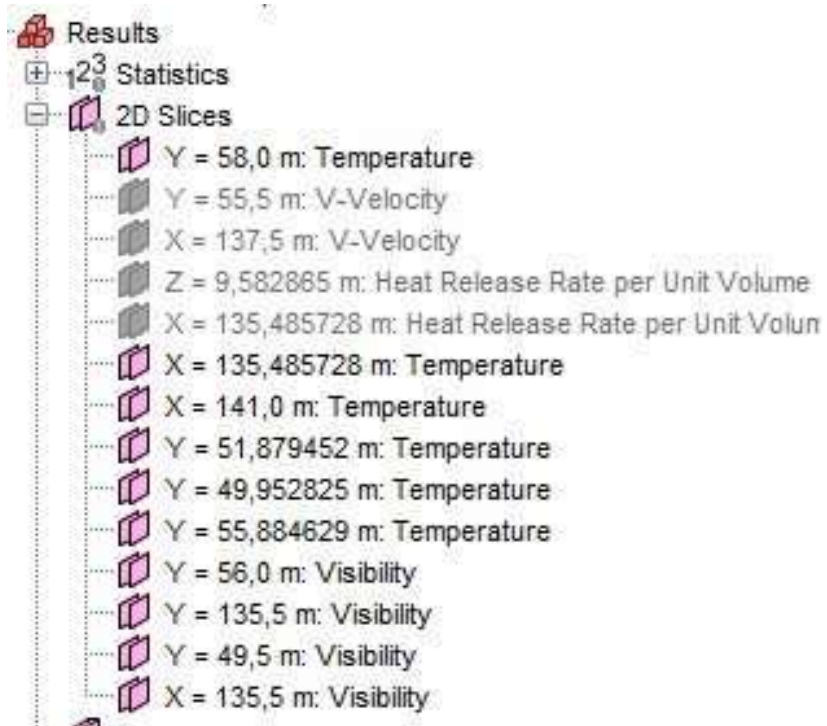


Figura 7. 28 – Menu com slices de Temperatura e Visibilidade (desligados estão também de velocidade e HRR)

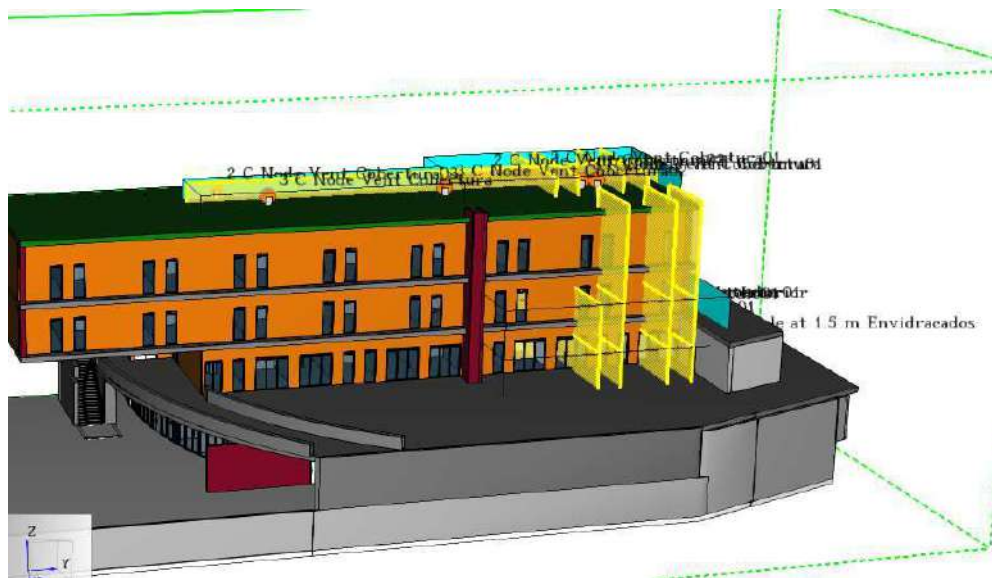


Figura 7. 29 – Slices temperatura no interface Pyrosim



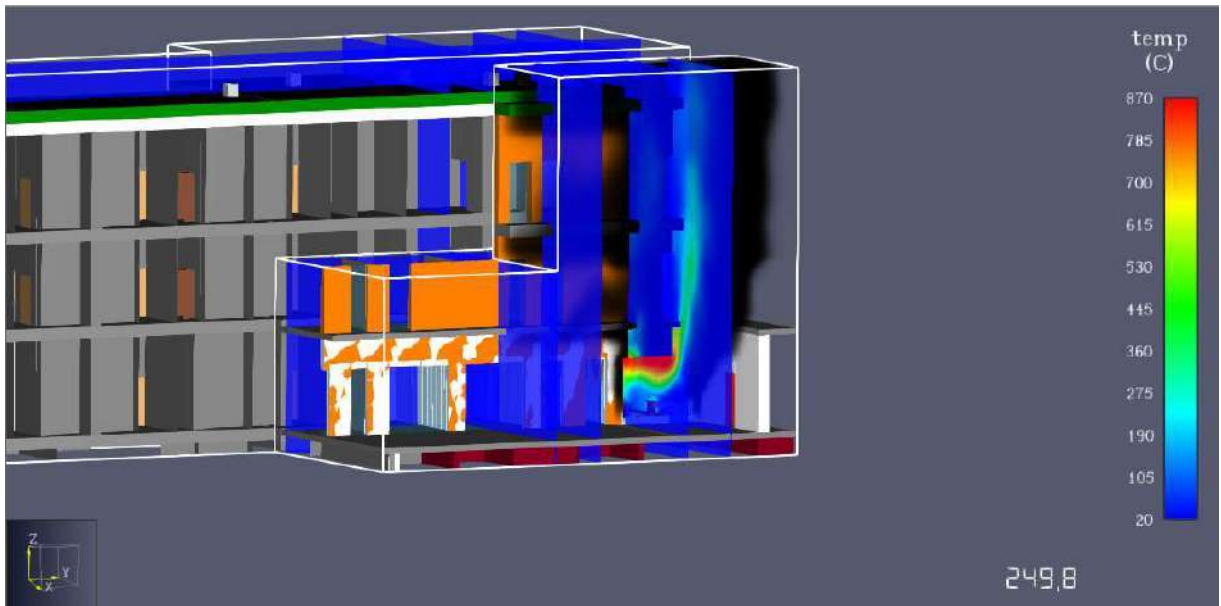


Figura 7. 32 – Slices visibilidade Smokeview ao segundo 249,8 da simulação de incêndio da sala de espera do piso 0

## 7.4 - Modelo 3D para simulação de evacuação - Interface Pyrosim

### 7.4.1 - Interface Pathfinder

Relativamente à geometria do modelo, importa-se para o Pathfinder o ficheiro anteriormente exportado pelo Pyrosim.

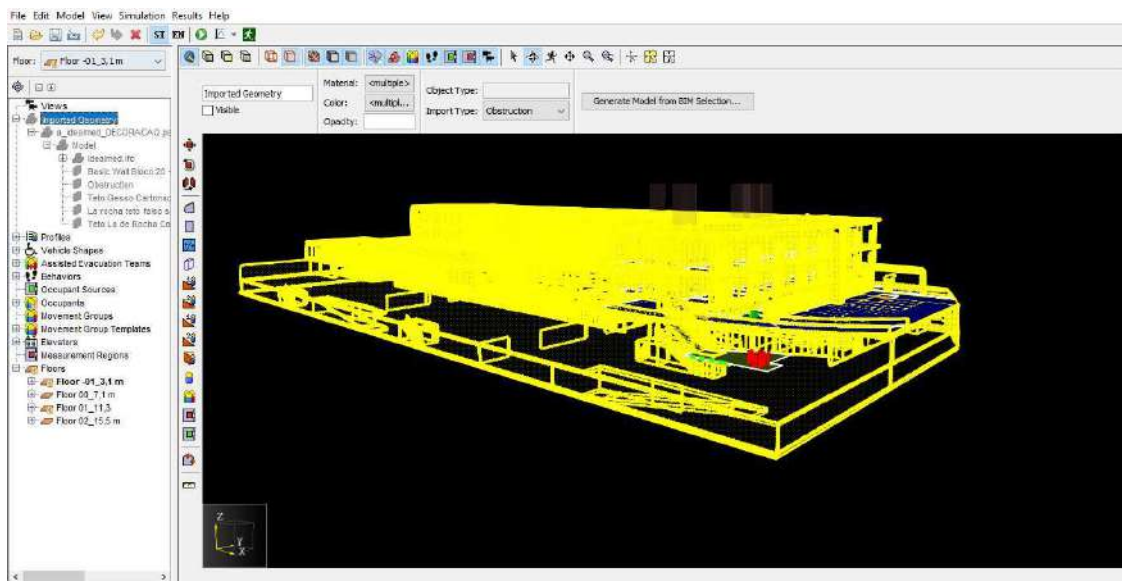


Figura 7. 33 – Imagem do interface Pathfinder com modelo importado de Pyrosim

Também é importante que nos parâmetros da simulação se indique qual o ficheiro de resultados do Pyrosim a considerar. É esse ficheiro que contém os dados relativos à simulação de incêndio que o Pathfinder vai considerar, não só em termos de visualização, mas também em termos de dados de entrada de visibilidade em cada sensor e a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. Estes fatores influenciam a taxa de redução de velocidade de fuga dos ocupantes. Considerou-se o valor de Hipoxia de 19,5% (ver Figura 3. 13 – Efeitos da Hipoxia no corpo Humano)

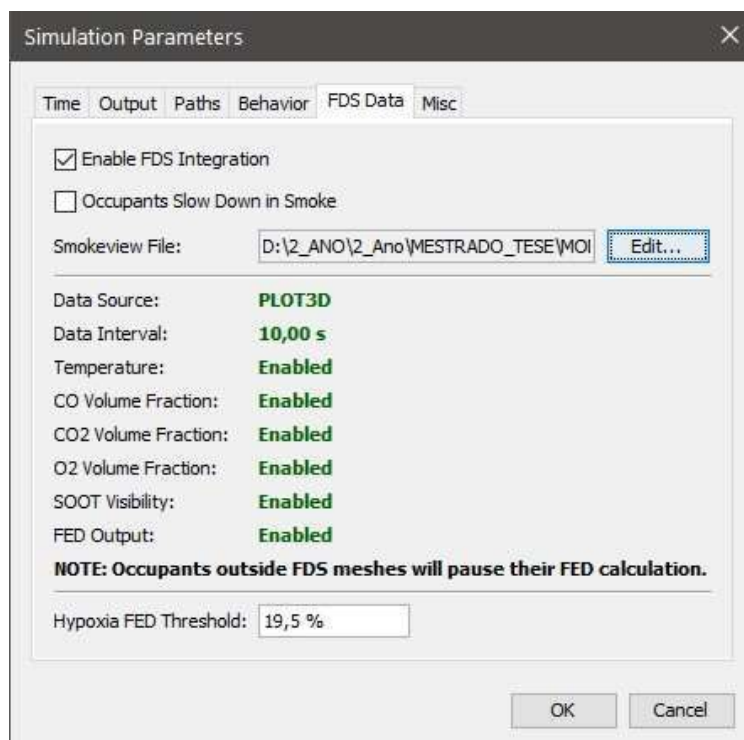


Figura 7. 34 – Dados importados da simulação de incêndio para a simulação de evacuação

#### 7.4.2 - Realização do modelo

À semelhança do modelo para a simulação de incêndio, é necessário associar cada piso do modelo agora ao modelo Pathfinder. Após isso é iniciada a representação de cada room (compartimento). Os compartimentos possuem ligações que são consideradas portas de passagem na cor castanho-claro, ou no caso de ser uma saída na cor verde (é nestas portas que se considera que os ocupantes saem do modelo).

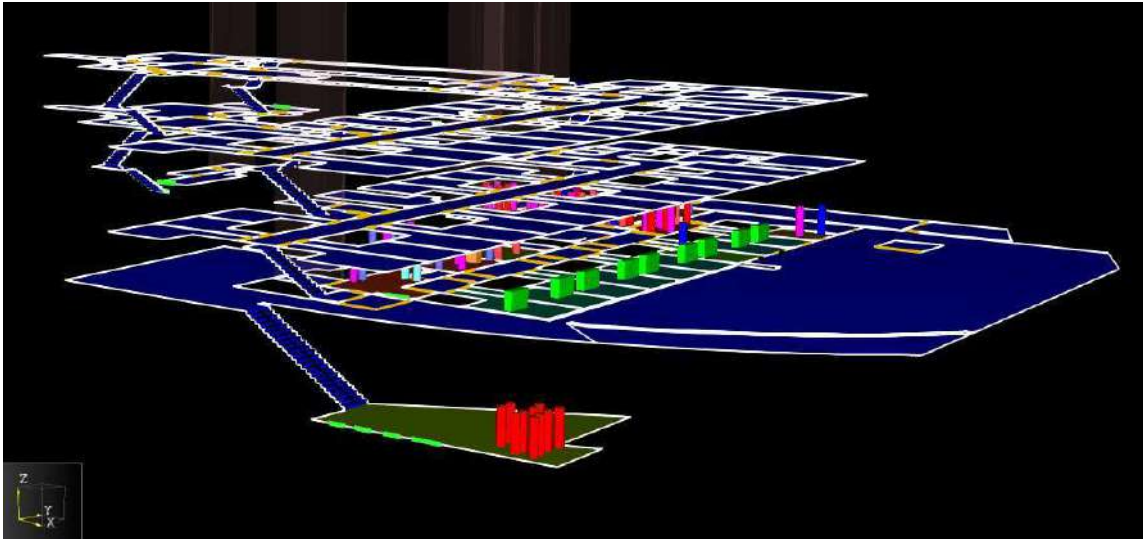


Figura 7. 35 – Pisos -1; R/C; 1 e 2

(também é possível verificar os ocupantes acamados e em pé)

### 7.4.3 - Perfis - Profiles

No menu Perfis, criamos os perfis de cada pessoa (noutras situações poderíamos criar até de não humanos), onde parametrizamos: Características, Tipo de Movimento, escolha de portas, e outras opções relacionadas com o movimento (como velocidade, reação após colisão entre outros).

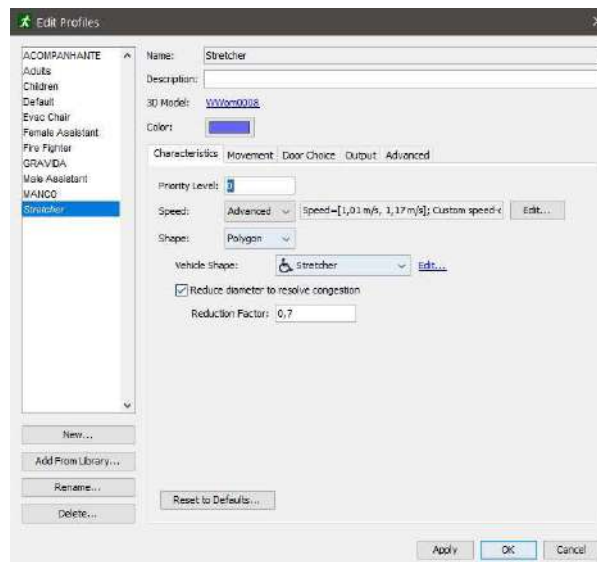


Figura 7. 36 – Edição de Perfil

Os tempos de preparação dos pacientes e as velocidades de macas, cadeiras de rodas, foram baseados no quadro abaixo.

	Stretcher	Evac Chair	Carry Chair	Rescue Sheet
<p>1.09 m/s ← (average) (0.99-1.23) ← (range)</p> <p>← minimum number physically required</p>				
<p>Preparation Time</p>	<p>68 secs (63-74)</p>	<p>29 secs (24-32)</p>	<p>35 secs (32-40)</p>	<p>53 secs (46-60)</p>
<p>Horizontal Speed</p>	<p>1.09 m/s (0.99-1.23)</p>	<p>1.55 m/s (1.51-1.65)</p>	<p>1.54 m/s (1.44-1.75)</p>	<p>1.16 m/s (1.08-1.23)</p>
<p>Stair Descent Speed</p>	<p>0.63 m/s (0.59-0.66)</p>	<p>0.83 m/s (0.78-0.88)</p>	<p>0.50 m/s (0.40-0.61)</p>	<p>0.82 m/s (0.78-0.85)</p>
	<p>0.44 m/s (0.40-0.48)</p>	<p>0.82 m/s (0.79-0.85)</p>	<p>0.66 m/s (0.58-0.74)</p>	<p>0.52 m/s (0.50-0.55)</p>

Figura 7.37 – Tempos de preparação e velocidades (Hunt, et al., 2013)

#### 7.4.4- Forma de Veículos - Vehicle Shapes

Veículos, são todos os objetos móveis não humanos como por exemplo: camas ou cadeiras de rodas. Claro que a cada uma destas situações está associada uma pessoa (ocupante). Para a criação da forma de veículos.

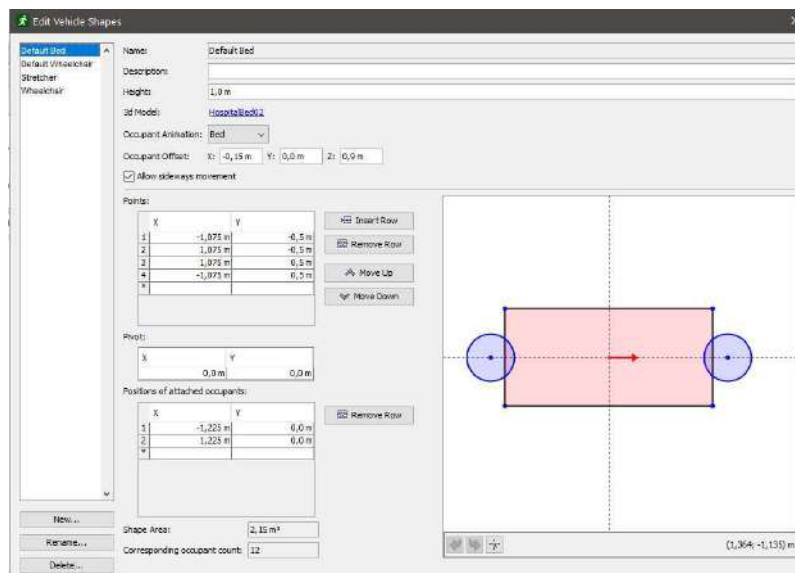


Figura 7.38 – Edição – configuração de macas

#### 7.4.5 - Equipas de Evacuação Assistida - Assisted Evacuation Team

As equipas de evacuação assistidas são parametrizadas no menu - Assisted Evacuation Team. Aqui criamos as equipas e indicamos quem vais assistir e quem vai ser assistido. É, portanto, o elemento que faz a ligação entre assistentes e assistidos.

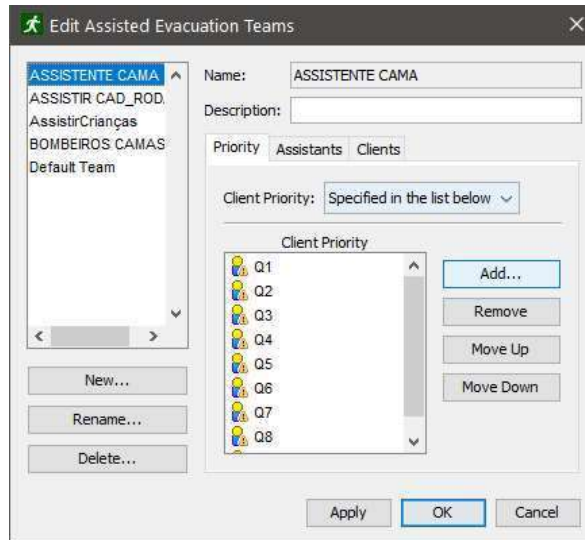


Figura 7. 39 – Edição Equipas de Evacuação

#### 7.4.6 - Comportamentos - Behaviours

Importa definir os comportamentos de cada ocupante. No menu behaviours seleccionamos um conjunto de comportamentos que um ocupante ou grupo de ocupantes terá. Será depois seleccionado no perfil de cada um ou de cada grupo.

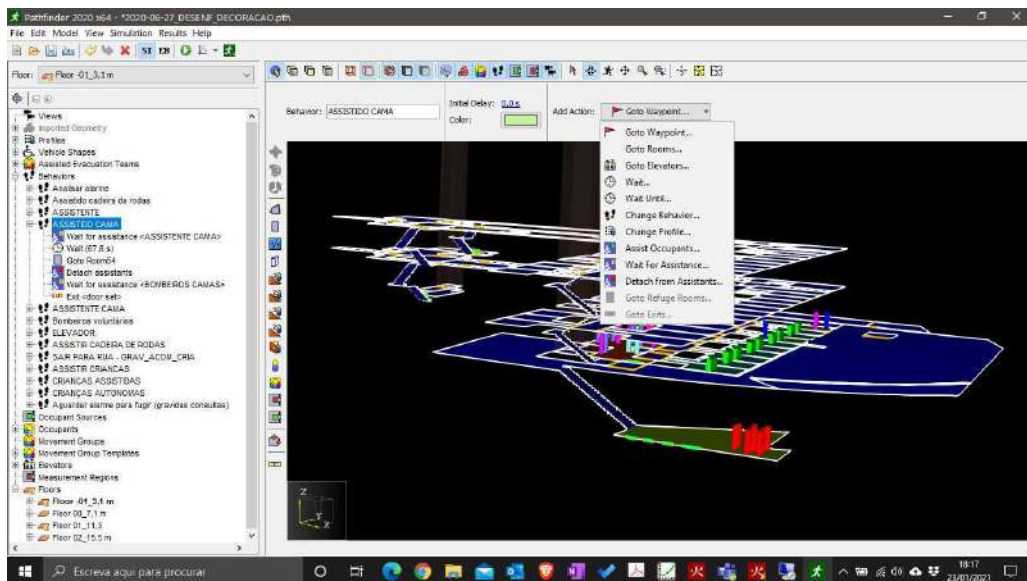


Figura 7. 40 – Configuração de comportamento

### 7.4.7 - Ocupantes - Occupants

Criamos os ocupantes que irão estar em cada um dos espaços. Após isso atribuímos um perfil e um comportamento. Assim estará o ocupante programado.

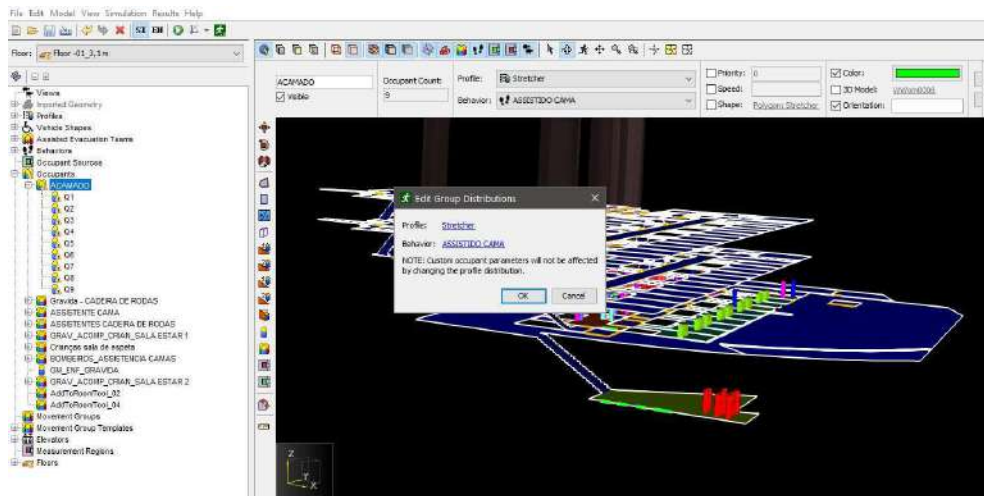


Figura 7. 41 – Configuração ocupantes

### 7.4.8 - Elevadores - Elevators

Os elevadores (que no caso desta clínica estão aptos a funcionar em caso de emergência cumprem com os requisitos legais para funcionar em caso de emergência) podem ser programados em caso de necessidade para a realização de evacuação vertical. Os ocupantes entram nos pisos superiores e saem para o piso de referência.

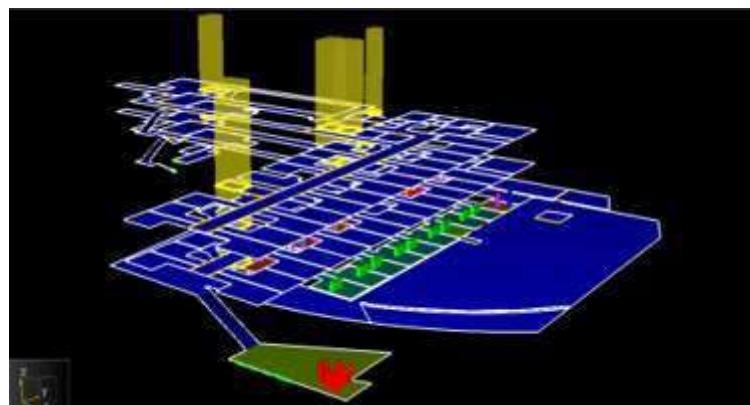


Figura 7. 42 – Pode observar-se os elevadores do 1 ao 5

## 8 . - Modelação numérica de Incêndio e de evacuação

### 8.1 - Construção dos cenários

No presente capítulo apresentam-se as simulações numéricas de incêndio e de evacuação do edifício para os cenários descritos.

Como se referiu anteriormente realizaram-se também propostas alternativas para 4 desses cenários que são também aqui apresentadas

De seguida, observam-se os quadros com a descrição dos Objetos do modelo e os materiais que os constituem. Recorde-se que o edifício cumpre a legislação em vigor, pelo que a propagação e desenvolvimento de chama não é facilitado.

Nas tabelas encontramos os objetos que representam as partes constituintes do edifício e os objetos móveis do edifício como mobiliário e equipamento.

Estes últimos pela característica de mobilidade certamente poderão variar as suas características ao longo do período de utilização/exploração do edifício.

Importa referir que para a parametrização dos materiais foram consideradas as indicações do projeto de SCIE, uma vez que o mesmo deu origem à construção e cumpriu os requisitos legais à data e que como se observou são idênticos aos atuais requisitos legais de SCIE.

#### 8.1.1 - Materiais constituintes

##### 8.1.1.1 - Cenário A0

No quadro abaixo observam-se os materiais de revestimento e mobiliário da sala de espera.

FUNÇÃO	MODELO	SUPERFICIE (Pyrosim)	MATERIAL (Pyrosim)	OBSERVAÇÕES
Pavimento	Manta vinílica 2mm	Vinílico	Vinil	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera - C <sub>FL-S2</sub>
Tetos Falsos	Gesso Cartonado	Silicato de Cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0

	Lã de Rocha teto falso sala	Inert	Inert	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
Paredes	Gesso Cartonado	Silicato de cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
	Manta vinílica 2mm (1,20m de altura)	Manta vinílica 2mm	Vinil	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
Portas	Fire ExitDoor_NBS	Inert	Inert	E 30 C
Sofás	Sofá	Sofá longo01	Tecido Foam	Sala de Estar
Cadeiras	M_Chair-Breuer:M_Chair-Breuer:897859	Cadeiras	Tecido Foam	Sala de Estar
Mesas	M_Table-Dining Round w Chairs:	Madeira	Madeira	Sala de Estar
Tapete	Tapete	Tecido	Tecido	Sala de Estar
Cortinado	Cortinado	Tecido_cortinado	Tecido_Cortinado	Sala de Estar
Placard Expositivo	Placard	Madeira	Madeira	Sala de Estar

Quadro 8. 1 - Quadro de materiais cenário A0

### 8.1.1.2 - Cenários A1, A2 e A3

Materiais dos corredores dos cenários

FUNÇÃO	MODELO	SUPERFICIE (Pyrosim)	MATERIAL (Pyrosim)	OBSERVAÇÕES
Pavimento	Manta vinílica 2mm	Vinilico	vinil	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera - C FL-s2
Teto Falso	Gesso Cartonado	Silicato de Cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
	Lã de Rocha teto falso sala	Inert	Inert	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
Paredes	Gesso Cartonado	Silicato de Cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de

				espera – A2-s1 d0
	Manta vinílica 2mm (1,20m de altura)	Vinilico	vinil	E 30 C

Quadro 8. 2 -Quadro de materiais cenário A1; A2; A3

### 8.1.1.3 - Cenário B

Materiais dos corredores de circulação e da sala de Secretariado

FUNÇÃO	MODELO	SUPERFICIE (Pyrosim)	MATERIAL (Pyrosim)	OBSERVAÇÕES
Pavimento	Manta vinílica 2mm	Vinilico	vinil	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera - C FL-s2
Teto Falso	Gesso Cartonado	Silicato de Cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
	Lã de Rocha teto falso sala	Inert	Inert	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
Paredes	Gesso Cartonado	Silicato de Cálcio	Cálcio	B – Locais como refeitórios para não residentes, salas de espera – A2-s1 d0
	Manta vinílica 2mm (1,20m de altura)	Vinilico	vinil	E 30 C
Portas	Fire ExitDoor_NBS	Inert	Inert	E 30 C
Cadeiras	M_Chair-Breuer:M_Chair-Breuer:897859	Cadeiras	Tecido Foam	Secretariado
Balcão de Atendimento	Madeira	Madeira	Madeira	
Armários Arquivo	Tall Cabinet - Double door:Tall Cabinet - Double door:971802	Estante	Pine	Apesar de ser uma estante metálica, foi considerada estante de madeira pois na realidade armazena papel

Quadro 8. 3 - Quadro de materiais cenário B

## 8.2 - Localização da fonte de incêndio, Malhas de Cálculo, Sistemas de Ventilação, Localização dos detetores de visibilidade e Localização das slices de Temperatura e Visibilidade

### 8.2.1 - Cenário A0

Nº de malhas	Dimensão das células (m)	Reação	Dispositivos	Acionamento	O que Ativa
11	0,50	Poliuretano	THCP Porta	250°C	Porta CF e Ventilação
			Termopar	300°C	Quebra de Vidros

Quadro 8. 4 - Quadro resumo

#### 8.2.1.1 - Localização da fonte de Incêndio

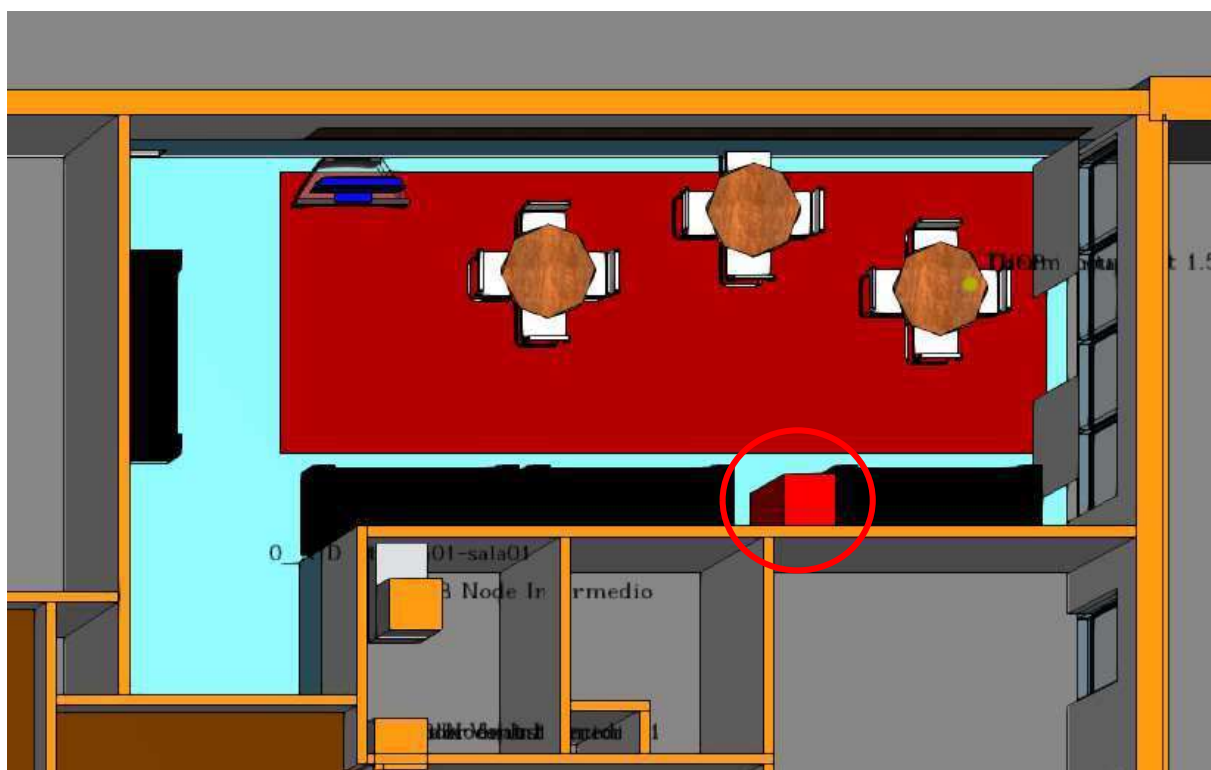


Figura 8. 1 – Localização da fonte de incêndio e mobiliários da Sala de Estar

### 8.2.1.2 - Malhas de Cálculo

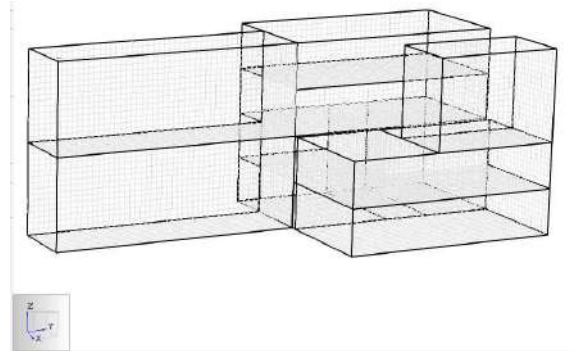
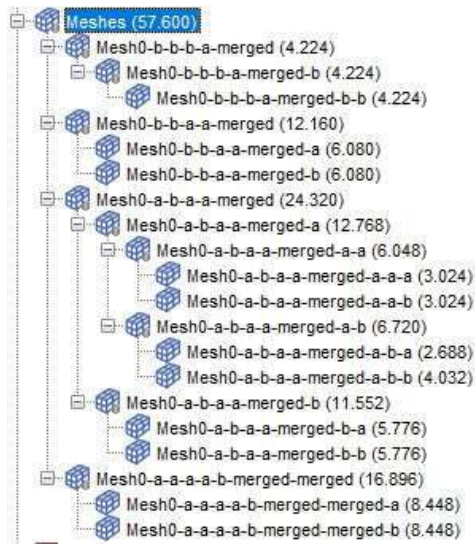


Figura 8. 3 - 11 malhas com 57.600 células

Figura 8. 2 - Malhas de calculo do Cenário A

### 8.2.1.3- Sistemas de Ventilação

Ventilação Clínica

Local	N.º Venti. Extração	Caudal de Extração (m3/s)	Caudal de Extração Total (m3/s)	N.º Venti. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Sala	1	3	12	-	-	9
Corredor	3	3		3	3	

Quadro 8. 5 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC

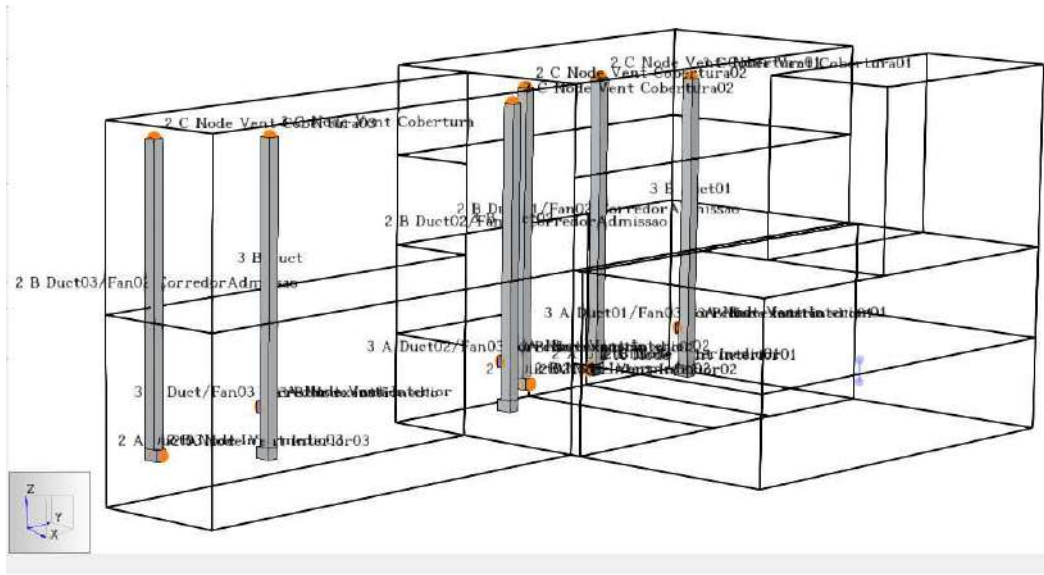


Figura 8. 4 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário A

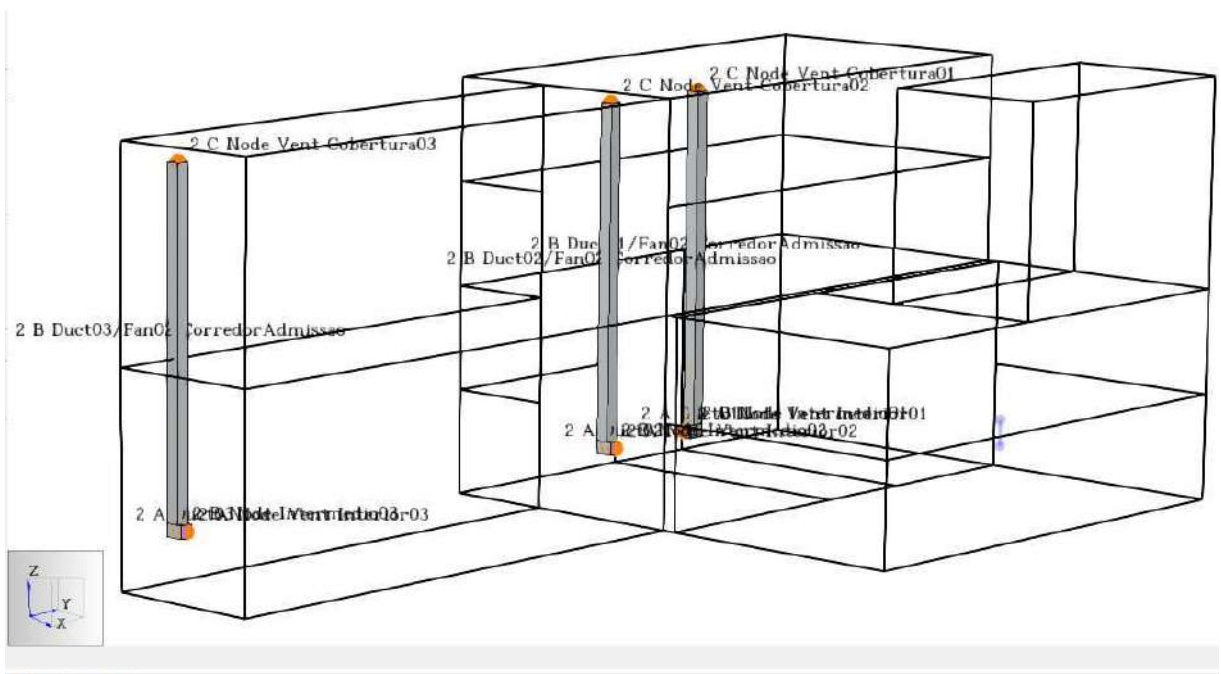


Figura 8. 5 – Ventilação – Insuflação - Cenário B

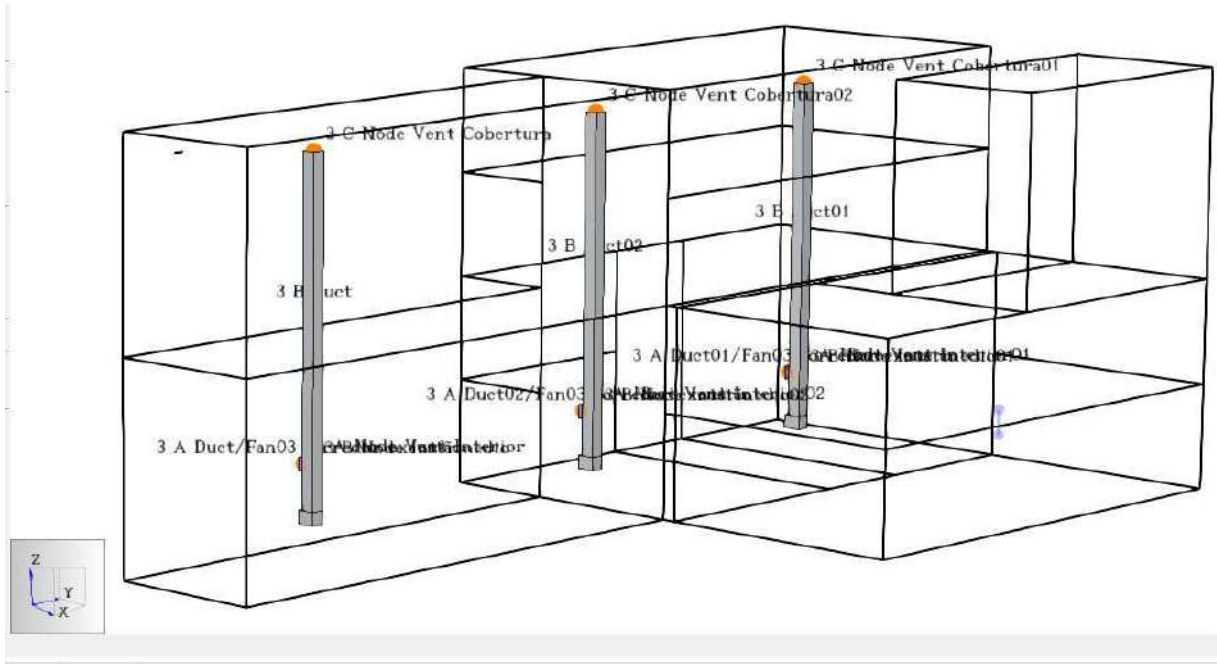


Figura 8. 6 – Ventilação – Extração - Cenário A

#### 8.2.1.4 - Localização dos detetores de visibilidade

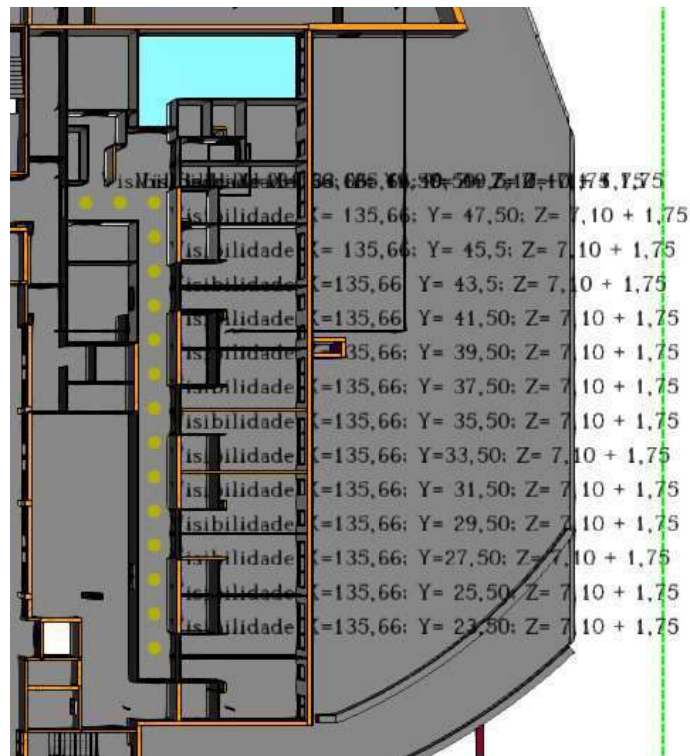


Figura 8. 7 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A

### 8.2.1.5 - Localização das Slices

Animated Planar Slices					
XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?	
1	Y	58,0 m Temperature	NO	NO	
2	Y	55,5 m V-Velocity	NO	NO	
3	X	137,5 m V-Velocity	NO	NO	
4	Z	9,502065 m Heat Release Rate per Unit Volume	YES	YES	
5	X	135,485728 m Heat Release Rate per Unit Volume	YES	YES	
6	X	135,485728 m Temperature	YES	NO	
7	X	141,0 m Temperature	YES	NO	
8	Y	51,879452 m Temperature	YES	NO	
9	Y	-49,952825 m Temperature	YES	NO	
10	Y	55,884629 m Temperature	YES	NO	
11	Y	56,0 m Visibility	YES	NO	
12	Y	135,5 m Visibility	YES	NO	
13	Y	-49,5 m Visibility	YES	NO	
14	X	135,5 m Visibility	YES	NO	
15	Y	56,0 m [Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO	
16	Y	56,0 m [Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO	
17	X	135,5 m [Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO	
18	X	135,5 m [Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO	
19	Y	56,0 m Heat Release Rate per Unit Volume	NO	NO	
20	Y	56,0 m Extinction Coefficient	NO	NO	
21	Y	56,0 m [Species: OXYGEN] Volume Fraction	NO	NO	
=					

Figura 8. 8 – Slices do Cenário A

Slices de Temperatura; Velocidade; Taxa de Libertação de Calor; Visibilidade; Fração de Dióxido de Carbono; Fração de Monóxido de Carbono; Coeficiente de Extinção e Fração de Oxigénio.

### 8.2.2 - Cenário A1

Nº de malhas	Dimensão das células (m)	Reação	Dispositivos	Acionamento	O que Ativa
8	0,50	Nylon	Control03	Vários Temporais	PORTAS CORTA FOGO da Zona B / Núcleo dos Elevadores
					Porta corta-fogo do corredor na ligação com Zona C
					Ventilação de Desenfumagem e claraboias

Quadro 8. 6 - Quadro resumo

#### 8.2.2.1 - Localização da fonte de Incêndio

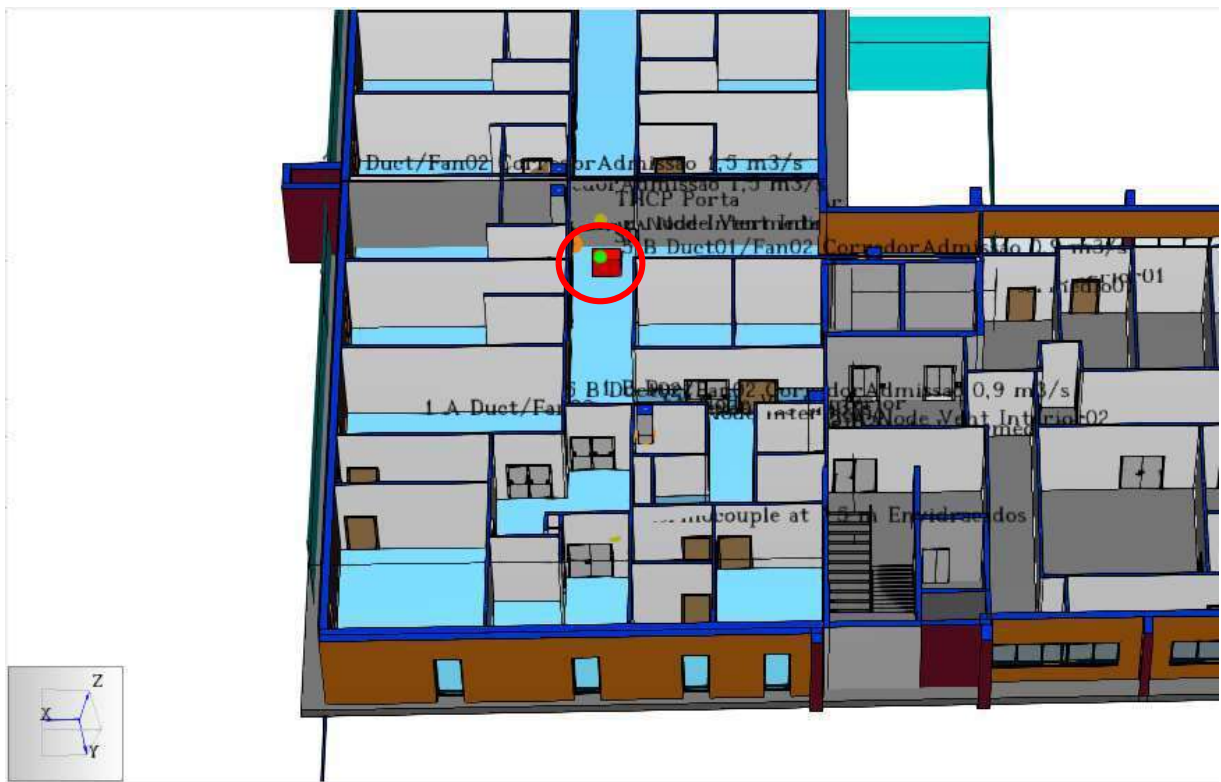


Figura 8. 9 – Localização da fonte de incêndio do cenário A1 – Setor B Corredor piso 2 junto Setor C

### 8.2.2.2 - Malhas de Cálculo

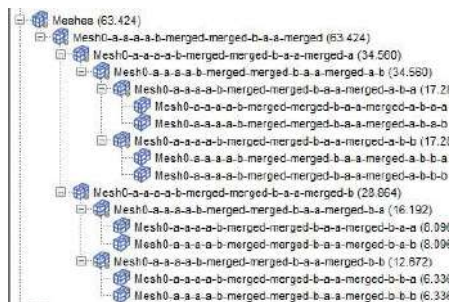


Figura 8. 10- Malhas de calculo do Cenário A1

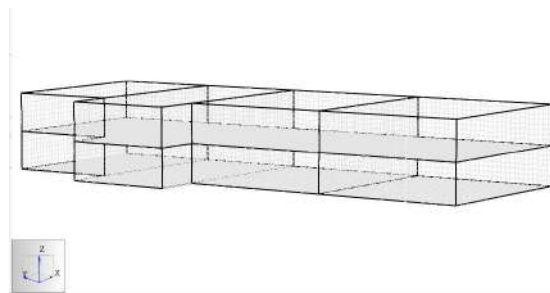


Figura 8. 11 - 8 malhas com 63.424 células

### 8.2.2.3 - Sistemas de Ventilação

#### Ventilação Clínica

Local	N.º Venti. Extração	Caudal de Extração (m3/s)	Caudal de Extração Total (m3/s)	N.º Venti. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Corredor Norte	1	3	3	1	0,9	3,3
Corredor Intermédio				1	0,9	
Corredor Principal				1	1,5	

Quadro 8. 7 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC

#### Ventilação Proposta

Local	N.º Venti. Extração	Caudal de Extração (m3/s)	Caudal de Extração Total (m3/s)	N.º Venti. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Corredor Norte	1	4	4	1	1.4	4,3
Corredor Intermédio				1	1.4	
Corredor Principal				1	1,5	

Quadro 8. 8 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração proposta

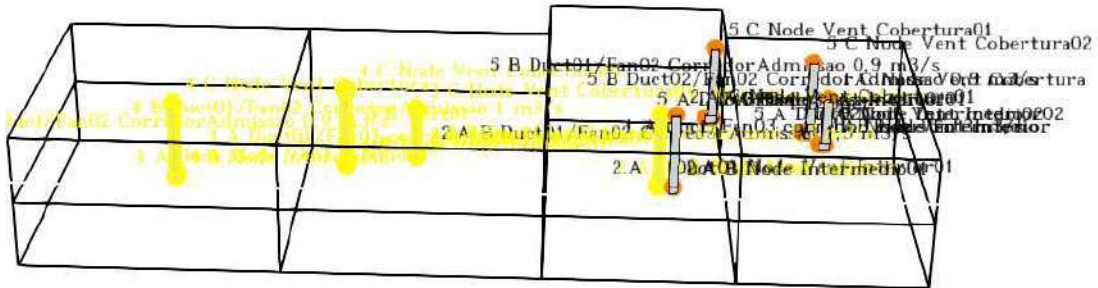


Figura 8. 12 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário A1

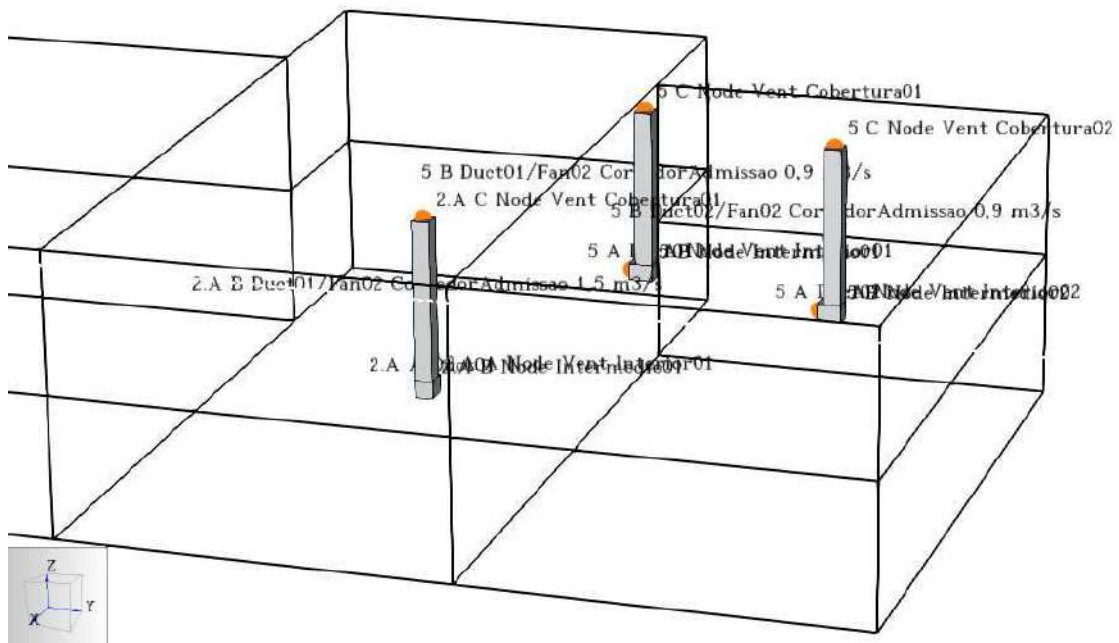


Figura 8. 13 - Ventilação – Insuflação - Cenário A1

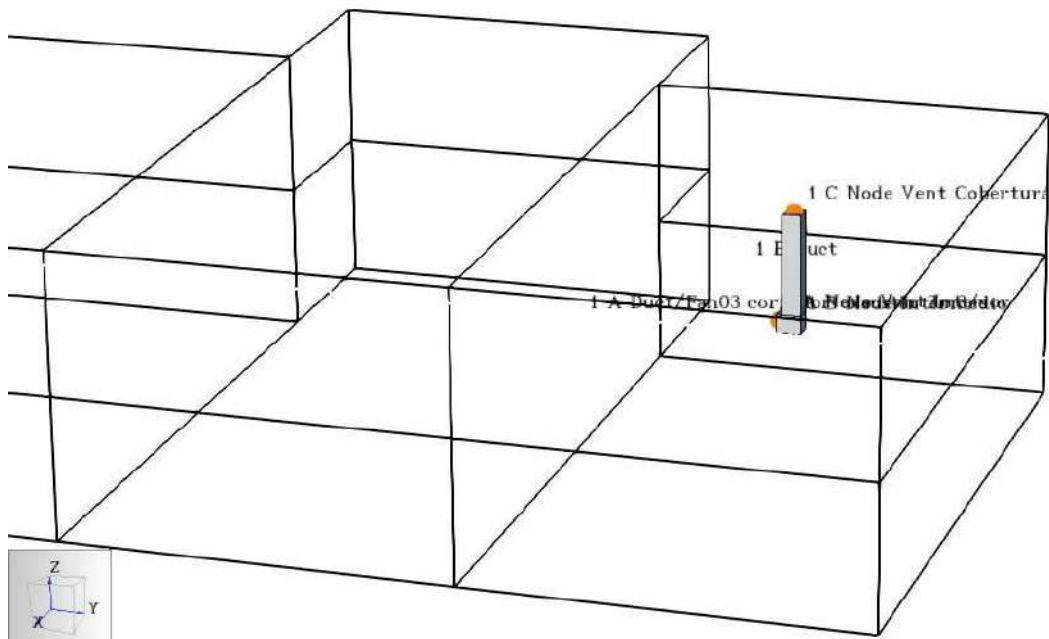


Figura 8. 14 - Ventilação – Extração - Cenário A1

#### 8.2.2.4 - Localização dos detetores de visibilidade

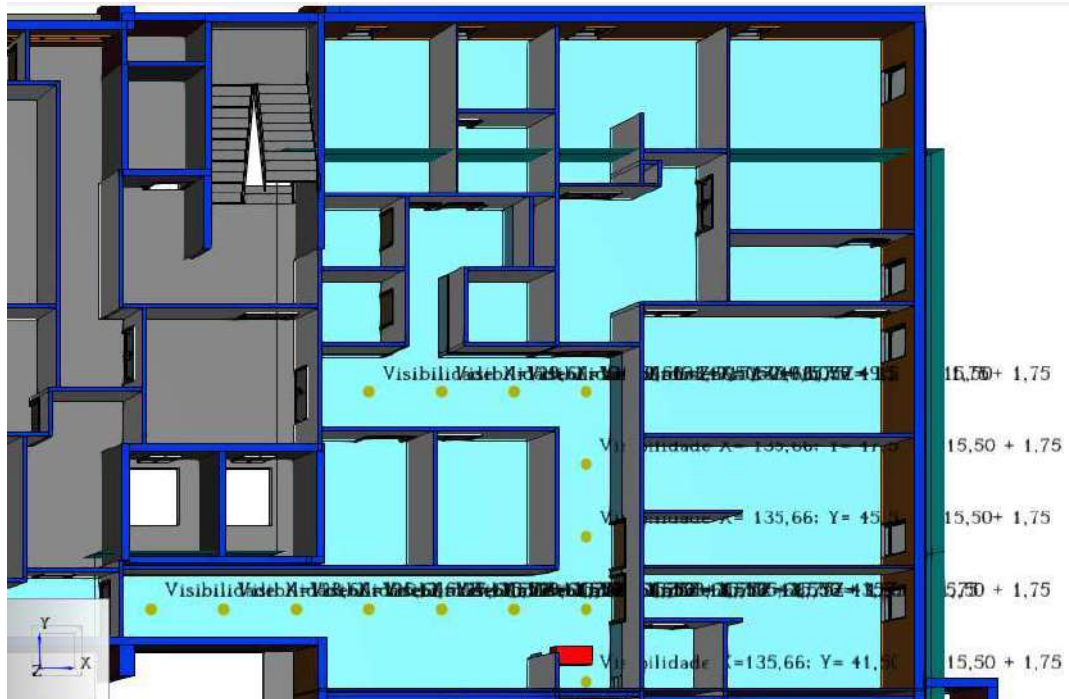


Figura 8. 15 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A1

### 8.2.2.5 - Localização das Slices

Animated Planar Slices					
XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?	
1	Y	19,5 m	Temperature	NO	NO
2	Y	42,922357 m	Temperature	NO	NO
3	Y	49,5 m	Temperature	NO	NO
4	Z	17,25 m	Temperature	YES	YES
5	Z	17,25 m	Visibility	NO	NO
6	X	136,0 m	Visibility	NO	NO
7	Y	43,0 m	Visibility	NO	NO
8	X	136,0 m	Temperature	NO	NO
9	X	135,5 m	Temperature	NO	NO
10	Y	49,0 m	Visibility	NO	NO
11	X	135,5 m	[Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
12	X	135,5 m	[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
13	Y	43,0 m	[Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
14	Y	43,0 m	[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
15	Y	49,0 m	[Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
16	Y	49,0 m	[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO

Figura 8. 16 - Slices do Cenário A1

Slices de Temperatura; Visibilidade; Fração de Dióxido de Carbono; Fração de Monóxido de Carbono

### 8.2.3 - Cenário A2

Nº de malhas	Dimensão das células (m)	Reação	Dispositivos	Acionamento	O que Ativa
8	0,50	Nylon	Control03	Vários Temporais	PORTAS CORTA FOGO da Zona B / Zona C
					Porta corta-fogo escadas emergência
					Ventilação de Desenfumagem e claraboias

Quadro 8. 9 - Quadro resumo

### 8.2.3.1 - Localização da fonte de Incêndio do cenário A2



Figura 8. 17 - Localização da fonte de incêndio do cenário A2 – Setor C Corredor piso 2 junto Setor B

### 8.2.3.2 - Malhas de Cálculo

As malhas de calculo deste cenário são iguais às malhas de calculo do cenário A1 (ver 8.2.2.2- Malhas de Cálculo)

### 8.2.3.3 - Sistemas de Ventilação

Ventilação Clínica

Local	N.º Vent. Exatção	Caudal de Exatção (m3/s)	Caudal de Exatção Total (m3/s)	N.º Vent. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Corredor Principal	1	3	3	3	0,9; 1; 1,5	3.4

Quadro 8. 10 - Quadro resumo com caudais de insuflação e exatção indicados no projeto de AVAC

Ventilação proposta

Local	N.º Vent. Exatção	Caudal de Exatção (m3/s)	Caudal de Exatção Total (m3/s)	N.º Vent. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Corredor Principal	1	6	3	3	2; 2,5; 2,5	7

Quadro 8. 11 - Quadro resumo com caudais de insuflação e exatção proposta

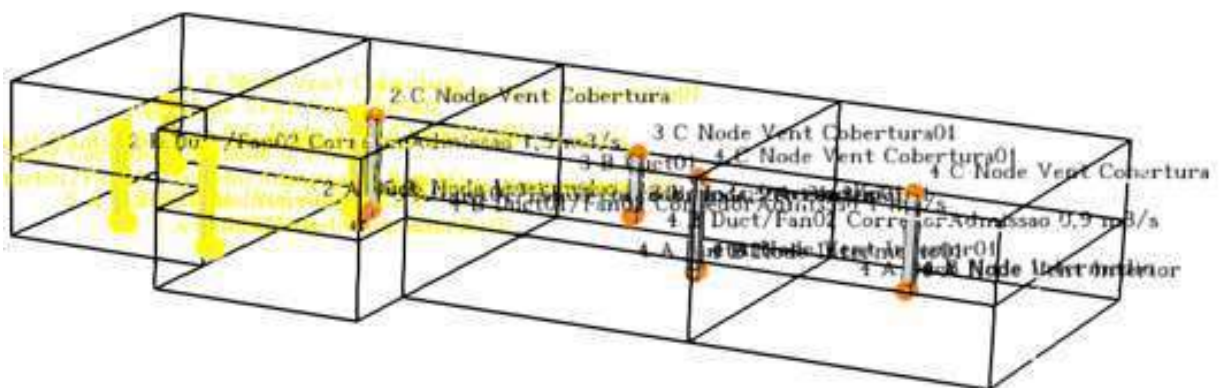


Figura 8. 18 - Ventilação - Insuflação e Exatção Cenário A1

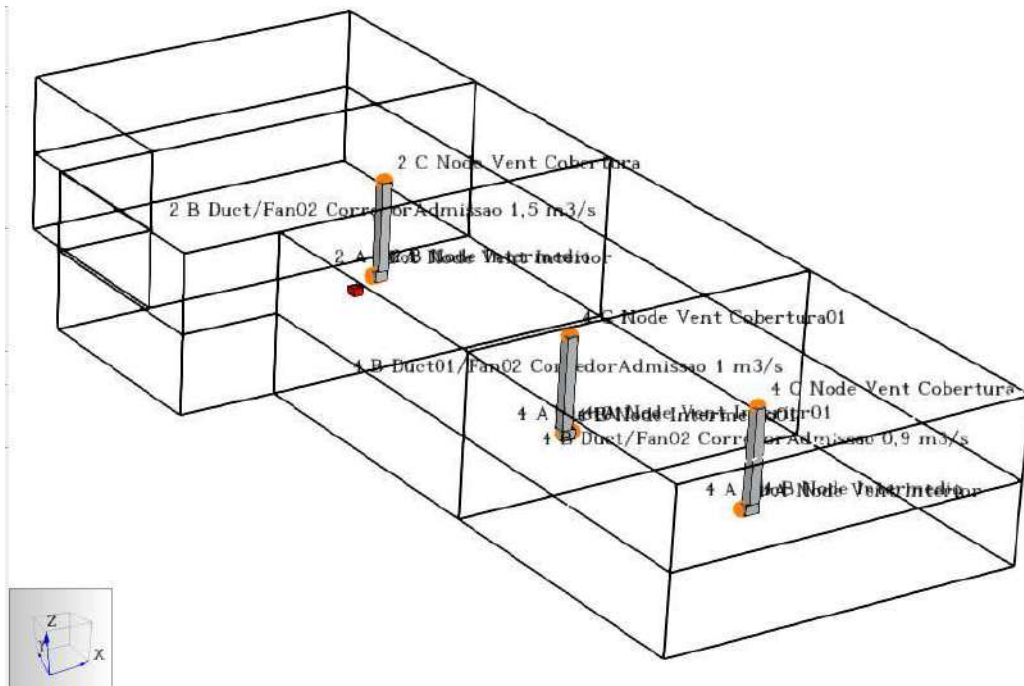


Figura 8. 19 - Ventilação - Insuflação- Cenário A2

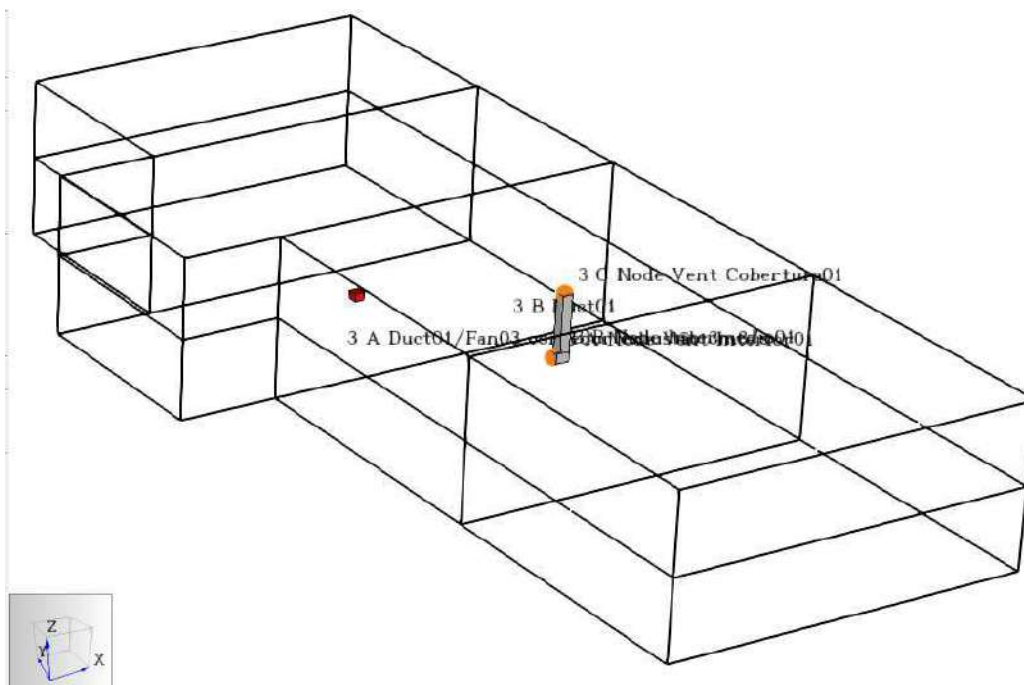


Figura 8. 20 - Ventilação – Extração - Cenário A2

### 8.2.3.4 - Localização dos detetores de visibilidade

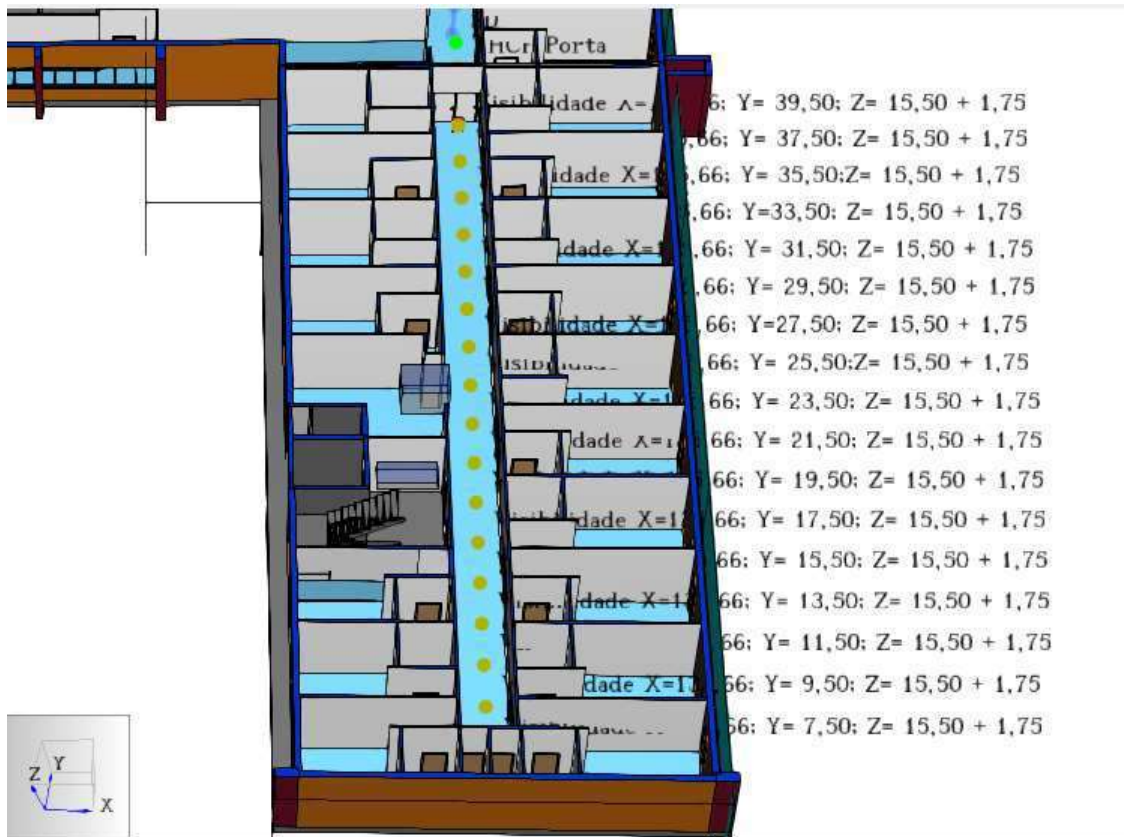


Figura 8. 21 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A2

### 8.2.4.5 - Localização das Slices

Animated Planar Slices

	XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?
1	Y	19,5 m	Temperature	NO	NO
2	Y	42,922357 m	Temperature	NO	NO
3	Y	49,5 m	Temperature	NO	NO
4	Z	17,25 m	Temperature	YES	YES
5	Z	17,25 m	Visibility	NO	NO
6	X	136,0 m	Visibility	NO	NO
7	Y	43,0 m	Visibility	NO	NO
8	X	136,0 m	Temperature	NO	NO
9	X	135,5 m	Temperature	NO	NO
10	Y	49,0 m	Visibility	NO	NO
11	X	136,0 m	[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction	NO	NO
12	X	136,0 m	[Species: CARBON DIOXIDE] Volume Fraction	NO	NO

Figura 8. 22 - Slices do Cenário A2

Slices de Temperatura; Visibilidade; Fração de Dióxido de Carbono; Fração de Monóxido de Carbono;

### 8.2.4 - Cenário A3

Todo o sistema considerado no cenário A3 é igual ao cenário A2, variando apenas a posição da fonte de incêndio. Neste caso a localização da fonte de incêndio é numa sala de estar a meio do corredor.

#### 8.2.4.1 - Localização da fonte de Incêndio



Figura 8. 23 - Localização da fonte de incêndio do cenário A3

### 8.2.5 - Cenário B

Nº de malhas	Dimensão das células (m)	Reação	Dispositivos	Acionamento	O que Ativa
8	0,50	Nylon	Control03	Vários Temporais	PORTAS CORTA FOGO da Zona A1 / A2
					Ventilação de Desenfumagem e claraboias

Quadro 8. 12 - Quadro resumo

### 8.2.5.1 - Localização da fonte de Incêndio do cenário B

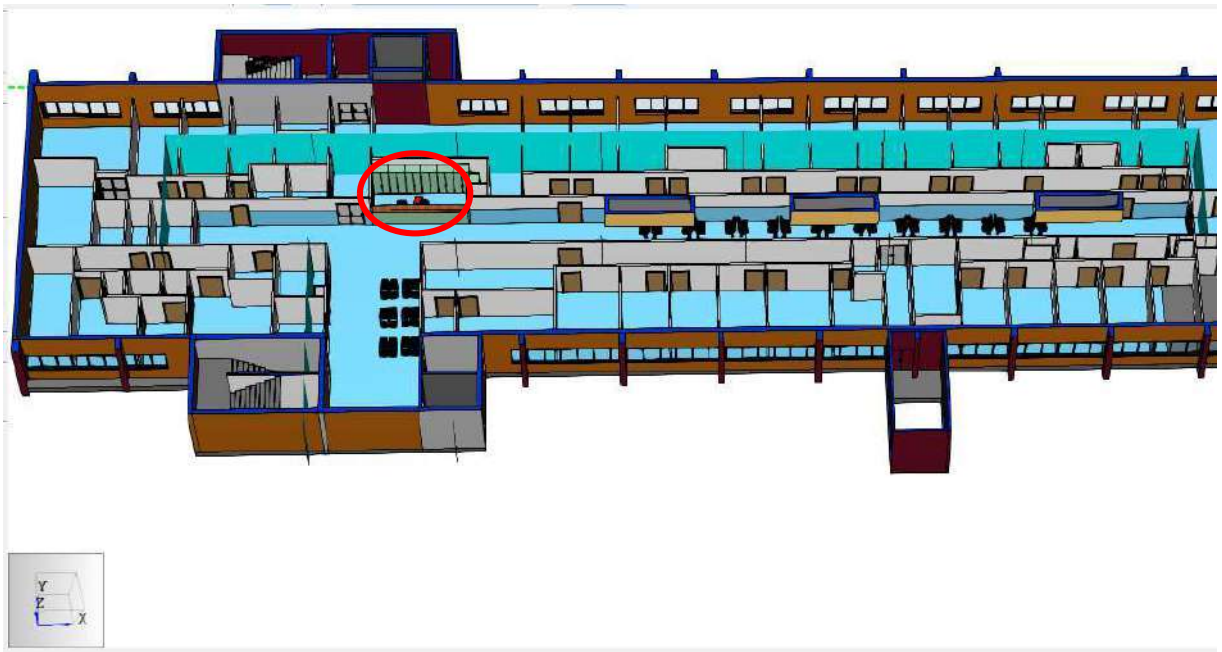


Figura 8. 24 - Localização da fonte de incêndio do cenário B

### 8.2.5.2 - Malhas de Cálculo

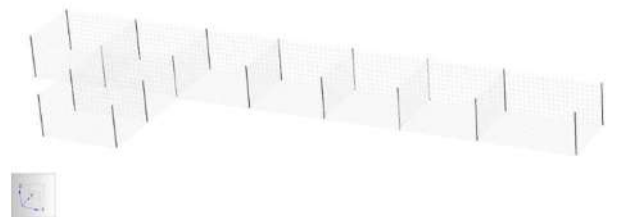
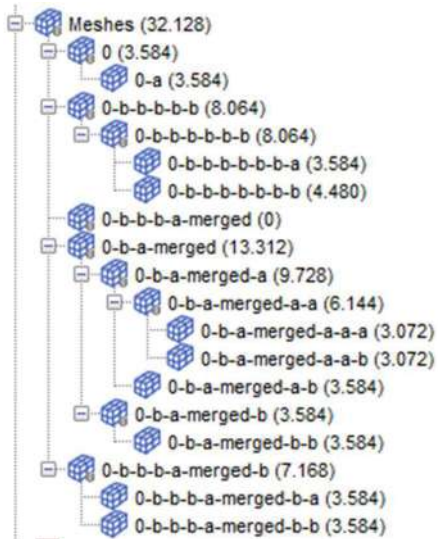


Figura 8. 26 – 9 malhas com 32.128 células

Figura 8. 25 – Malhas de calculo do Cenário B

### 8.2.5.3 - Sistemas de Ventilação

Ventilação Clínica

Local	N.º Venti. Extração	Caudal de Extração (m3/s)	Caudal de Extração Total (m3/s)	N.º Venti. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Caudal de Insuflação Total (m3/s)
Corredor Principal	3	4; 4; 4	12	3	4; 4; 4	12
Corredor	-	-		-	-	

Quadro 8. 13 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração indicados no projeto de AVAC

Ventilação proposta

Local	N.º Venti. Extração	Caudal de Extração (m3/s)	Aumento de Caudal de Extração (m3/s)	N.º Venti. Insuflação	Caudal de Insuflação (m3/s)	Aumento de Caudal de Insuflação (m3/s)
Corredor Principal		4; 4; 4	16	4	4; 4; 4; 4	16
Corredor	1	4		-	-	

Quadro 8. 14 - Quadro resumo com caudais de insuflação e extração proposta

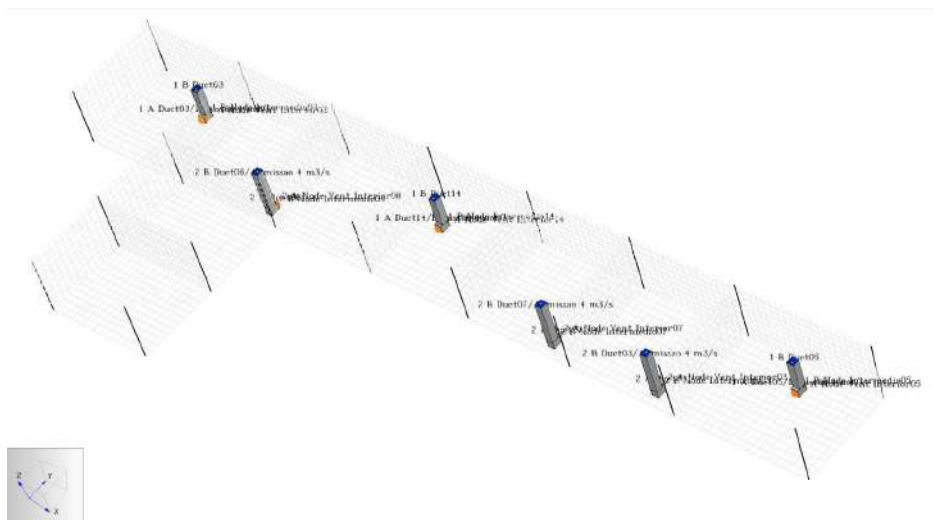


Figura 8. 27 – Ventilação - Insuflação e Extração Cenário B

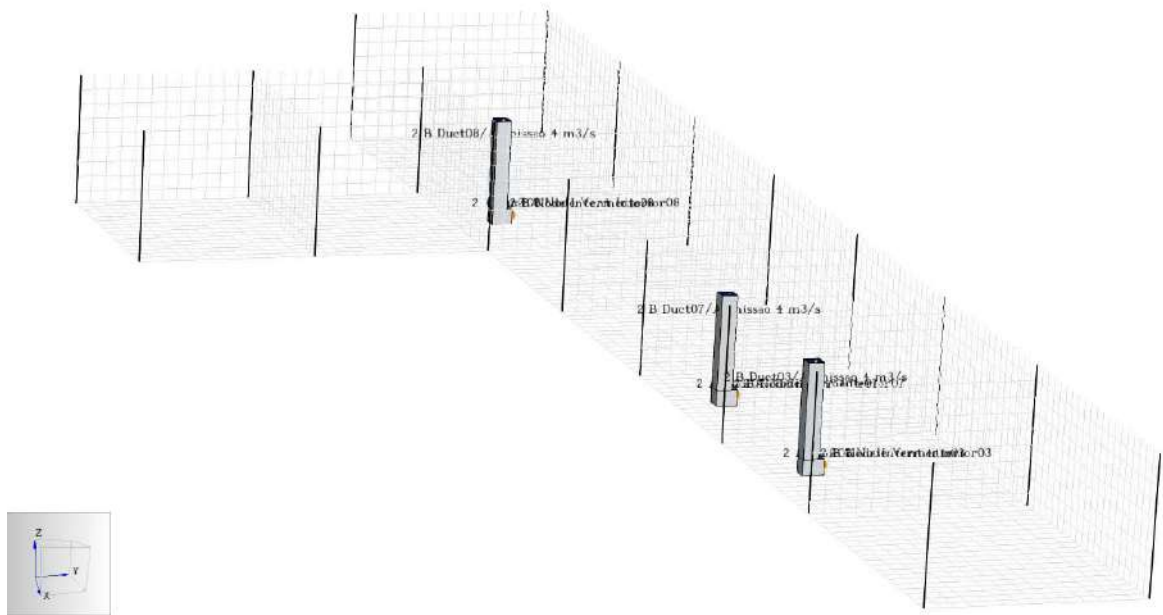


Figura 8. 28 - Ventilação - Admissão - Cenário B

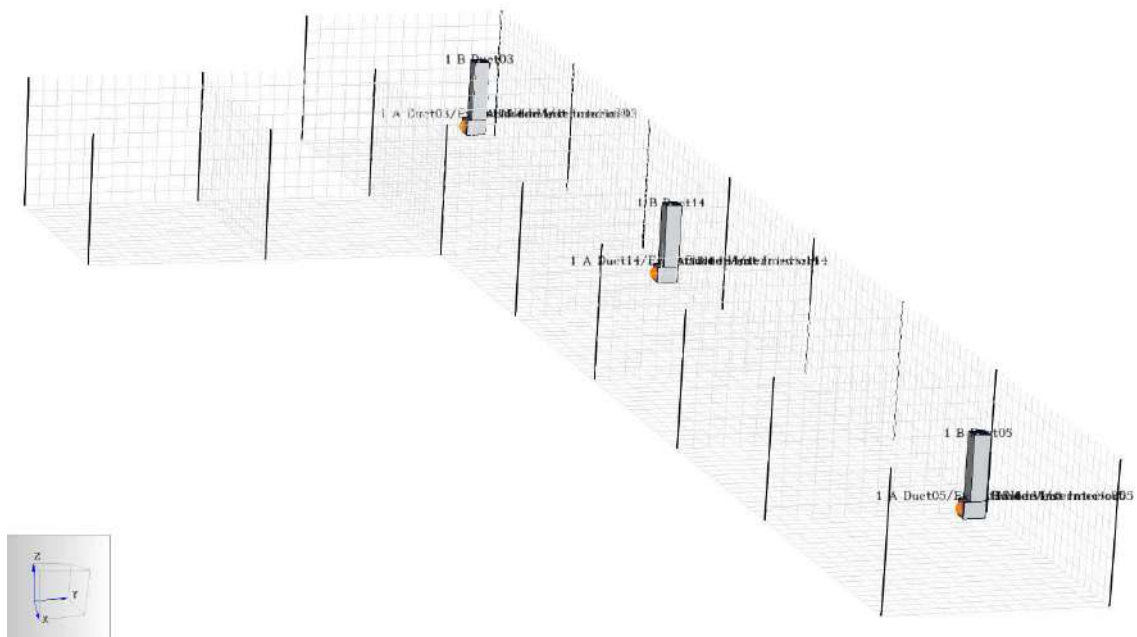


Figura 8. 29 - Ventilação - Extração- Cenário B

### 8.2.5.4 - Localização dos detetores de visibilidade

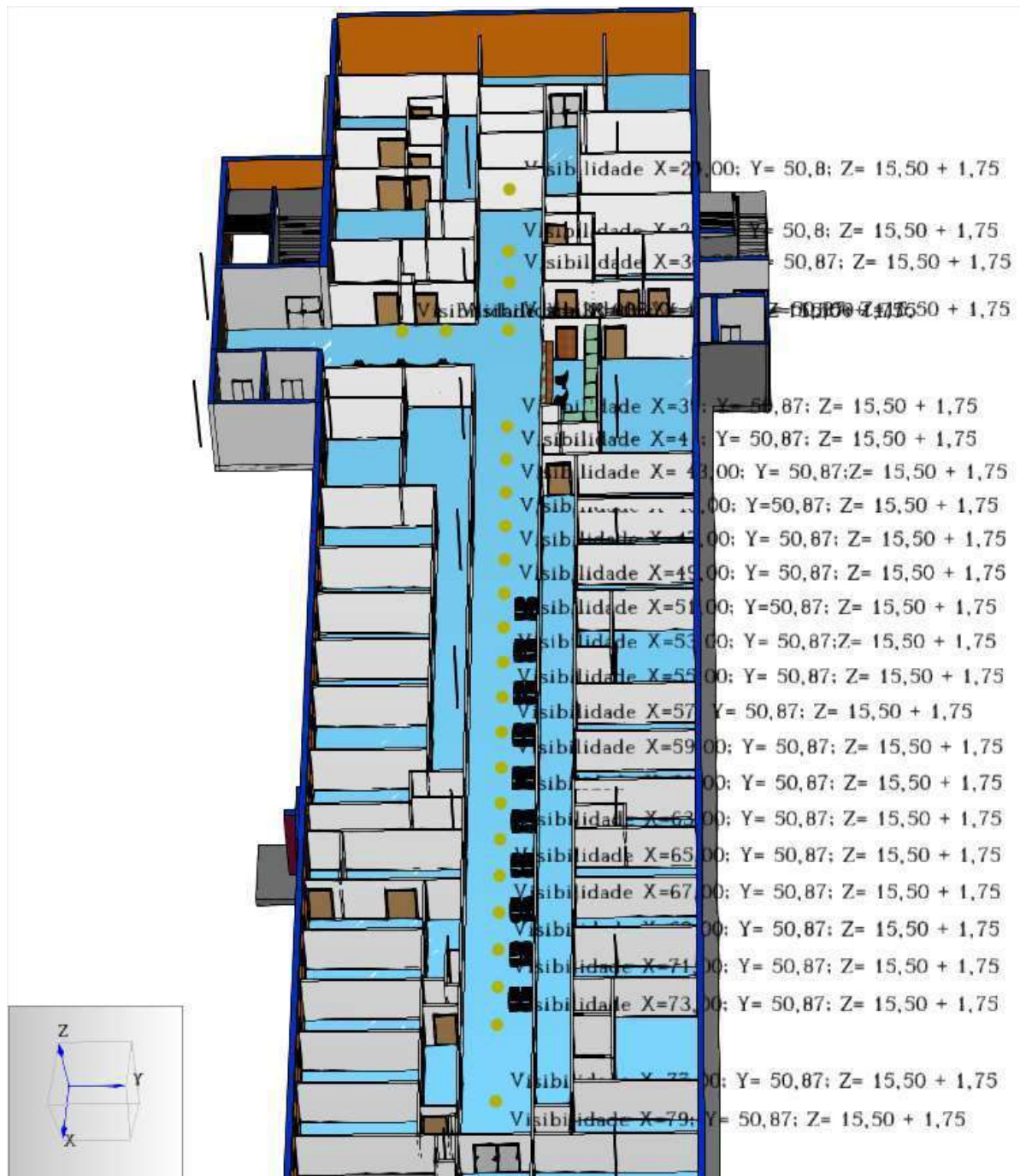


Figura 8. 30 - Localização dos detetores de visibilidade do cenário A2

### 8.2.5.5 - Localização das Slices de Temperatura e visibilidade

Animated Planar Slices				
XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?
1 Z	17,25 m	Visibility	NO	NO
2 Y	51,0 m	Temperature	NO	NO
3 X	34,0 m	Temperature	NO	NO
4 Y	51,0 m	Visibility	NO	NO
5 X	34,0 m	Visibility	NO	NO
6 Z	18,0 m	Temperature	YES	YES
*				

Figura 8. 31 - Slices de Temperatura; Visibilidade;

## 8.3 - Cenários

As localizações dos focos de incêndio tiveram como motivação perceber a eficiência do edifício face à propagação de chames e fumos, e também a eficiência do plano de emergência relativamente à evacuação dos ocupantes.

No cenário A o foco de incêndio ocorre na sala de estar do serviço de maternidade. Por ser um serviço tão característico, obriga a um tipo de utilizadores ao serviço (senhoras grávidas com natural dificuldade de locomoção), havendo pacientes acamados, pacientes grávidas (com dificuldade de mobilidade) em consulta. Estas últimas acompanhadas por acompanhante adulto e criança (na generalidade). Também haverá os funcionários (profissionais de saúde e secretariado) que serão conhecedores do plano de emergência e auxiliarão na evacuação. Há também pacientes em cadeiras de rodas.

Nos cenários A1 e A2 os focos serão praticamente no mesmo local, ou seja, no corredor junto à compartimentação CF dos setores B e C. O cenário A3 é também no mesmo corredor, mas num local oposto. A diferença entre os cenários A1 e A2 é que um se passa de um lado da porta CF e o A3 no lado oposto do mesmo corredor do cenário A3.

Os cenários A2 e A3 são semelhantes ao cenário A. Trata-se de um piso de pessoas acamadas, não havendo aqui as pacientes grávidas e respetivos acompanhantes.

No cenário A o foco de incêndio ocorreu no interior de uma sala, pelo que para o cálculo contribuiu todo o mobiliário existente no espaço enquanto nos A1, A2 e A3 não se considerou mobiliário.

No cenário B recria-se a zona de consultas externas. Há os pacientes sem dificuldades de mobilidade, pacientes acamados, acompanhantes e funcionários (Técnicos de Saúde e Administrativos).

As visualizações e análises de incêndio e evacuação de cada cenário foram realizadas num mesmo visualizador, para isso, ao início de cada visualização de evacuação, carrega-se o ficheiro de resultados da simulação de incêndio. Assim é possível analisar cada situação da evacuação face ao desenvolvimento das chamas e fumos e seus efeitos (temperatura, visibilidade, libertação de gases, etc).

Todas as simulações tiveram uma duração de 2400s (40 minutos).

### 8.3.1 - Cenário A0

#### 8.3.1.1 - Efetivo considerado

Para o cenário A0 foi considerado o seguinte efetivo indicado no quadro abaixo. Seguiram-se os valores indicados no Plano de Emergência

LOCAL	AREA	INDICE	OCUPANTES	OBS	CLASSIFICAÇÃO
Sala de Observação / Tratamentos	18,5	0,2	4		A
Sala de Estar 1	42,6	1	43	*	A
Sala de Sujos e Despejos	3,8	0	0		A
Sala de Desinfecção	3,5	0	0		A
Gabinete Médico / Enfermagem	12,3	0,3	4		A
Quarto 1	20,6	Camas	1		D

Quarto 2	20,6	Camas	1		D
Quarto 3	20,4	Camas	1		D
Quarto 4	20,6	Camas	1		D
Quarto 5	20,6	Camas	1		D
Quarto 6	20,4	Camas	1		D
Quarto 7	20,6	Camas	1		D
Quarto 8	20,6	Camas	1		D
Quarto 9	20,9	Camas	1		D
Receção Maternidade	27,5	0,2	6		A
Sala de Estar 2	33	1	33	*	A
Playground	32	0,15	5		A
Banho de Ajuda	11,1	0	0		D
Posto de Enfermagem 1	9,2	0,2	2		A
TOTAL			106		

Quadro 8. 15 – Efetivo indicado no Plano de Emergência

\* - Os efetivos destes espaços não foram contabilizados no efetivo total, uma vez que as pessoas não se encontram simultaneamente nos vários espaços - Plano de Emergência PP1 - 18/26

### 8.3.1.2 - Ocupantes considerados na simulação

O quadro 8.16 indica o número de ocupantes considerados neste cenário.

LOCAL	FUNÇÃO	QUANT	FUNÇÃO	QUANT	FUNÇÃO	QUANT
Sala de Observação / Tratamentos	Técnico de Saude	1	Gravidas	1	Acomp	2
Sala de Estar 1	Gravidas	15	Acomp	15	Crianças	5

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

Sala de Sujos e Despejos						
Sala de Desinfecção						
Gabinete Médico / Enfermagem	Técnico de Saude	1	Gravidas	1	Acompanhantes	2
Quarto 1	Acamado	1				
Quarto 2	Acamado	1				
Quarto 3	Acamado	1	Técnico de Saude	1		
Quarto 4	Acamado	1				
Quarto 5	Acamado	1				
Quarto 6	Acamado	1				
Quarto 7	Acamado	1				
Quarto 8	Acamado	1				
Quarto 9	Acamado	1				
Recepção Maternidade	Recepcionistas	2				
Sala de Estar 2	Gravidas	8	Acomp	8	Gravidas-cadeira rodas	2
Playground	Crianças	5				
Posto de Enfermagem 1	Técnico de Saude	1				
TOTAL PARCIAL		52		26		11
Exterior	Bombeiros	10				
TOTAL				89		

Quadro 8. 16 – Ocupantes considerados na simulação

### 8.3.1.3 - Descrição da simulação de evacuação

No instante inicial estão no cenário A0 79 ocupantes (10 são os bombeiros que só iniciam a sua função de resgate após atingido o tempo de chegada à clínica).

O incêndio vai iniciar na sala de espera. As pessoas nessa sala e nos corredores adjacentes iniciam a fuga de imediato. Aos 20s dá-se o 1º alarme. Após confirmação do incêndio - 60s - é dado o alarme de evacuação (para início de evacuação de todos os ocupantes) e arranca o sistema de desenfumagem. Os funcionários iniciam a evacuação dos utentes acamados colocando-os na zona de concentração de macas indicada no plano de emergência. Aos 480s chegam os bombeiros. Os bombeiros iniciam o transporte dos utentes acamados para o exterior. Neste cenário verificou-se o fenómeno de flashover, pelo que é demonstrado no ANEXO 1.



Figura 8. 32 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)

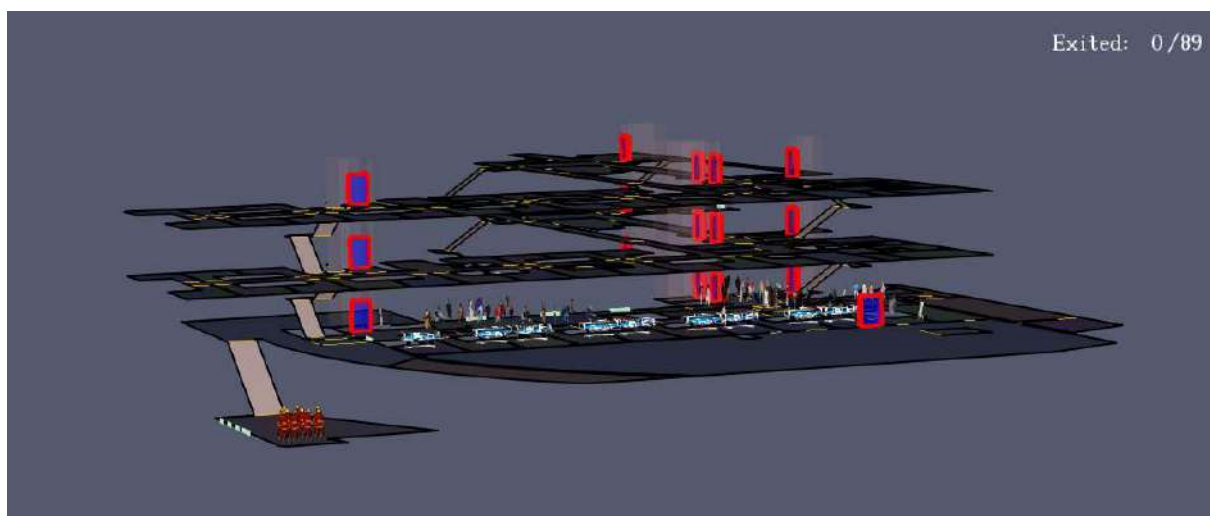


Figura 8. 33 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes)



Figura 8. 34 - Simulação10s



Figura 8. 35 – SOOT VISIBILITY

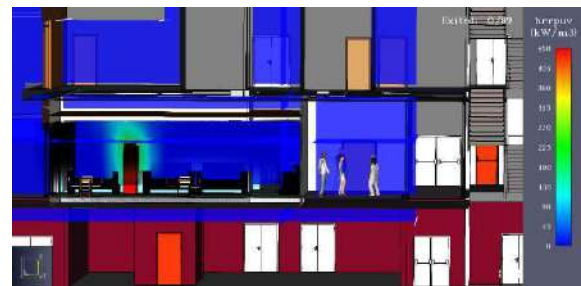


Figura 8. 36 - HRRPUV

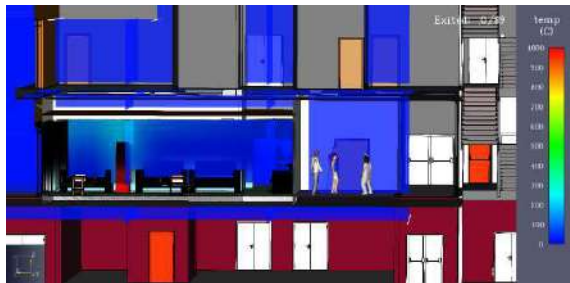


Figura 8. 37 - Temperature



Figura 8. 38 – Oxygen Volume Fraction

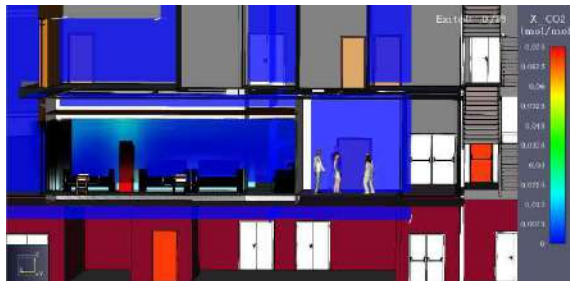


Figura 8. 39 – Carbon Dioxide Volume Fraction

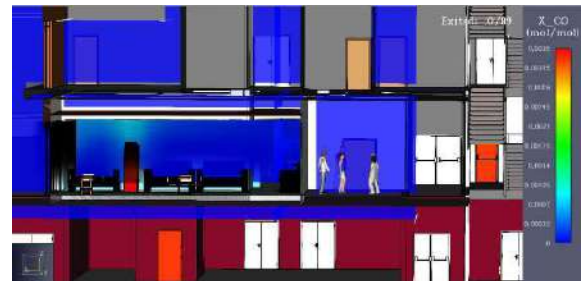


Figura 8. 40 – Carbon Monoxide Volume Fraction

O fumo atinge o teto e espalha pelo compartimento. Inicia-se a evacuação das pessoas que percebem a propagação do fumo.



Figura 8. 41 – Simulação 20s



Figura 8. 42 - Visibility



Figura 8. 43 - HRRPUV



Figura 8. 44 - Temperature



Figura 8. 45 - Oxygen Volume Fraction



Figura 8. 46 – Carbon Dioxide Volume Fraction



Figura 8. 47 – Carbon Monoxide Volume Fraction

O fumo inicia a propagação pelo corredor, dá-se o primeiro alarme. O pessoal de saúde da sala de Observação / tratamentos, Gabinete médico / enfermagem, do quarto -1.247 e posto de enfermagem iniciam a evacuação dos ocupantes acamados.

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

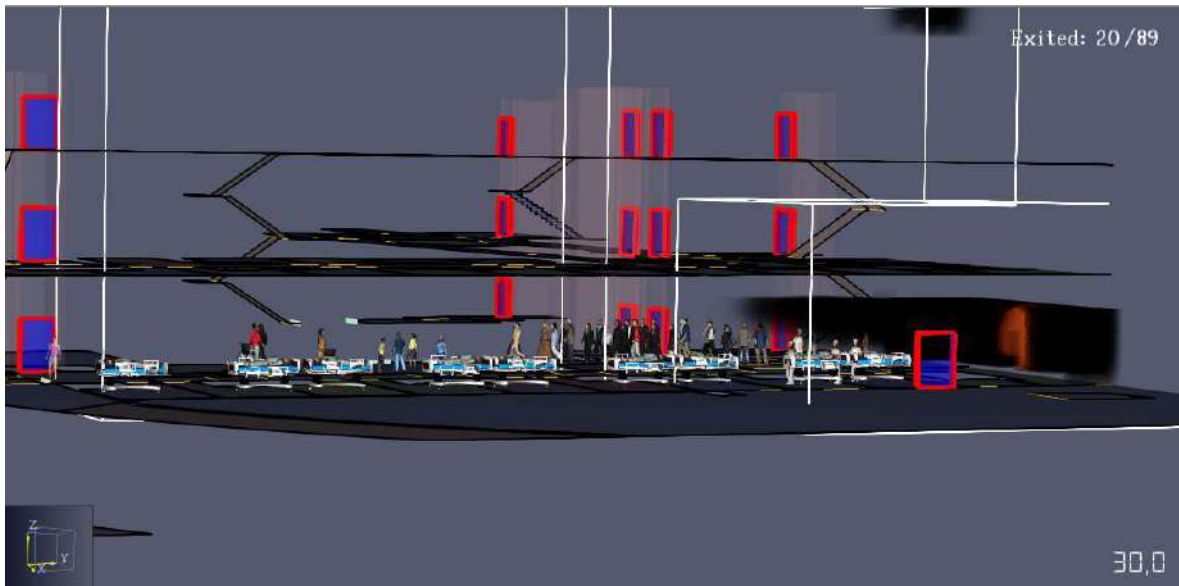


Figura 8. 48 – Simulação 30 s

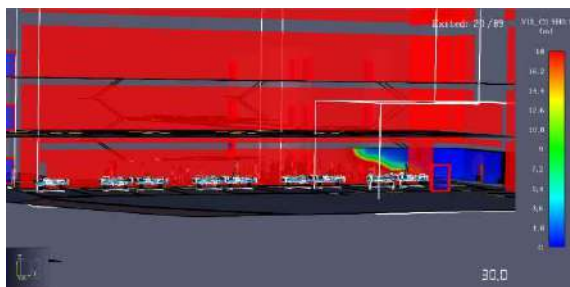


Figura 8. 49 - Visibility

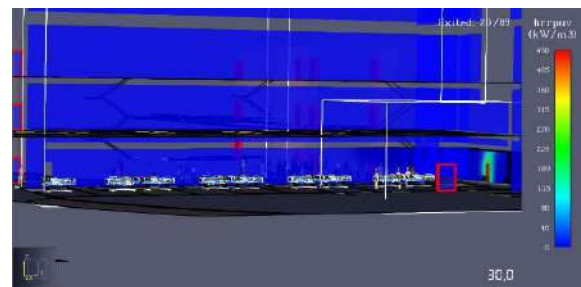


Figura 8. 50 - HRRPUV

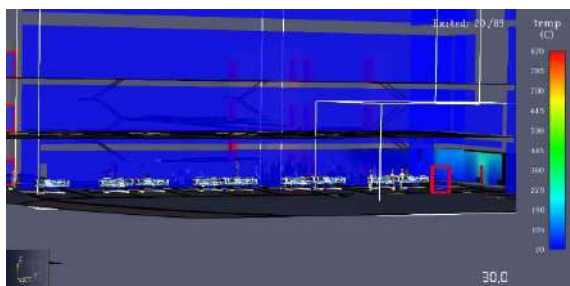


Figura 8. 51 - Temperature

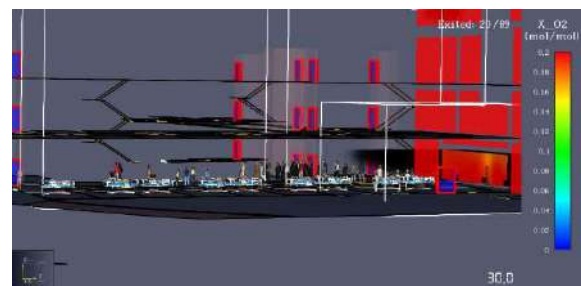


Figura 8. 52 - Oxygen Volume Fraction

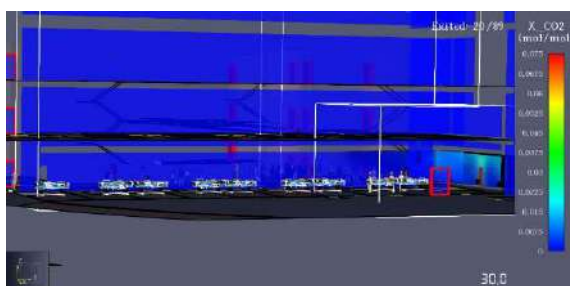


Figura 8. 53 – Carbon Dioxide Volume Fraction

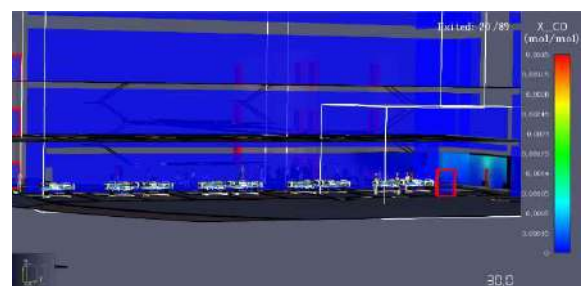


Figura 8. 54 – Carbon Monoxide Volume Fraction

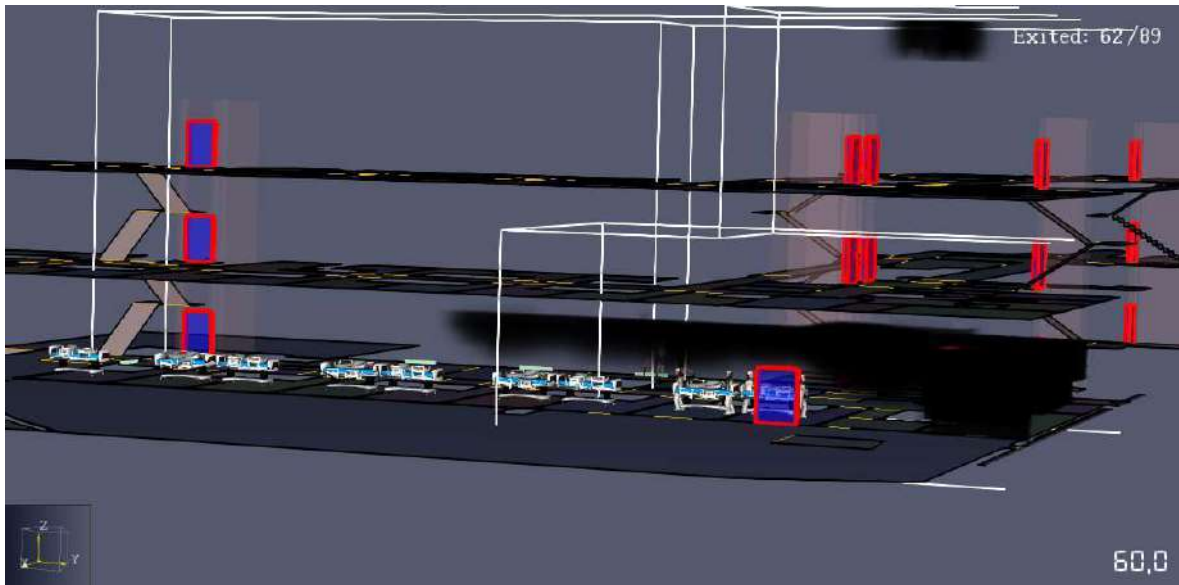


Figura 8. 55 – Simulação 60s

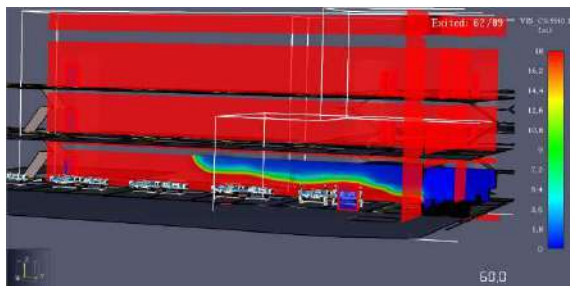


Figura 8. 56 - Visibility

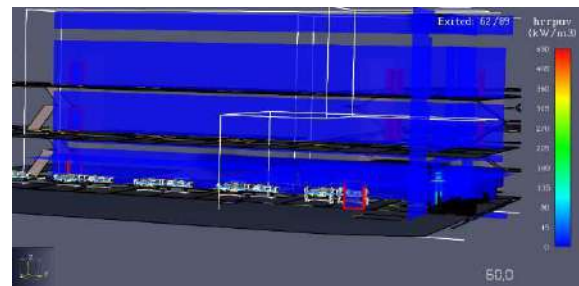


Figura 8. 57 - HRRPUV

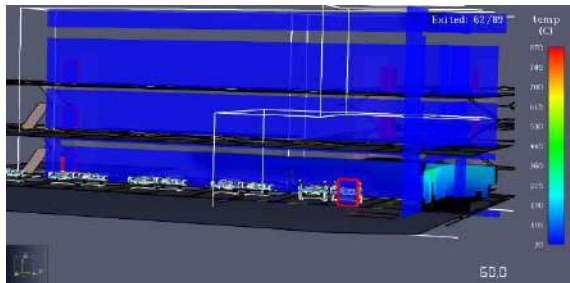


Figura 8. 58 - Temperature

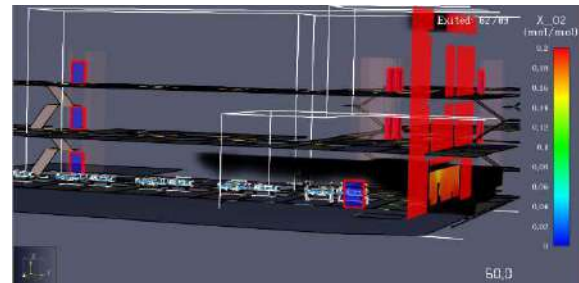


Figura 8. 59 - Oxygen Volume Fraction

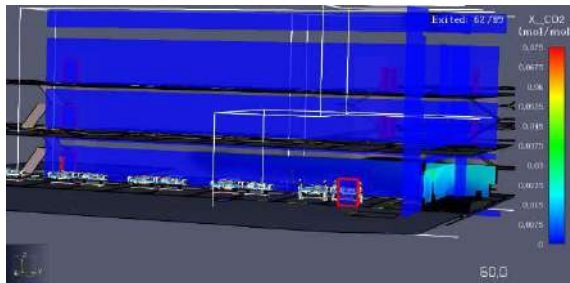


Figura 8. 60 – Carbon Dioxide Volume Fraction

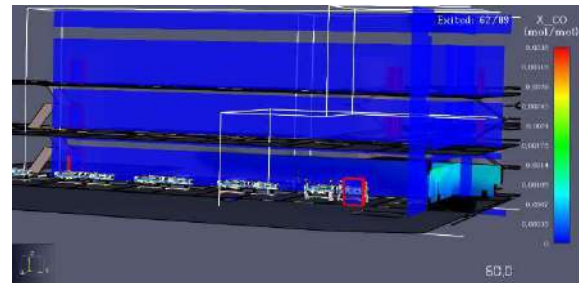


Figura 8. 61 – Carbon Monoxide Volume Fraction

O fumo atinge a metade do corredor, estando já o compartimento inicial tomado pelo fumo. Arranca o Sistema de Ventilação de Desenfumagem e a porta corta-fogo do compartimento / corredor é acionada.

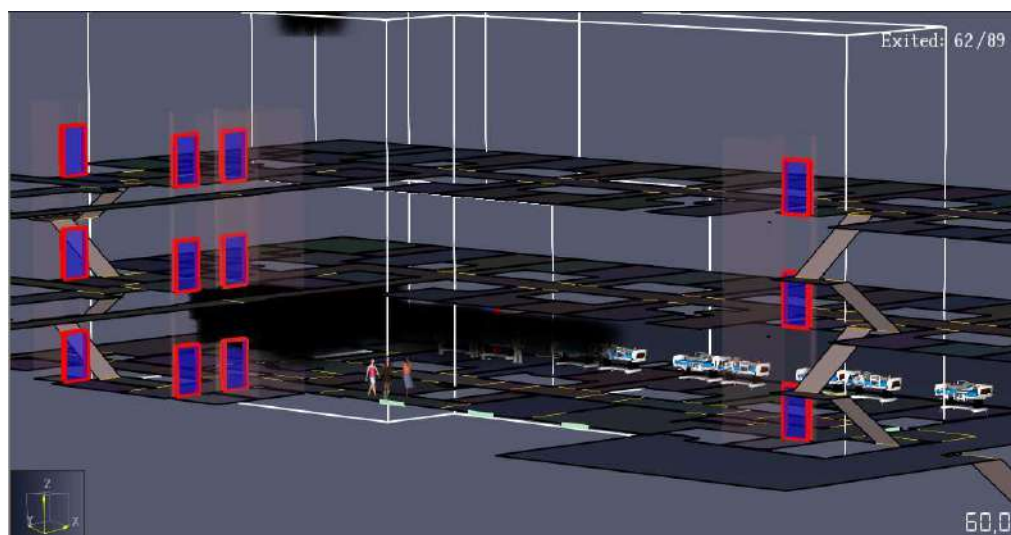


Figura 8. 62 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s

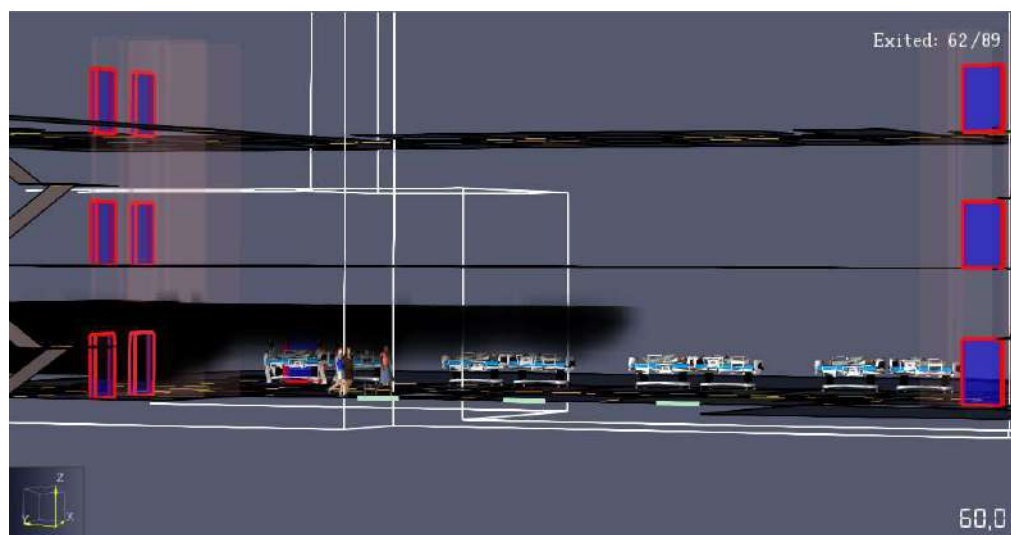


Figura 8. 63 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s

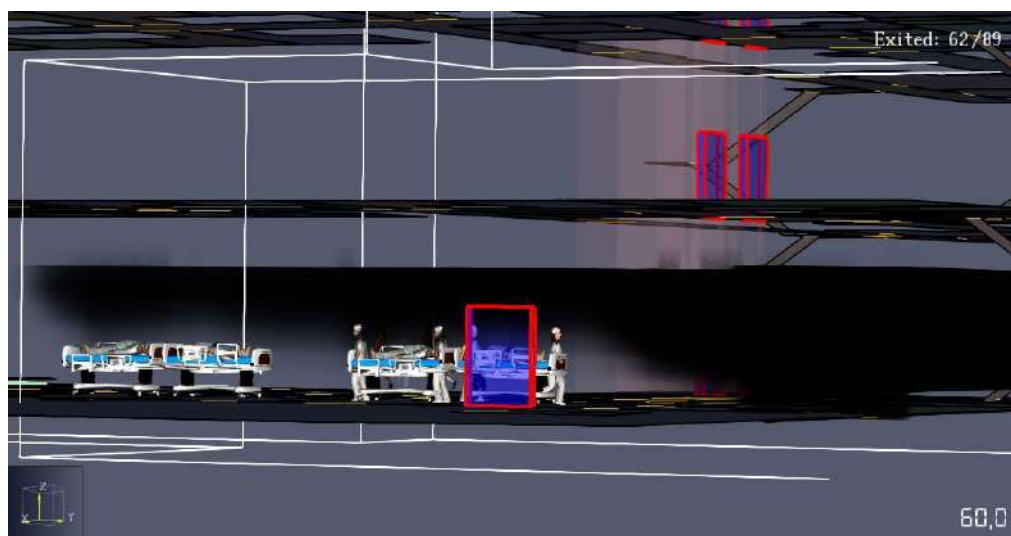


Figura 8. 64 – Fumo propaga pelo corredor aos 60s

Restam apenas 3 ocupantes autónomos que estão prestes a sair do edifício.

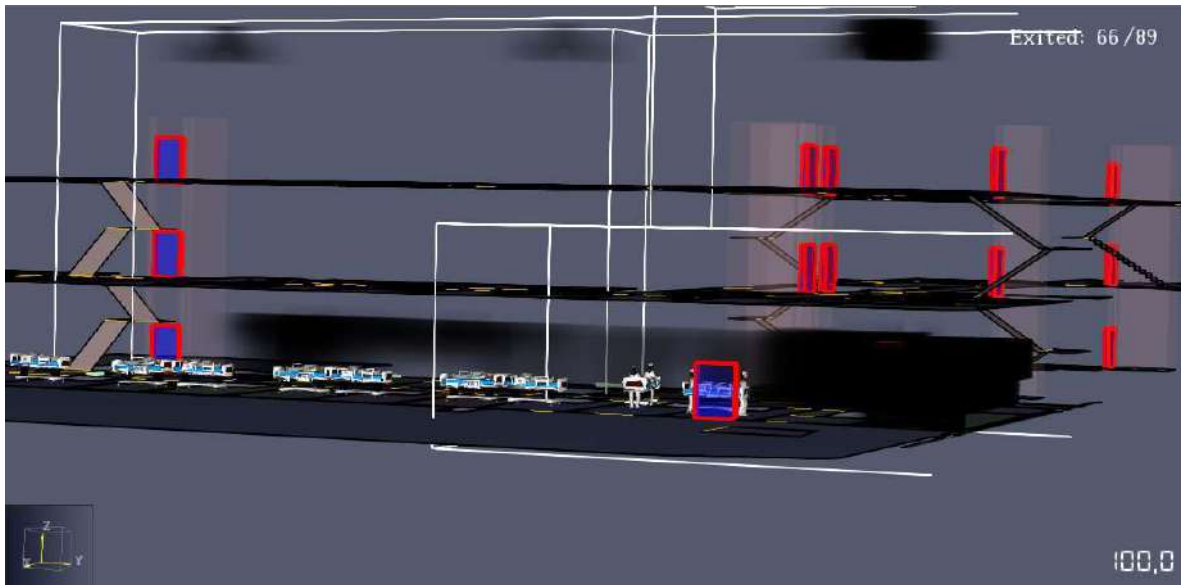


Figura 8. 65 - Simulação 100s

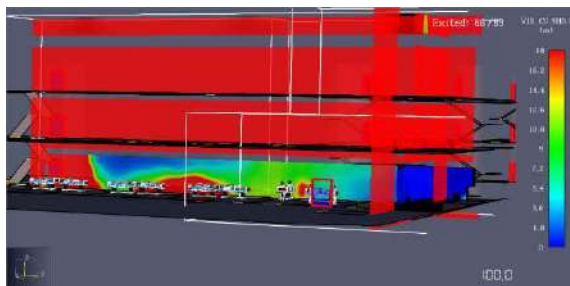


Figura 8. 66 - Visibility

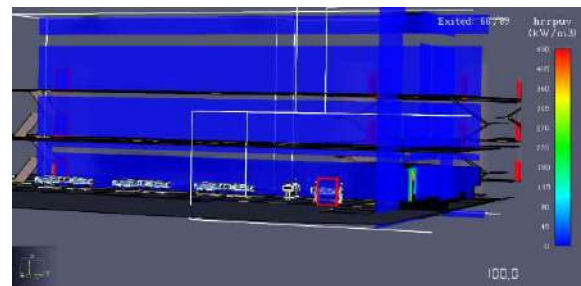


Figura 8. 67 - HRRPUV

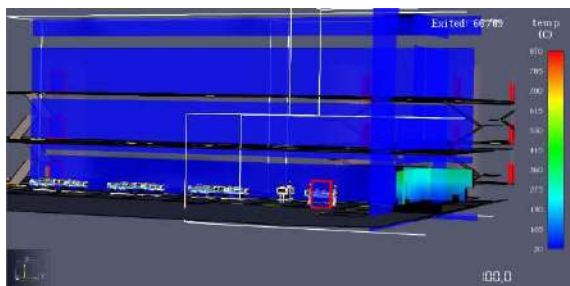


Figura 8. 68 - Temperature

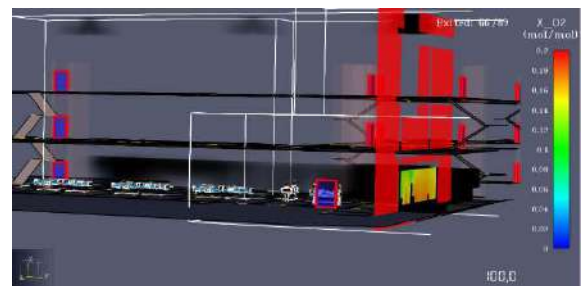


Figura 8. 69 - Oxygen Volume Fraction



Figura 8. 70 – Carbon Dioxide Volume Fraction

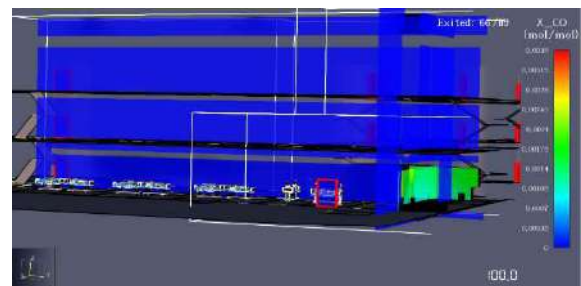


Figura 8. 71 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Inicia a evacuação do primeiro ocupante acamado. O fumo no corredor começa a dissipar-se.

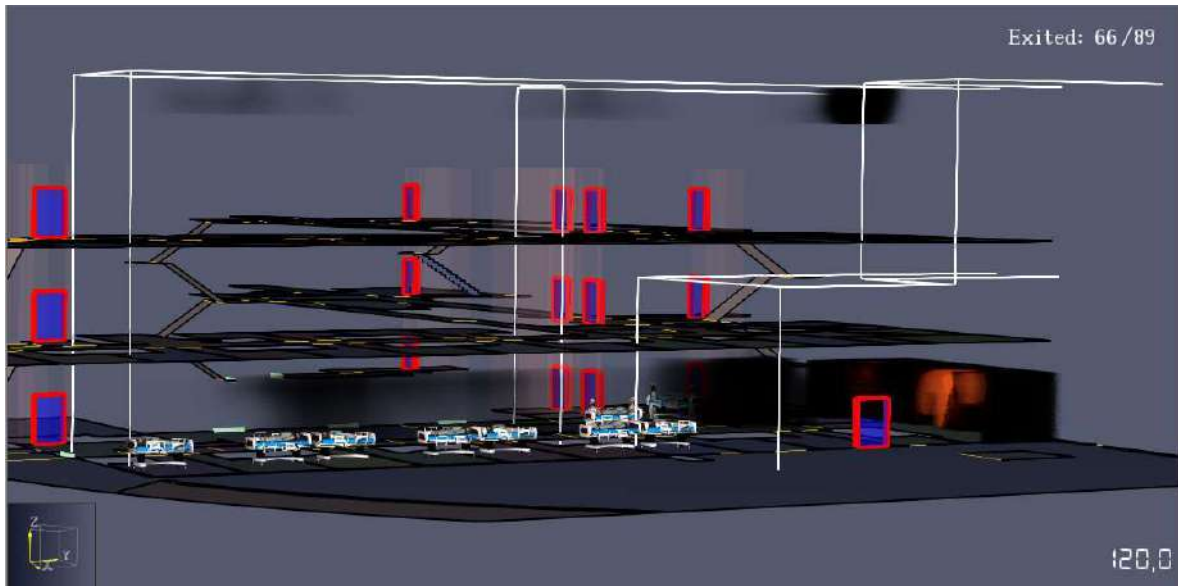


Figura 8. 72 Simulação aos 120s

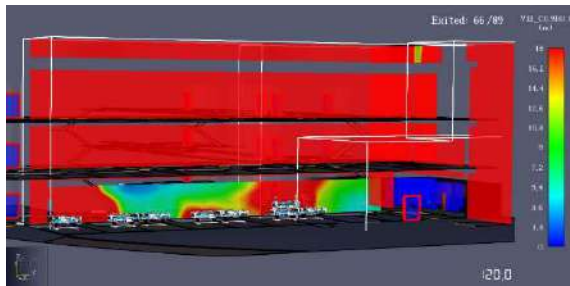


Figura 8. 73 - Visibility

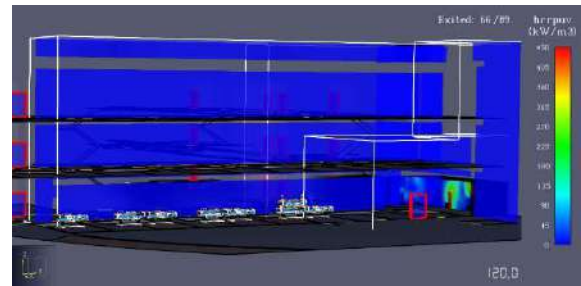


Figura 8. 74 - HRRPUV

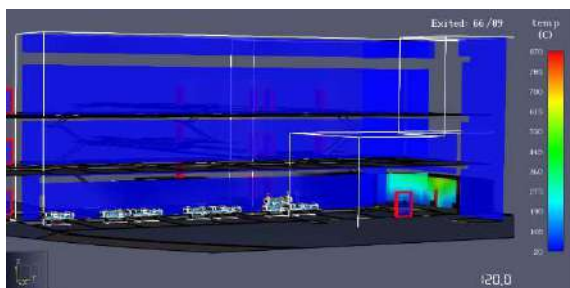


Figura 8. 75 - Temperature

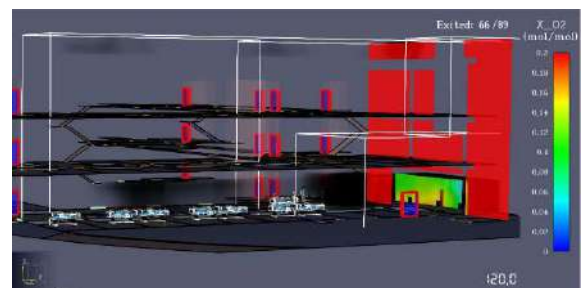


Figura 8. 76 - Oxygen Volume Fraction

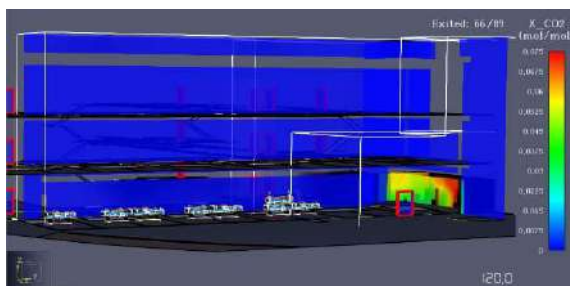


Figura 8. 77 – Carbon Dioxide Volume Fraction

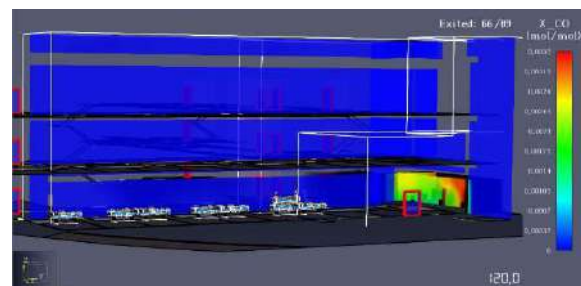


Figura 8. 78 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Em curso a evacuação do segundo ocupante acamado.

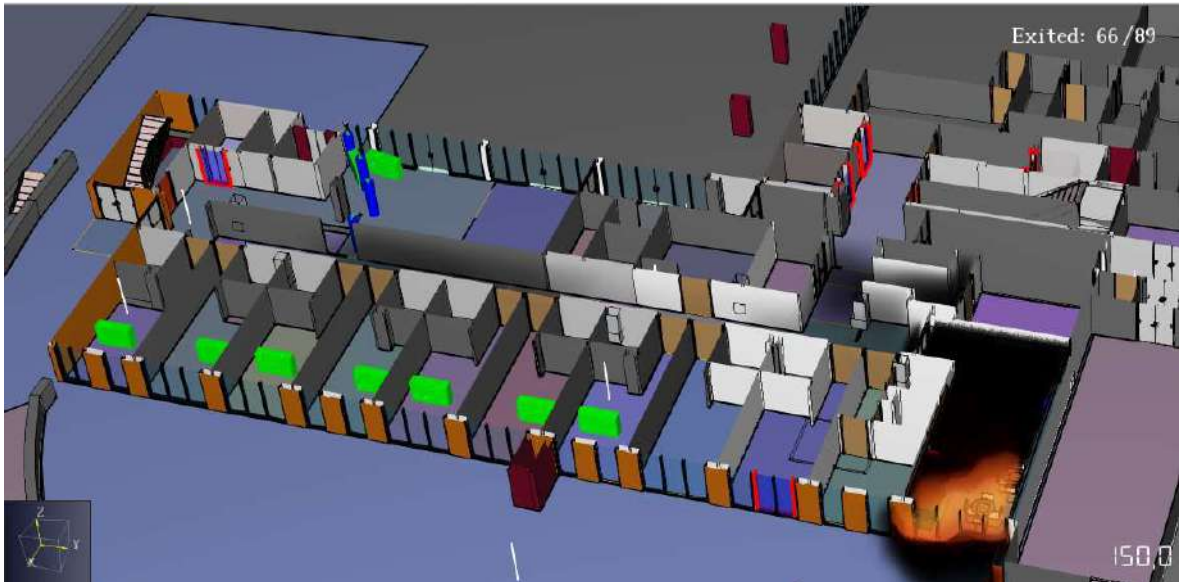


Figura 8. 79 – Simulação aos 150s

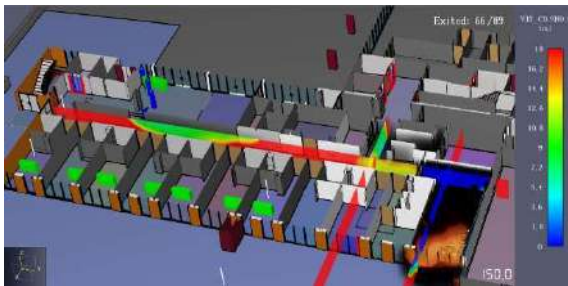


Figura 8. 80 - Visibility

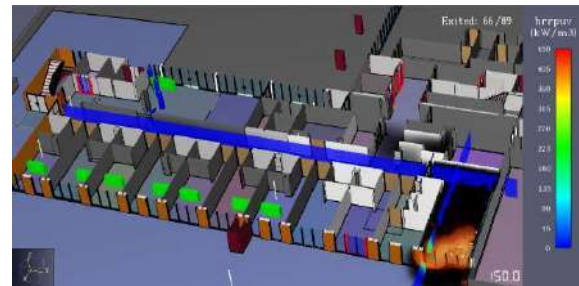


Figura 8. 81 - HRRPUV

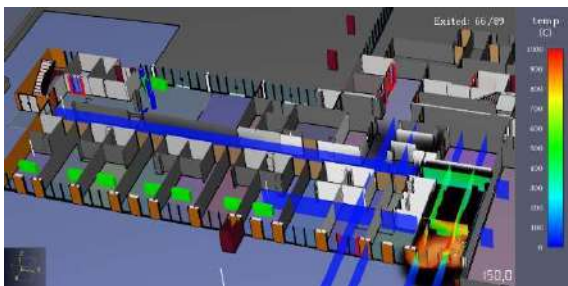


Figura 8. 82 - Temperature

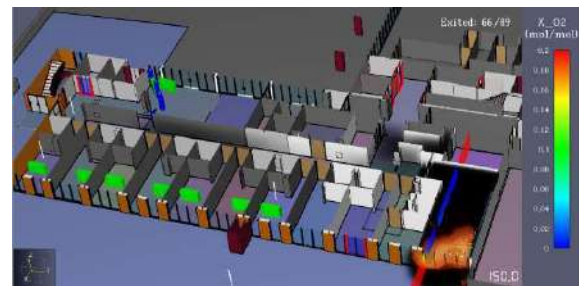


Figura 8. 83 - Oxygen Volume Fraction

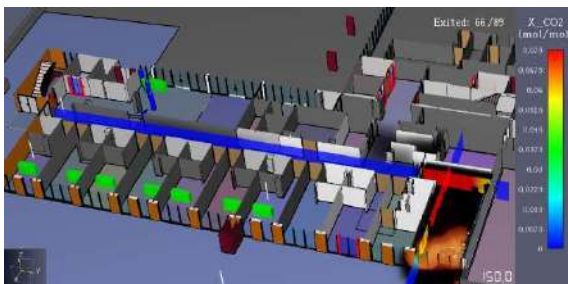


Figura 8. 84 – Carbon Dioxide Volume Fraction

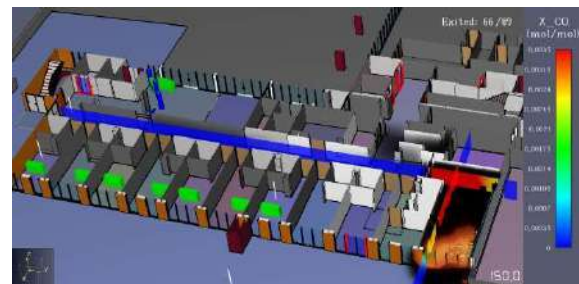


Figura 8. 85 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Os dois primeiros ocupantes acamados são colocados no setor de refúgio. O fumo no corredor é residual e percebe-se que a visibilidade mínima é de cerca de 7,20 m (slice visualização ativada - Visibilidade).

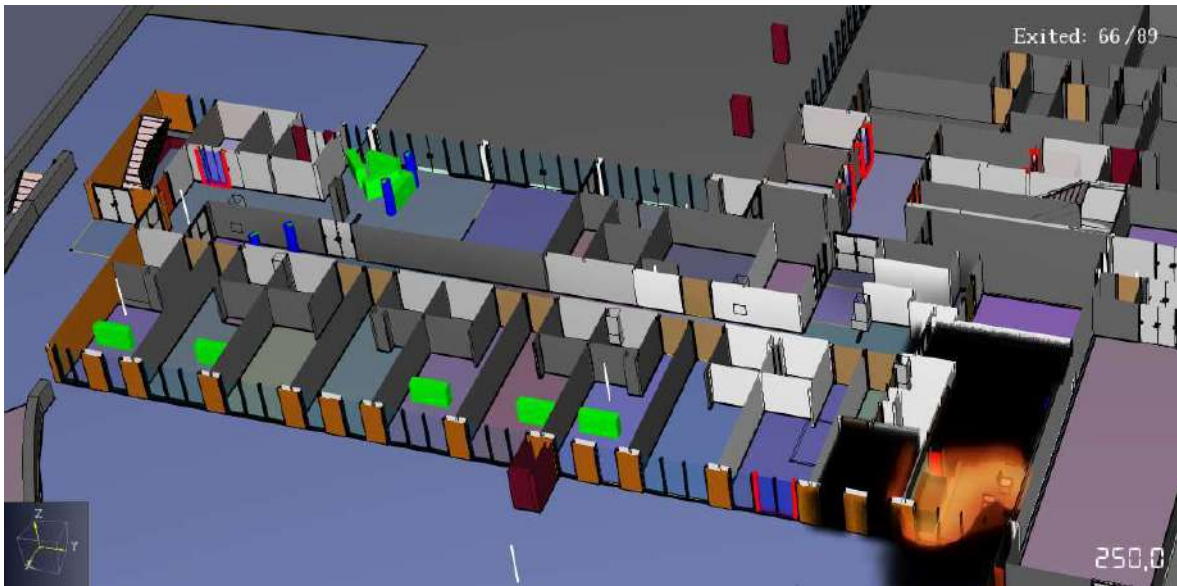


Figura 8. 86 – Simulação aos 250s

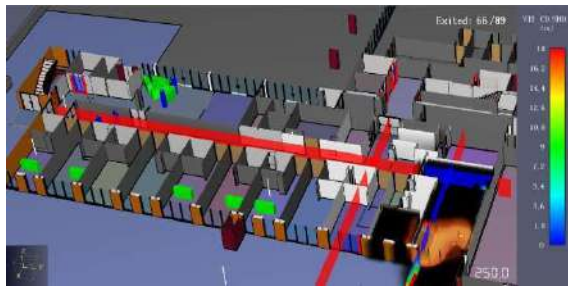


Figura 8. 87 - Visibility

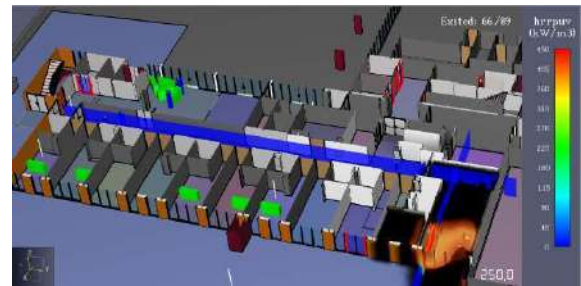


Figura 8. 88 - HRRPUV

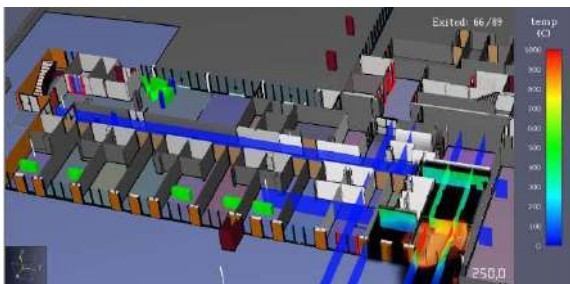


Figura 8. 89 - Temperature

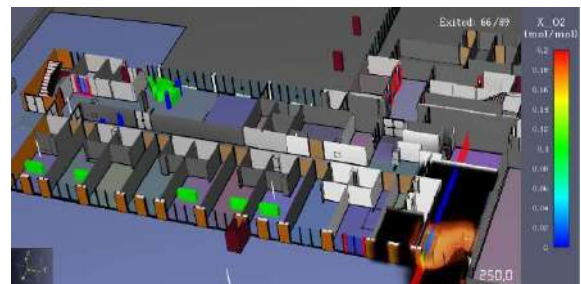


Figura 8. 90 - Oxygen Volume Fraction

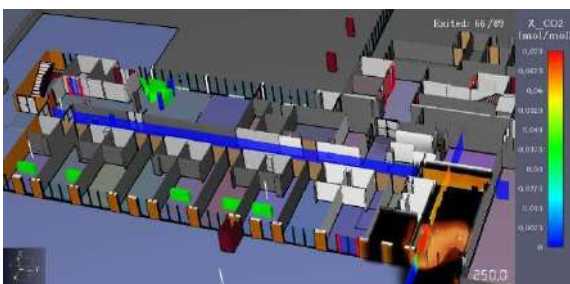


Figura 8. 91 – Carbon Dioxide Volume Fraction

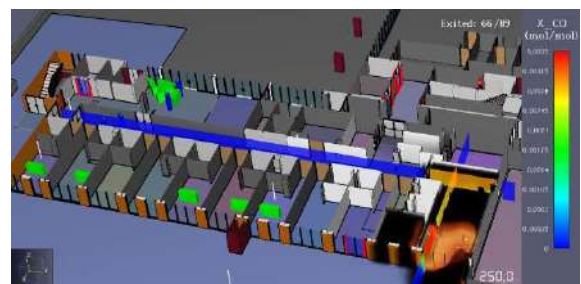


Figura 8. 92 – Carbon Monoxide Volume Fraction

O terceiro e o quarto ocupantes acamados são colocados no setor de refúgio, sendo a visibilidade no corredor de 18 m.

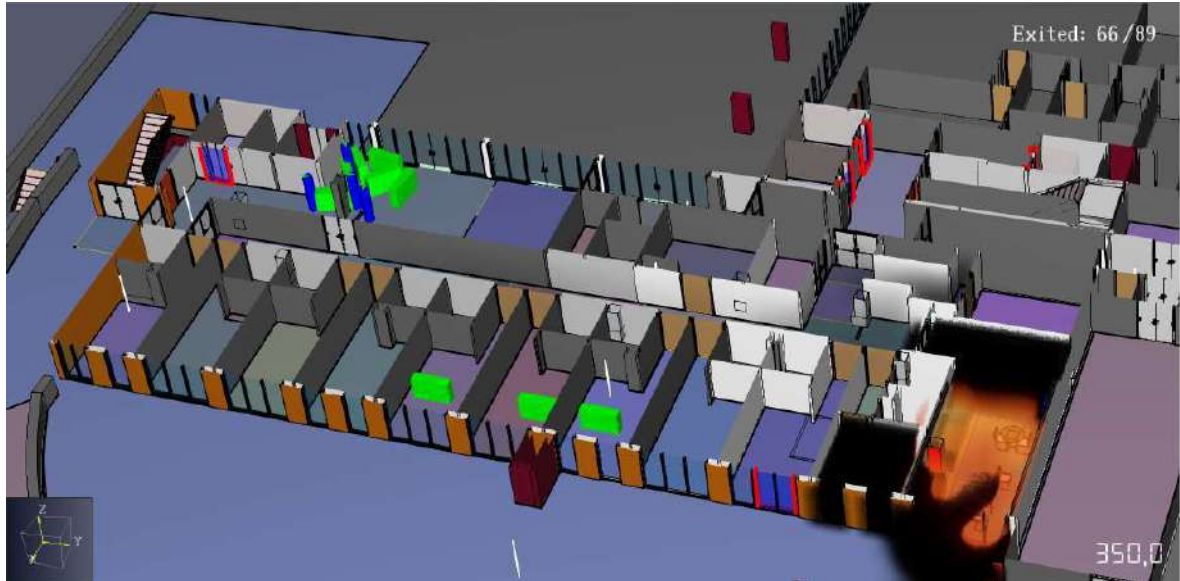


Figura 8. 93 – Simulação aos 350s

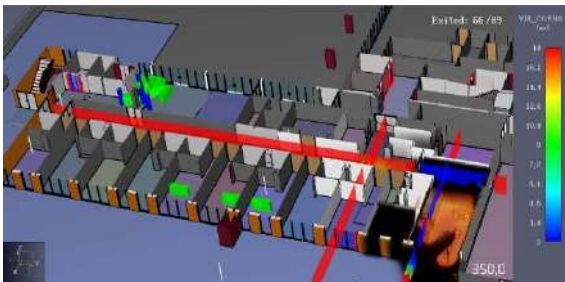


Figura 8. 94 - Visibility

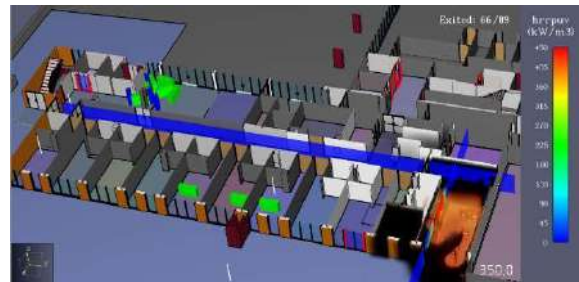


Figura 8. 95 - HRRPUV

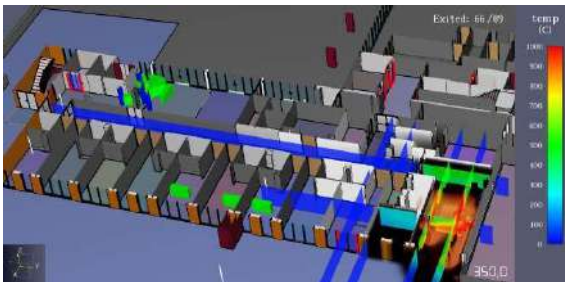


Figura 8. 96 - Temperature

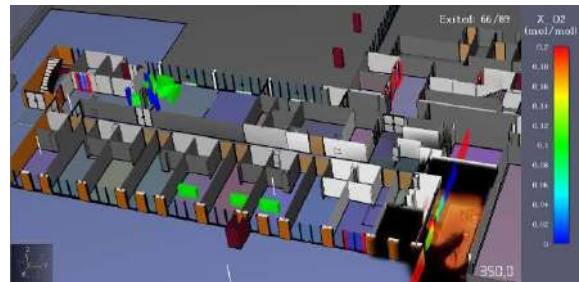


Figura 8. 97 - Oxygen Volume Fraction

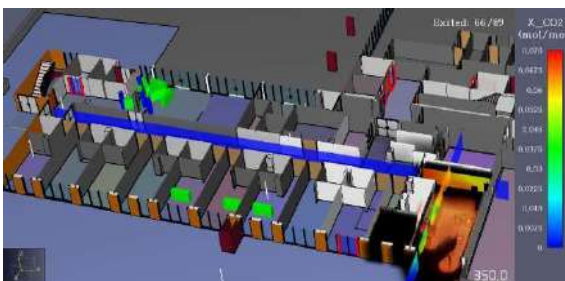


Figura 8. 98 – Carbon Dioxide Volume Fraction

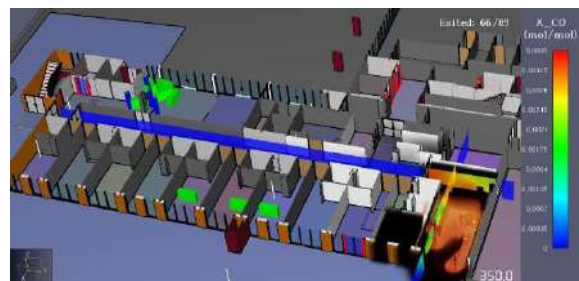


Figura 8. 99 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Aos 350 segundos, quinto e o sexto ocupantes acamados são colocados no setor de refúgio. A visibilidade mantém-se em 18 m em todo o corredor.

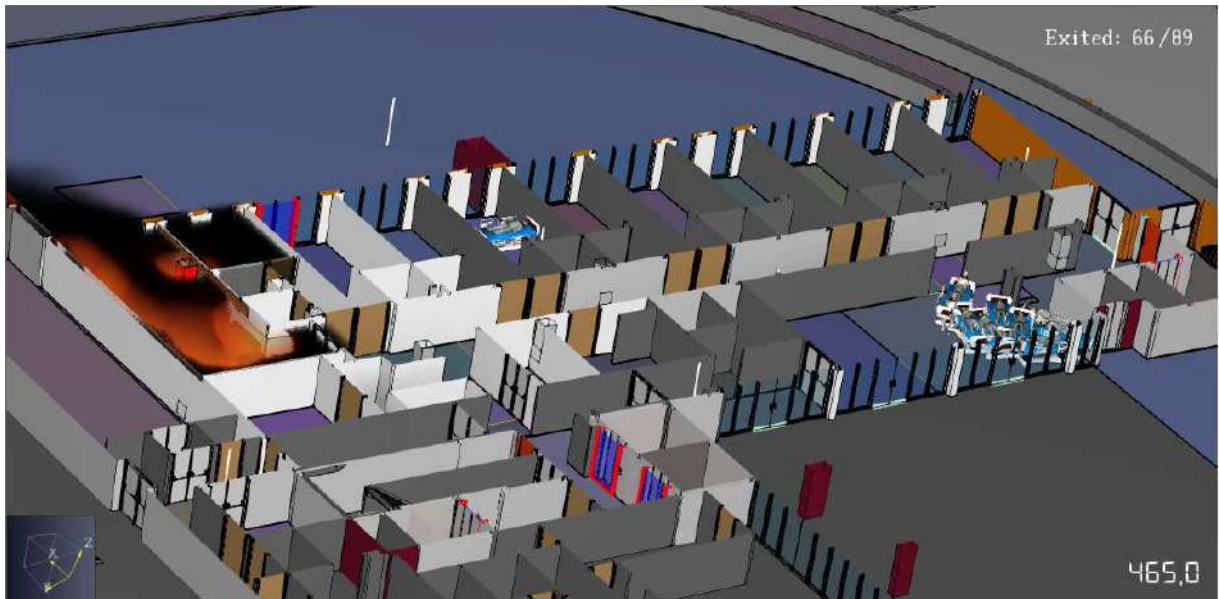


Figura 8. 100 – Simulação aos 465s

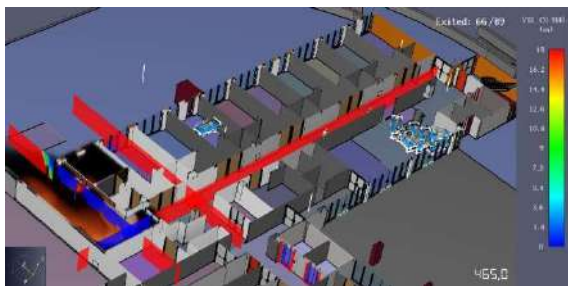


Figura 8. 101 - Visibility

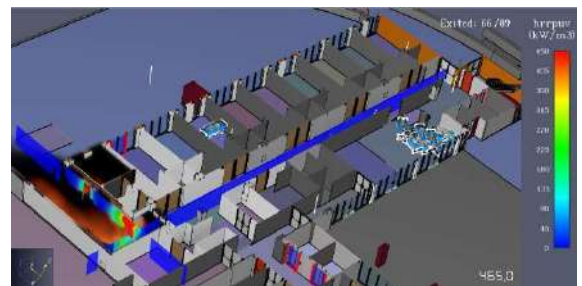


Figura 8. 102 - HRRPUV

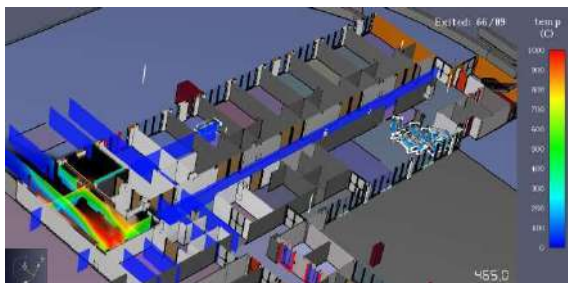


Figura 8. 103 - Temperature



Figura 8. 104 - Oxygen Volume Fraction

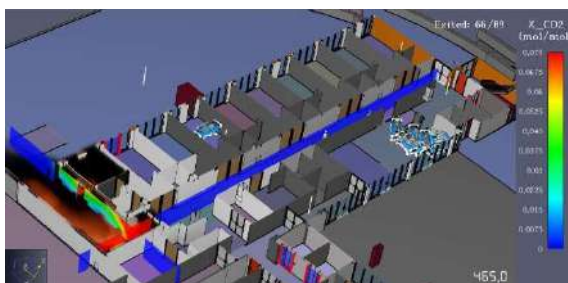


Figura 8. 105 – Carbon Dioxide Volume Fraction



Figura 8. 106 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Aos 465 segundos, o sétimo e oitavo ocupantes acamados são colocados no setor de refúgio. A visibilidade mantém-se em 18 m em todo o corredor.



Figura 8. 107 – Simulação aos 480s

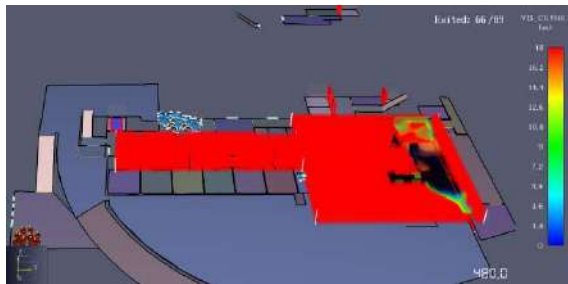


Figura 8. 108 – Visibility (3D)

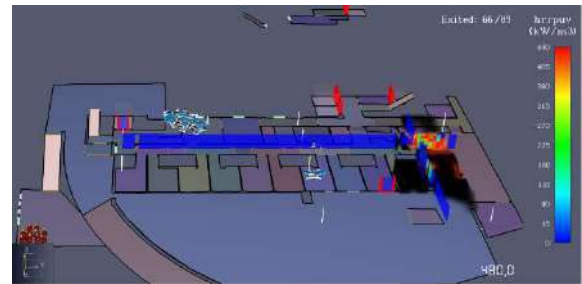


Figura 8. 109 - HRRPUV

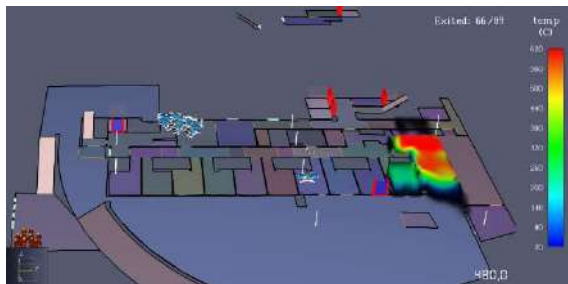


Figura 8. 110 - Temperature (3D)

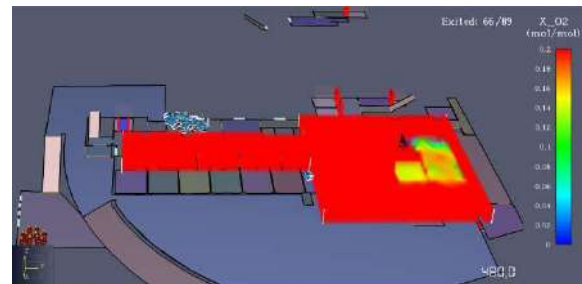


Figura 8. 111 - Oxygen Volume Fraction (3D)

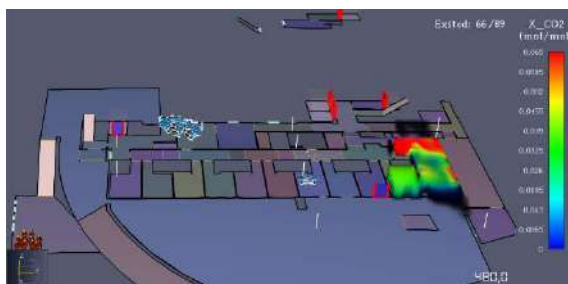


Figura 8. 112 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D)

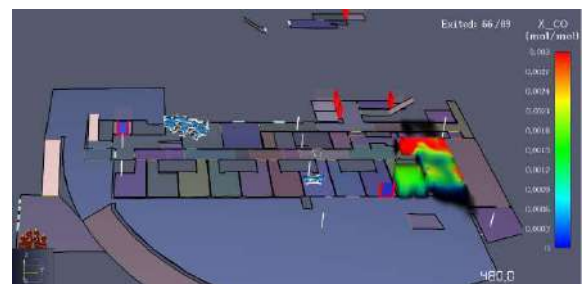


Figura 8. 113 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D)

Os bombeiros iniciam a operação aos 480 segundos.

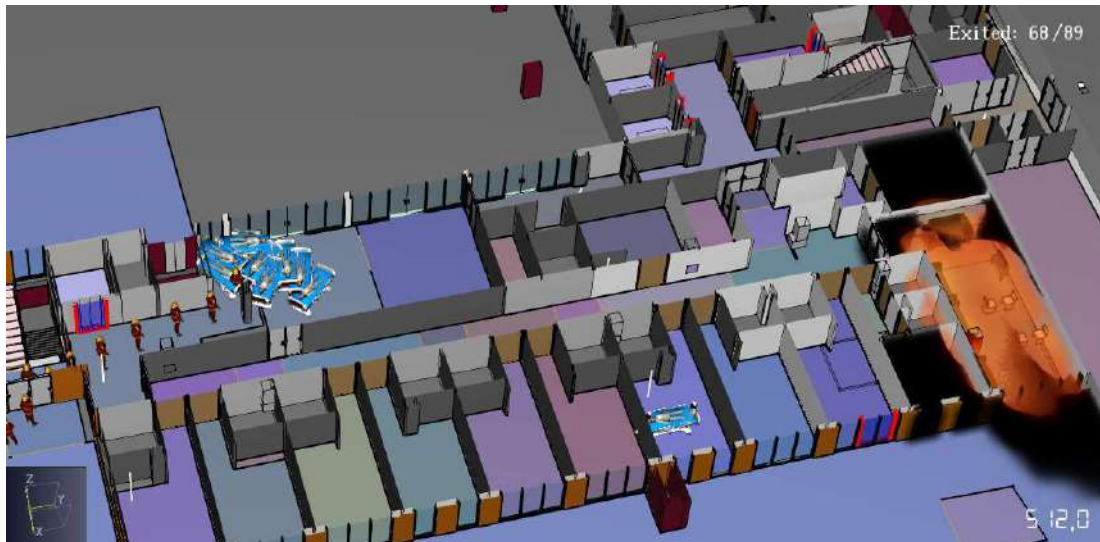


Figura 8. 114 – Simulação aos 512s

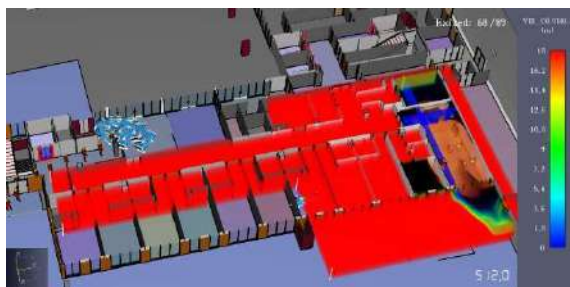


Figura 8. 115 – Visibility (3D)

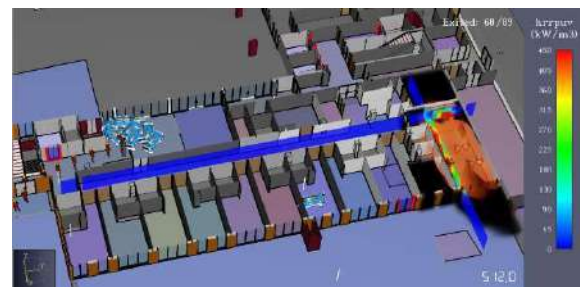


Figura 8. 116 - HRRPUV

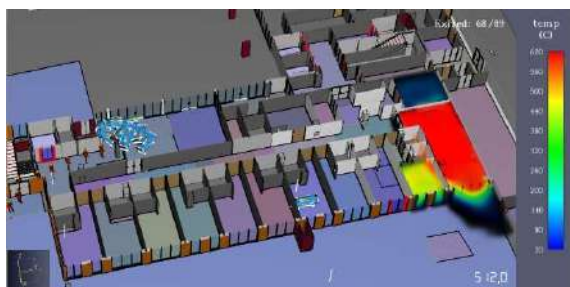


Figura 8. 117 - Temperature (3D)

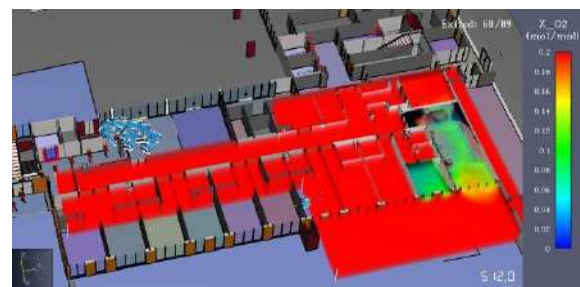


Figura 8. 118 - Oxygen Volume Fraction (3D)

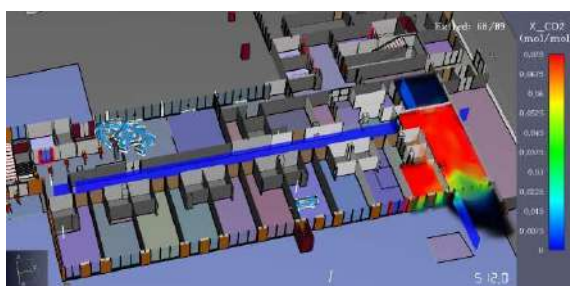


Figura 8. 119 – Carbon Dioxide Volume Fraction (3D)



Figura 8. 120 – Carbon Monoxide Volume Fraction (3D)

Aos 512 segundos os bombeiros alcançam os primeiros ocupantes acamados e retiram os ocupantes acamados do setor de refúgio para o exterior.



Figura 8. 121 – Simulação aos 560s

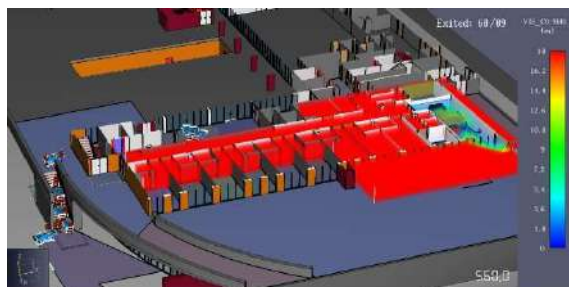


Figura 8. 122 - (3D – Fumo desativado)

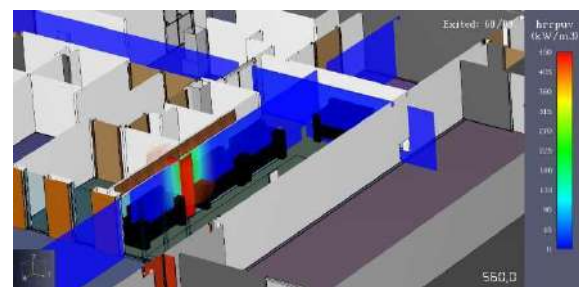


Figura 8. 123 – HRRPUV (fumo desativado)

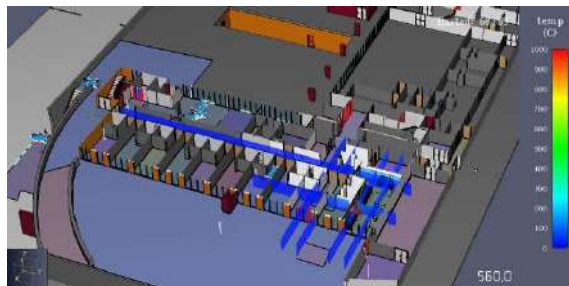


Figura 8. 124 – Temperature



Figura 8. 125 - Oxygen Volume Fraction



Figura 8. 126 – Carbon Dioxide Volume Fraction



Figura 8. 127 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Aos 560 segundos, observam-se os ocupantes acamados a saírem do edifício e a “saírem” da simulação.

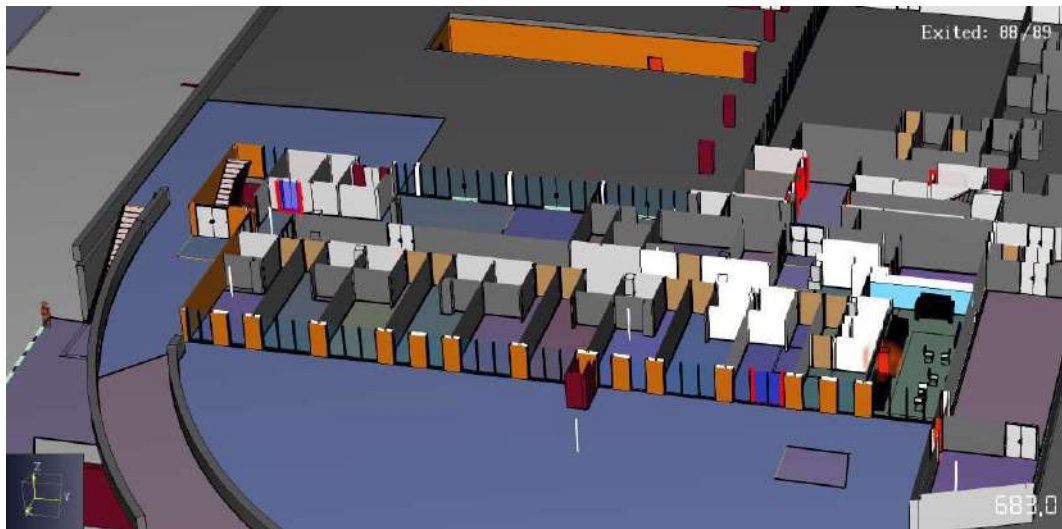


Figura 8. 128 Simulação aos 683s



Figura 8. 129 – Visibility

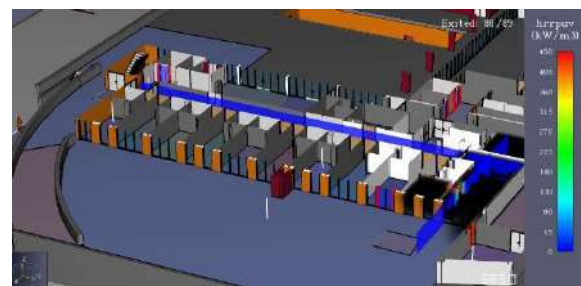


Figura 8. 130 – HRRPUV

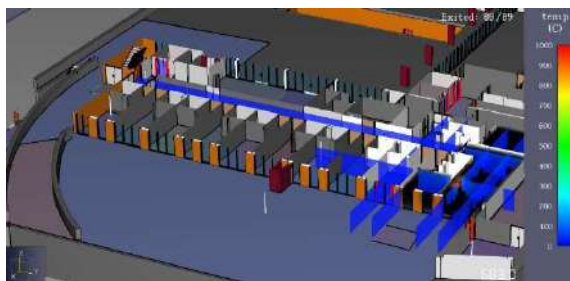


Figura 8. 131 – Temperature



Figura 8. 132 - Oxygen Volume Fraction

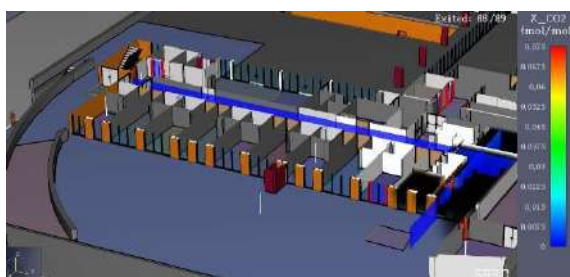


Figura 8. 133 – Carbon Dioxide Volume Fraction



Figura 8. 134 – Carbon Monoxide Volume Fraction

Aos 683 segundos, verifica-se que todos os ocupantes saíram. O último bombeiro está perto da saída.

Verificou-se o fenómeno de flashover. Este fenómeno está devidamente descrito no Anexo 1

### 8.3.1.5 - Quadro final com resumo de evacuação

Foi possível observar que dos 89 ocupantes, todos foram evacuados em segurança.

No gráfico abaixo estão indicados os números de ocupantes por compartimento. Importa perceber que a entrada de cada elemento para auxílio de evacuação é contabilizada como ocupante. Dada a morosidade para evacuação dos utentes acamados face aos tempos de evacuação dos utentes autónomos, foram apenas considerados os compartimentos onde se encontram os utentes acamados.

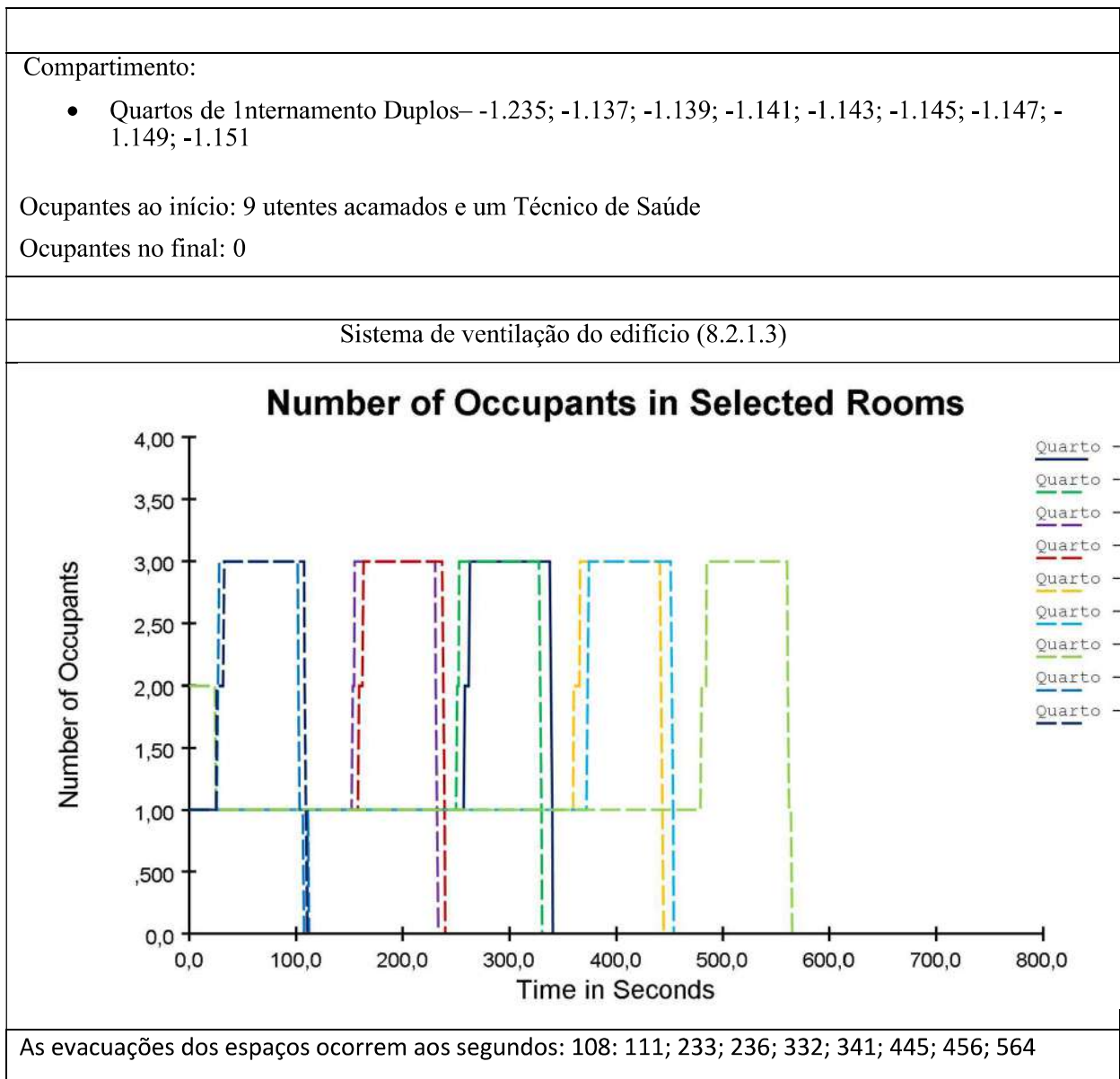


Gráfico 8. 1 – Número de ocupantes nos compartimentos

### 8.3.2 - Cenário A1

#### 8.3.2.1 - Efetivo considerado

Para o cenário A1 foi considerado o seguinte efetivo indicado no quadro abaixo de acordo com o Plano de Emergência

LOCAL	AREA	INDICE	OCUPANTES	OBS	CLASSIFICAÇÃO
Sala de Observação / Tratamentos	16	0,2	4		A
Desinfecção 2	3,9	0	0		A
Sala de Sujos e Despejos	3	0	0		A
Sala de Apoio Familiares / Acolhimento	11,1	Lugares	5		A
Incubadora Cuidados Especiais	27,5	0,1	3		D
Controlo e Trabalho Enfermagem	4,9	0,1	1		A
Sujos 2	2,2	0	0		A
Sala de Cuidados intensivos 1	20	0,2	4		D
Adufa	6,7	0	0		A
Sala de Cuidados intensivos 2	23,5	0,2	5		D
Cuidados Intermédios	30	0,2	6		D
Posto de Enfermagem	11,9	0,1	1		A
Médicos	16,8	0,5	1		A
Controlo Piso 2 - 2.168	5,5	0,1	1		A
Secretariado cirurgia 2º piso	9,4	0,2	2	(*)	A

Sala de Tratamento Piso 1	23,3	0,2	1	(*)	A
Receção Maternidade R/C	27,5	0,2	1	(*)	A
Controlo Piso 1	5,5	0,1	1	(*)	A
TOTAL			36		

Quadro 8. 17 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

\*) Elementos de outros setores considerado para apoio à evacuação no setor em estudo

### 8.3.2.2 - Ocupantes considerados na simulação

No quadro seguinte apresenta-se uma listagem do efetivo, com indicação das suas funções.

LOCAL	FUNÇÃO	Q	FUNÇÃO	Q	FUNÇÃO	Q	FUNÇÃO	Q
Sala de Observação / Tratamentos	Técnico de Saude	1	Gravidas	1	Acompanhantes	1	Crianças	1
Sala de Apoio Familiares / Acolhimento	Técnico de Saude	1	Gravidas	1	Acompanhantes	1	Crianças	2
Incubadora Cuidados Especiais	Técnico de Saude	1	BéBés em incubadora	2	Acompanhantes	1		
Controlo e Trabalho Enfermagem	Técnico de Saude	1						
Sala de Cuidados intensivos 1			Acamado	4				
Sala de Cuidados intensivos 2			Acamado	4				
Cuidados Intermédios	Cadeira de Rodas	2	Acamado	4				
Posto de Enfermagem	Técnico de Saude	1						

Médicos	Técnico de Saude	1					
Controlo Piso 2 - 2.168	Técnico de Saude	1					
Secretariado cirurgia 2º piso	RECEPCIONISTAS	2					
Sala de Tratamento Piso 1	Técnico de Saude	1					
Receção Maternidade R/C	Rececionistas	1					
Controlo Piso 1	Técnico de Saude	1					
TOTAL PARCIAL	14	16	3	3			
<b>Exterior</b>	<b>Bombeiros</b>	<b>10</b>					
TOTAL		<b>46</b>					

Quadro 8. 18 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

### 8.3.2.3 - Descrição da simulação de evacuação

Instante inicial com 46 ocupantes no cenário A1. Estes ocupantes estão distribuídos da seguinte forma: 29 no setor em estudo e 7 em setores próximos e que contribuem na evacuação de utentes acamados / mobilidade reduzida. 10 são os bombeiros que só iniciam a sua função de resgate após atingido o tempo de chegada.

Inicia o incêndio. Aos 20s o Técnico de Saúde do Posto de Enfermagem (2.134) vai averiguar o que se passa. Dirige-se ao compartimento Controlo e Trabalho Enfermagem e contacta o Posto de segurança.

Ao confirmar o incêndio (60s) é dado o alarme, iniciam-se a ventilação de desenfumagem e a evacuação dos ocupantes da zona B (Referencia do plano de Emergência da Clínica).

Neste cenário foi feita a simulação com a ventilação do edifício e apresentada uma proposta para desenfumagem mais eficiente.



Figura 8. 135 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)

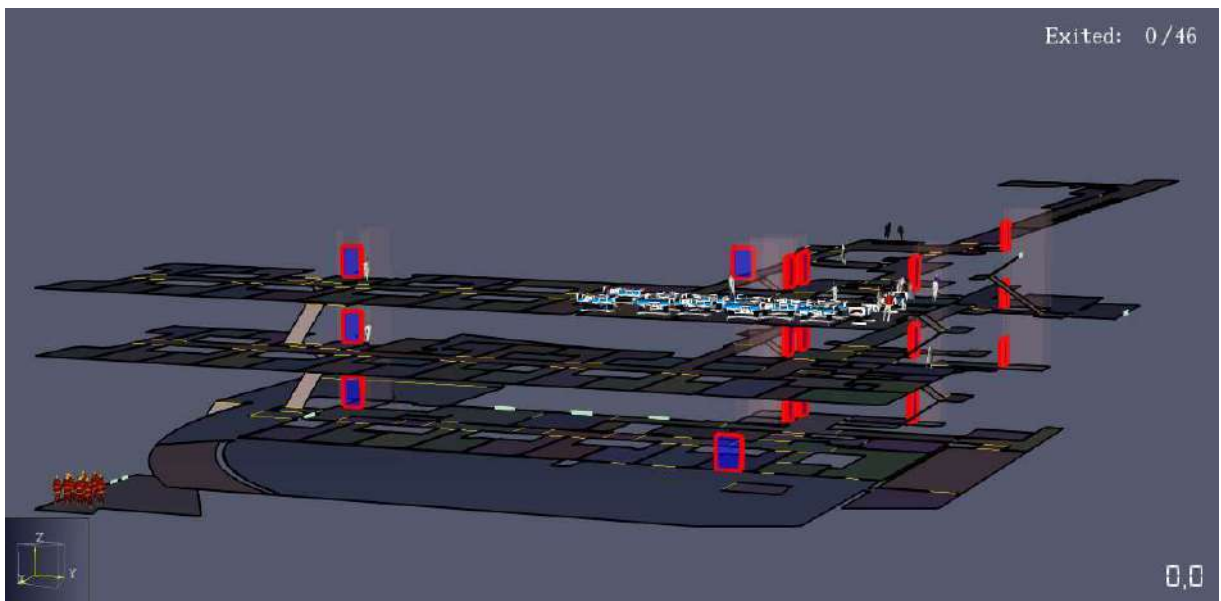


Figura 8. 136 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes)

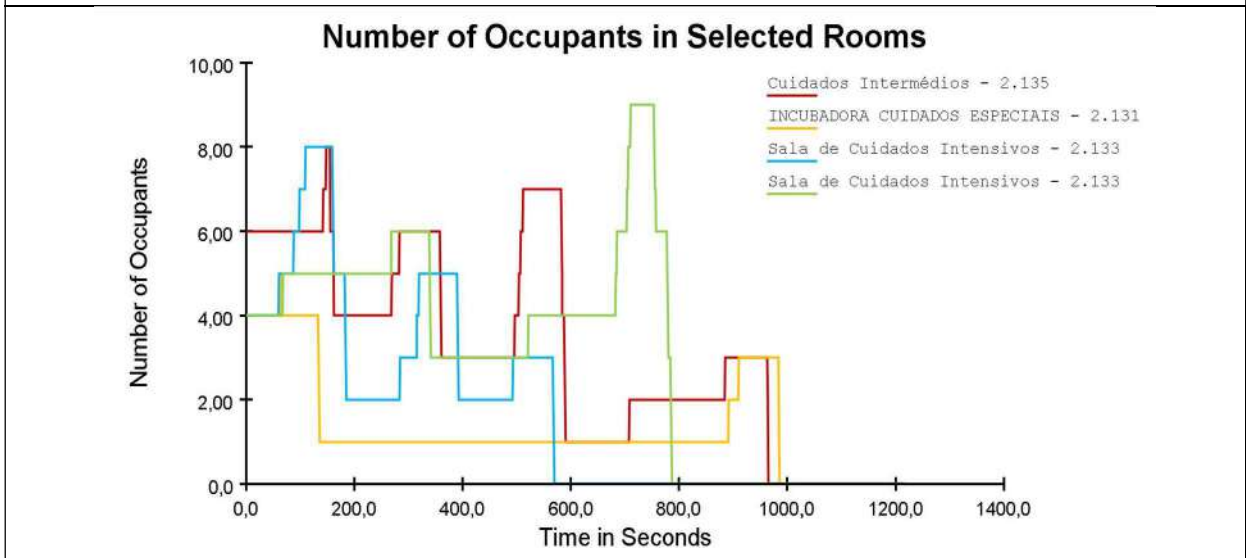
O desenvolvimento da simulação de incêndio e evacuação está apresentado no **Anexo 1**

### 8.3.2.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto

No quadro abaixo estão indicados o número de ocupantes por compartimento. Importa perceber que a entrada de cada elemento para auxílio de evacuação é contabilizada como ocupante. Dada a morosidade para evacuação dos utentes acamados face aos tempos de evacuação dos utentes autónomos, foram apenas considerados os compartimentos onde se encontram os utentes acamados.

Compartimento: Sala de cuidados intermédios – 2.135 Ocupantes ao início: 4 utentes acamados; 2 utentes em cadeira de rodas Ocupantes no final: 0
Compartimento: Sala de cuidados intensivos 2.134 Ocupantes ao início: 4 utentes acamados Ocupantes no final: 0
Compartimento: Sala de cuidados intensivos 2.133 Ocupantes ao início: 4 utentes acamados Ocupantes no final: 0
Compartimento: Sala de Incubadora – Cuidados Especiais Ocupantes ao início: 4 utentes acamados Ocupantes no final: 0
Sistema de ventilação do edifício (8.2.2.3)
As evacuações dos espaços ocorrem aos segundos: 615; 933; 1130; 1173.

Sistema de ventilação proposto (8.2.2.3)



As evacuações dos espaços ocorrem aos segundos: 569; 798; 969; 987.

Gráfico 8. 2 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos

Pela análise dos gráficos verifica-se que os tempos de evacuação da simulação do sistema de ventilação proposto são inferiores à simulação com o sistema de ventilação do edifício.

### 8.3.3 - Cenário A2

#### 8.3.3.1 - Efetivo considerado

Para o cenário A1 foi considerado o seguinte efetivo indicado no quadro abaixo de acordo com o Plano de Emergência

LOCAL	AREA	INDICE	OCUPANTES	OBS	CLASSIFICAÇÃO
Quarto 3	16,1	cama	2		D
Quarto 4	20,6	cama	2		D
Quarto 5	20,4	cama	2		D
Quarto 6	20,6	cama	2		D
Quarto 7	20,6	cama	2		D
Quarto 8	20,2	cama	2		D

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

Quarto 9	20,7	cama	2		D
Quarto 10	20,7	cama	2		D
Quarto 11	20,4	cama	2		D
Quarto 12	20,6	cama	2		D
Quarto 13	16,5	cama	1		D
Quarto 14	16,4	cama	1		D
Quarto 15	16,1	cama	1		D
Controlo Piso 2	5,2	0,1	1	(*)	A
Quarto Suite 1	34,7	cama	1		D
Quarto Suite 2	33,9	cama	1		D
Quarto Suite 3	23,9	cama	1		D
Sala de Observação / Tratamentos	16	0,2	1	(*)	A
Sala de Apoio Familiares / Acolhimento	11,1	Lugares	1	(*)	A
Incubadora Cuidados Especiais	27,5	0,1	1	(*)	D
Controlo e Trabalho Enfermagem	4,9	0,1	1	(*)	A
Posto de Enfermagem	11,9	0,1	1		A
Médicos	16,8	0,5	1	(*)	A
Sala de Tratamento Piso 1	23,3	0,2	1	(*)	A
Receção Maternidade R/C	27,5	0,2	1	(*)	A
Controlo Piso 1	5,5	0,1	1	(*)	A
<b>TOTAL</b>			<b>36</b>		

Quadro 8. 19 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

\*) Elementos de outros setores considerado para apoio à evacuação no setor em estudo

### 8.3.3.2 - Ocupantes considerados na simulação

O quadro 8.20 discrimina o efetivo de acordo com o plano de emergência, por função desempenhada ou condição dos indivíduos.

LOCAL	FUNÇÃO	QUANT	FUNÇÃO	QUANT
Quarto 3			Acamado	2
Quarto 4			Acamado	2
Quarto 5			Acamado	2
Quarto 6			Acamado	2
Quarto 7			Acamado	2
Quarto 8			Acamado	2
Quarto 9			Acamado	2
Quarto 10			Acamado	2
Quarto 11			Acamado	2
Quarto 12			Acamado	2
Quarto 13			Acamado	1
Quarto 14			Acamado	1
Quarto 15			Acamado	1
Controlo Piso 2	Técnico de Saude	1		
Quarto Suite 1			Acamado	1
Quarto Suite 2			Acamado	1
Quarto Suite 3			Acamado	1
Sala de Observação / Tratamentos	Técnico de Saude	1		
Sala de Apoio Fami. / Acolh.	Técnico de Saude	1		

Incubadora Cuidados Especiais	Técnico de Saúde	1		
Controlo e Trabalho Enfermagem	Técnico de Saúde	1		
Posto de Enfermagem	Técnico de Saúde	1		
Médicos	Técnico de Saúde	1		
Sala de Tratamento Piso 1	Técnico de Saúde	1		
Receção Maternidade R/C	Rececionista	1		
Controlo Piso 1	Técnico de Saúde	1		
TOTAL PARCIAL		10		26
<b>Exterior</b>	<b>Bombeiros</b>	<b>10</b>		
TOTAL GERAL				<b>46</b>

Quadro 8. 20 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

### 8.3.3.3 - Descrição da simulação de evacuação

Instante inicial com 46 ocupantes. Estes ocupantes estão distribuídos da seguinte forma: 27 no setor em estudo (26 utentes acamados e 1 Técnico de Saúde) e 8 de setores próximos e que contribuem na evacuação de utentes acamados / mobilidade reduzida. 10 são os bombeiros que só iniciam a sua função de resgate após atingido o tempo de chegada.

Inicia o incêndio. Aos 20s o Técnico de Saúde do Posto de Controlo (2.168) vai averiguar o que se passa. Dirige-se ao corredor, verifica que há um incêndio, regressa ao Posto de Controlo e contacta o Posto de Segurança.

Ao confirmar o incêndio é dado o alarme (60s), iniciam-se a ventilação de desenfumagem e a evacuação de emergência do setor C (Referencia do plano de Emergência da Clínica).

Neste cenário foi feita a simulação com a ventilação do edifício e apresentada uma proposta para desenfumagem mais eficiente (8.2.3.3).



Figura 8. 137 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)

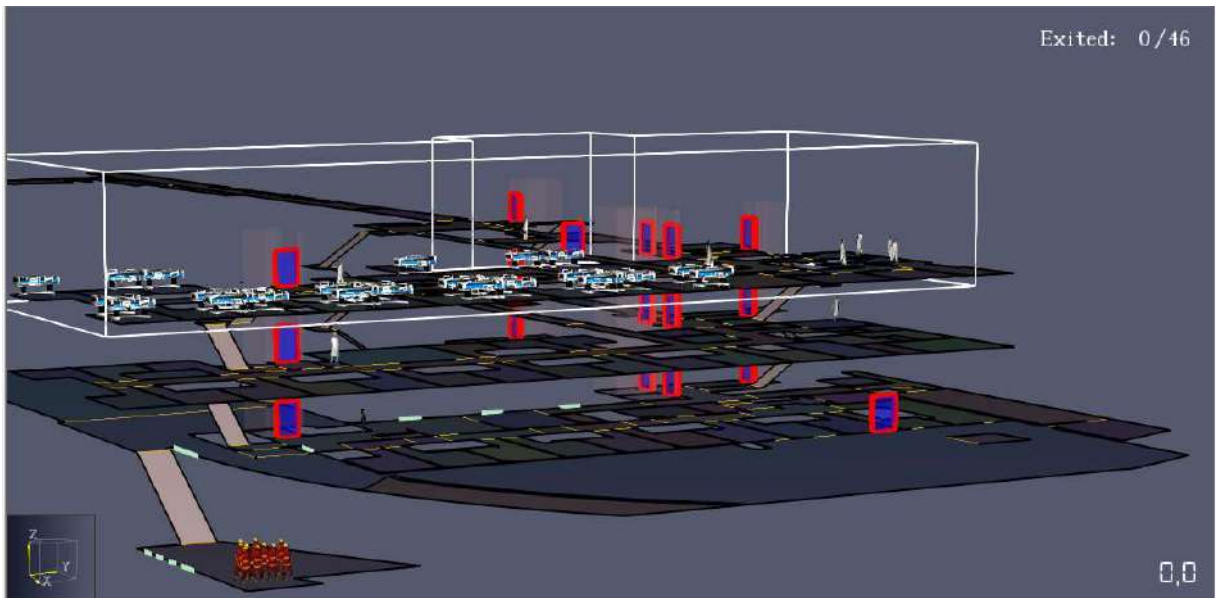


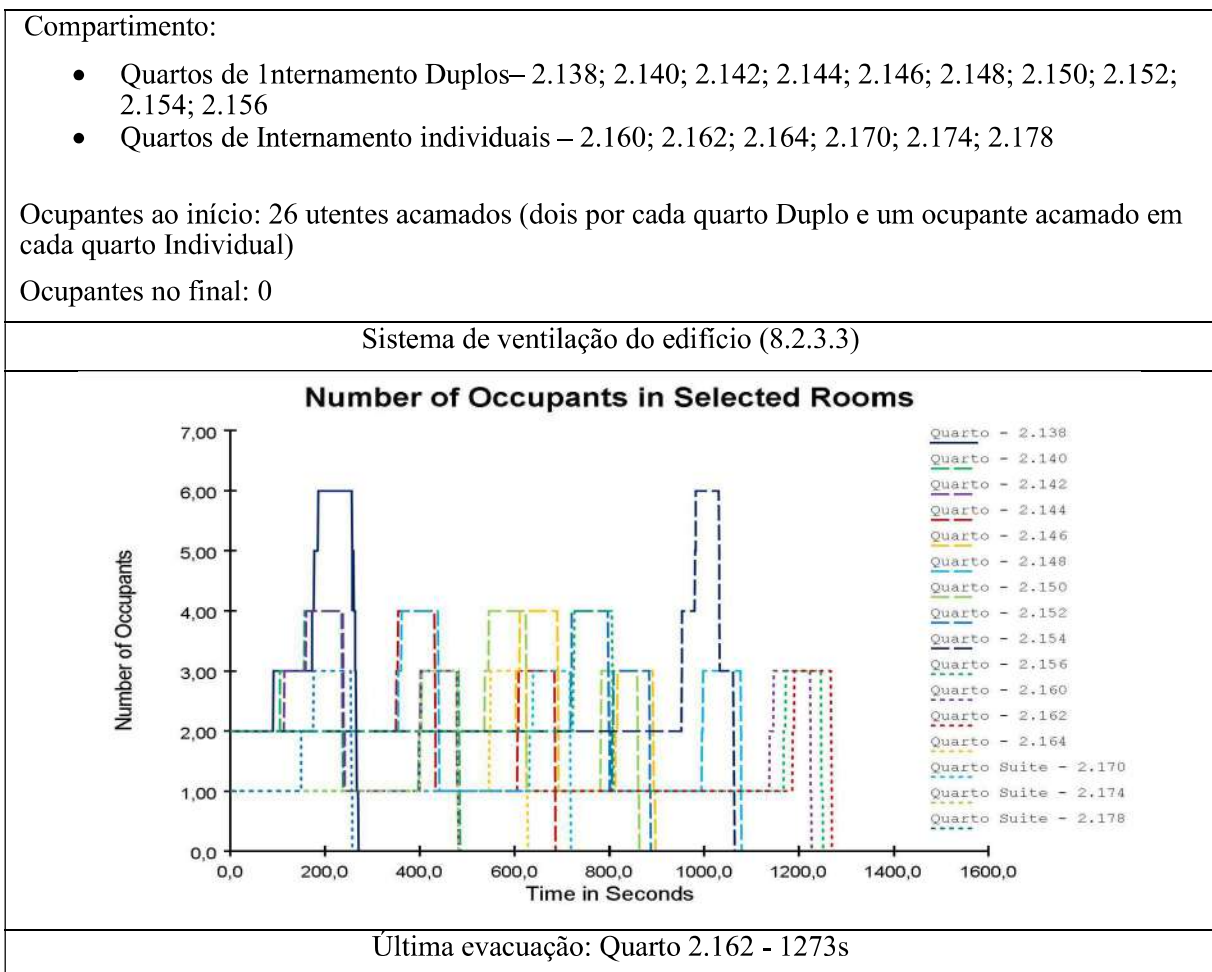
Figura 8. 138 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes)

Proposta de aumento do caudal de desenfumagem (Insuflação e extração) para reduzir concentração de fumos das vias de evacuação e consequentemente aumentar distância de visibilidade.

O desenvolvimento da simulação de incêndio e evacuação está apresentado no **Anexo 2**

### 8.3.3.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto

No quadro abaixo estão indicados o número de ocupantes por compartimento. Importa perceber que a entrada de cada elemento para auxílio de evacuação é contabilizada como ocupante. Dada a morosidade para evacuação dos utentes acamados face aos tempos de evacuação dos utentes autónomos, foram apenas considerados os compartimentos onde se encontram os utentes acamados.



Sistema de ventilação proposto (8.2.3.3)

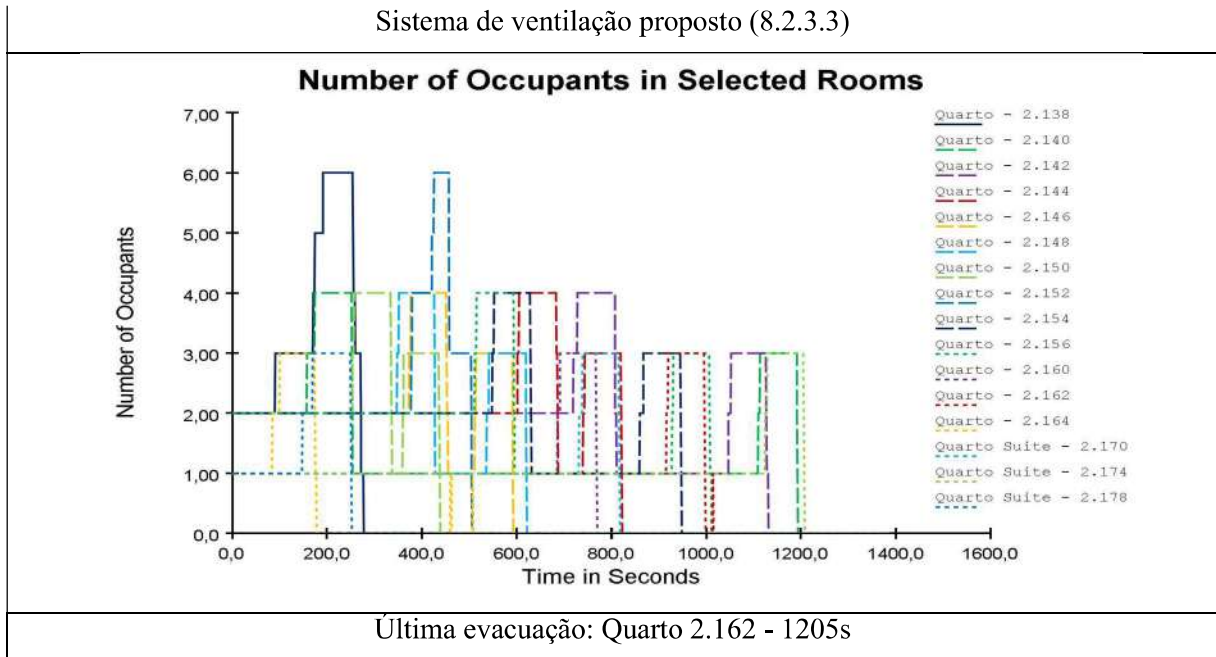


Gráfico 8. 3 – Número de ocupantes nos compartimentos - Gráficos Comparativos

Pela análise dos gráficos anteriores, verifica-se que os tempos de evacuação da simulação do sistema de ventilação proposto são inferiores à simulação com o sistema de ventilação do edifício.

### 8.3.4 - Cenário A.3

#### 8.3.4.1 - Efetivo considerado

Para o cenário A3 foi considerado o mesmo efetivo do cenário A2, visto que só se alterou a localização da fonte de incêndio.

#### 8.3.4.2 - Ocupantes considerados na simulação

À semelhança do efetivo, também o número de ocupantes e respetivas funções considerados para este cenário são idênticos ao cenário anterior pela razão atrás indicada.

#### 8.3.4.3 - Descrição da simulação de evacuação

Por este cenário só variar na localização da fonte de incêndio relativamente ao cenário A2, mantiveram-se todos os critérios.



Figura 8. 139 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)

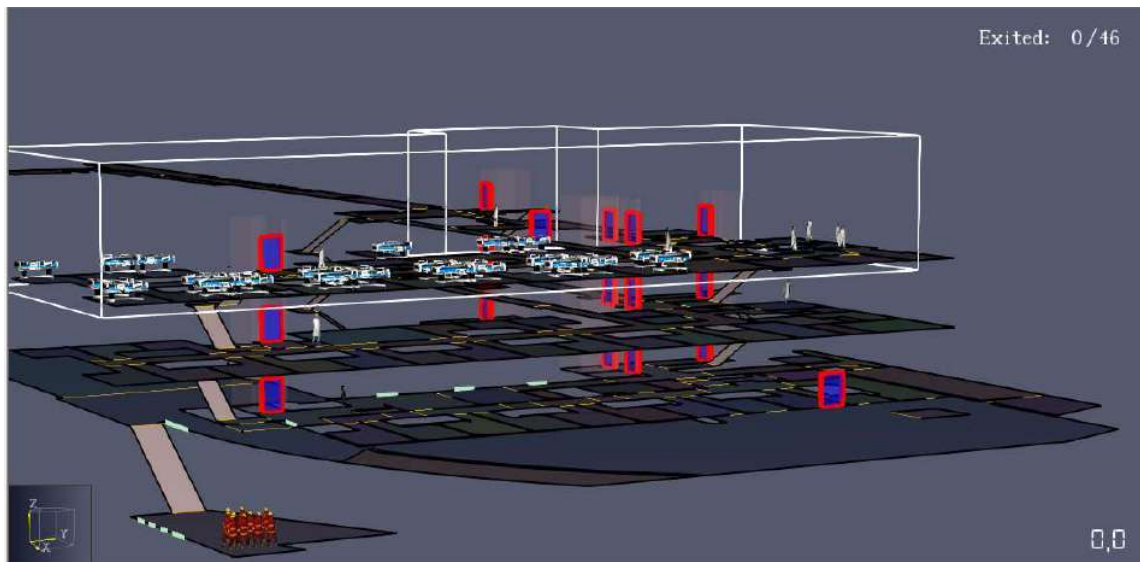


Figura 8. 140 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes)

O desenvolvimento da simulação de incêndio e evacuação está apresentado no **Anexo 3**

#### **8.3.4.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto**

No quadro abaixo estão indicados o número de ocupantes por compartimento. Importa perceber que a entrada de cada elemento para auxílio de evacuação é contabilizada como ocupante. Dada a morosidade para evacuação dos utentes acamados face aos tempos de evacuação dos utentes autónomos, foram apenas considerados os compartimentos onde se encontram os utentes acamados.

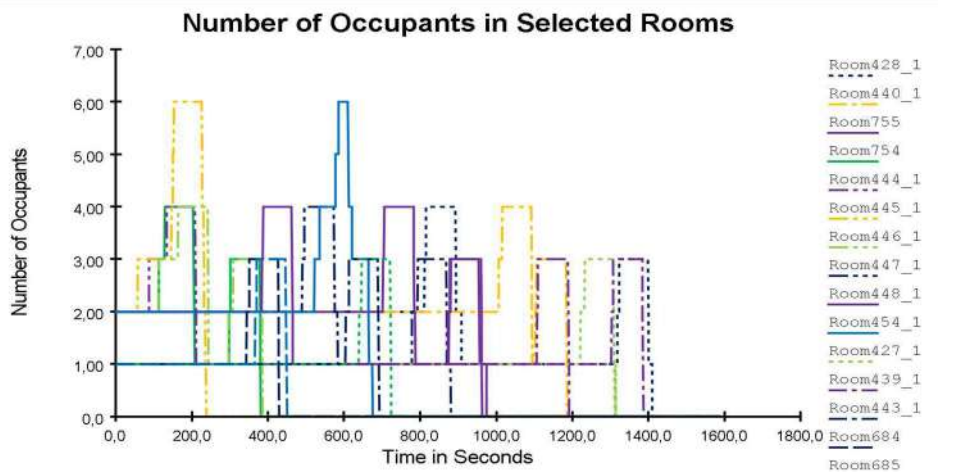
Compartimento:

- Quartos de internamento Duplos– 2.138; 2.140; 2.142; 2.144; 2.146; 2.148; 2.150; 2.152; 2.154; 2.156
- Quartos de Internamento individuais – 2.160; 2.162; 2.164; 2.170; 2.174; 2.178

Ocupantes ao início: 26 utentes acamados (dois por cada quarto Duplo e um ocupante acamado em cada quarto Individual)

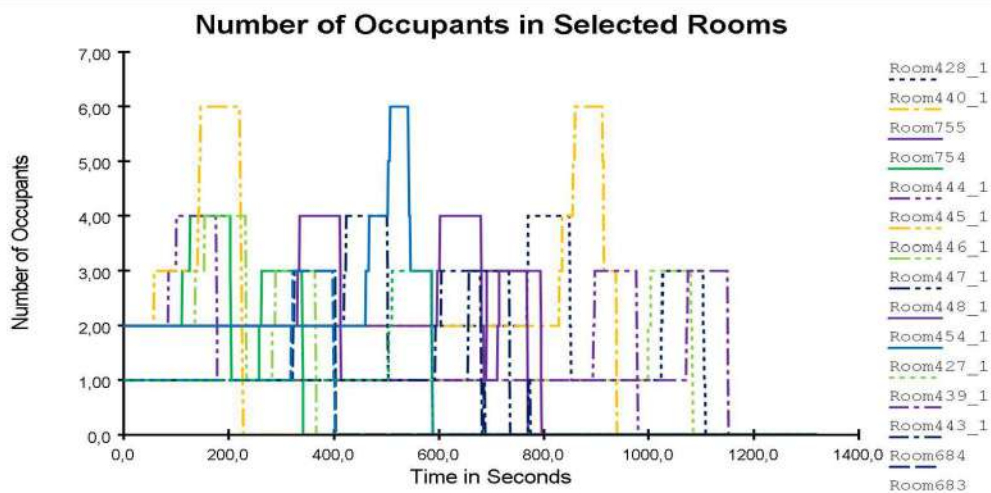
Ocupantes no final: 0

Sistema de ventilação do edifício (8.2.3.3)



As evacuações dos espaços ocorrem aos segundos:

Sistema de ventilação proposto (8.2.3.3)



As evacuações dos espaços ocorrem aos segundos: 567; 736; 964; 939.

Gráfico 8. 4 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos

Pela análise dos gráficos verifica-se que os tempos de evacuação da simulação do sistema de ventilação proposto são inferiores à simulação com o sistema de ventilação do edifício.

### 8.3.5 - Cenário B

#### 8.3.5.1 - Efetivo considerado

O efetivo considerado para o cenário B, de acordo com o Plano de Emergência foi o seguinte:

LOCAL	AREA	INDICE	OCUPANTES	OBS	CLASSIFICAÇÃO
Sala de exames 2	19,7	0,2	4		A
Consultório 1	13,5	0,3	5		A
Consultório 2	13,4	0,3	5		A
Gab. de Est. Func. Resp.	39,2	0,1	4		A
Secretariado 1	13,9	0,2	3		A
Consultório 3	13,5	0,3	5		A
Consultório 4	13,5	0,3	5		A
Consultório 5	13,4	0,3	5		A
Exames de Alergologia	32,2	0,2	7		A
Gabinete Sono	13,4	0,2	3		A
Quarto 1	10,5	cama	1		D
Quarto 2	10,5	cama	1		D
EMG	13,5	0,3	5		A
EEG	13,4	0,2	3		A
Consultório 6	13,5	0,3	5		A
Sala de Leitura	13,4	0,5		*	A
Consultório 7	13,5	0,3	5		A
Consultório 7	13,1	0,3	4		A
Consultório 8	13,1	0,3	4		A

Consultório 9	13,1	0,3	4		A
Consultório 10	13,1	0,3	4		A
Sala de Exames 3	13,2	0,2	3		A
Recobro 2	13,2	Lugares	4		D
Consultório 11	12,6	0,3	4		A
Consultório 12	17,6	0,3	6		A
Exames 1	13,1	0,2	3		A
Exames 2	13,1	0,2	3		A
Exames 3	13	0,2	3		A
Consulta 1	17,7	0,3	5		A
Consulta 2	18,6	0,3	6		A
Espera Playground	21,8	1	22		A
Sala de Espera 2	59,6	1	60		B
Sala de Exames Endoscópicos	20,1	0,2	5		D
Sala de Recuperação	8,3	0,2	2		D
Sala de Exames 4	14,3	0,2	3		A
Consultório 13	16,8	0,3	6		A
<b>TOTAL</b>			<b>217</b>		

Quadro 8. 21 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

\*) Elementos de outros setores considerado para apoio à evacuação no setor em estudo

### 8.3.5.2 - Ocupantes considerados na simulação

LOCAL	FUNÇÃO	Q	FUNÇÃO	Q	FUNÇÃO	Q
Sala de exames 2	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 1	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 2	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Secretariado 1	Rececionistas	2			Paciente	1
Consultório 3	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 4	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 5	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Exames de Alergologia	Técnico de Saude	4	Acompanhantes	2	Paciente	1
Gabinete Sono	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	Paciente	1
Quarto 1			Acamado	1		
Quarto 2			Acamado	1		
EMG	Técnico de Saude	2	Acamado	1	Acompanhantes	2
EEG	Técnico de Saude	1	Acamado	1	Acompanhantes	1
Consultório 6	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 7	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 7	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1

Consultório 8	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 9	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 10	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1
Sala de Exames 3	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	Paciente	1
Recobro 2			Acamado	4		
Consultório 11	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consultório 12	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	3	Paciente E	1
Exames 1	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	Paciente	1
Exames 2	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	Paciente	1
Exames 3	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	Paciente	1
Consulta 1	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	2	Paciente	1
Consulta 2	Técnico de Saude	2	Acompanhantes	3	Paciente	1
Espera Playground			Acompanhantes	11	Paciente	11
Sala de Espera 2			Acompanhantes	30	PACIENTE	30
Sala de Exames Endoscópicos	Técnico de Saude	3	Acompanhantes	1	Acamado	1
Sala de Recuperação			Acompanhantes	1	Acamado	1
Sala de Exames 4	Técnico de Saude	1	Acompanhantes	1	PACIENTE	1
Consultório	Técnico de	2	Acompanhantes	3	PACIENTE	1

13	Saude					
TOTAL PARCIAL	47		96		74	
Exterior	Bombeiros	10				
TOTAL GERAL	227					

Quadro 8. 22 – Efetivo considerado no Plano de Emergência

### 8.3.5.3 - Descrição da simulação de evacuação

No instante inicial consideraram-se 227 ocupantes. Estes ocupantes estão distribuídos da seguinte forma: 217 no setor em estudo (16 utentes acamados, Técnicos de Saúde e utentes autónomos com acompanhantes) 10 são os bombeiros que só iniciam a sua função de resgate após atingido o tempo de chegada.

Inicia o incêndio. Os utentes nos corredores ao perceberem o incêndio iniciam a fuga. Aos 20s o Técnico de Saúde da sala de Consulta de Oftalmologia 2.069 vai averiguar o que se passa até junto da fonte de incêndio. Verifica que há um incêndio, regressa à sala de Consulta e contacta o Posto de Segurança.

Ao confirmar o incêndio é dado o alarme (60s), iniciam-se a ventilação de desenfumagem e a evacuação de emergência do setor A1 (Referencia do plano de Emergência da Clínica).

Neste cenário foi feita a simulação com a ventilação do edifício e apresentada uma proposta para desenfumagem mais eficiente com o objetivo de conseguir um melhor tempo de evacuação.



Figura 8. 141 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (com representação de paredes)

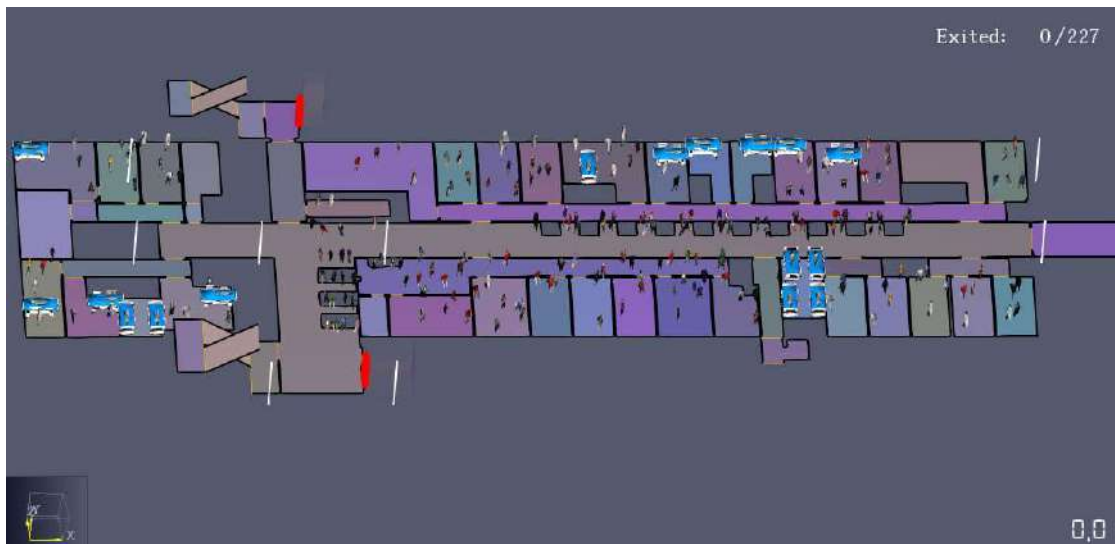


Figura 8. 142 - Posição inicial dos ocupantes no edifício (sem representação de paredes)

O desenvolvimento da simulação de incêndio e evacuação está apresentado no **Anexo 4**

#### **8.3.5.4 - Quadros de resumo de evacuação com sistema de desenfumagem do edifício e sistema proposto**

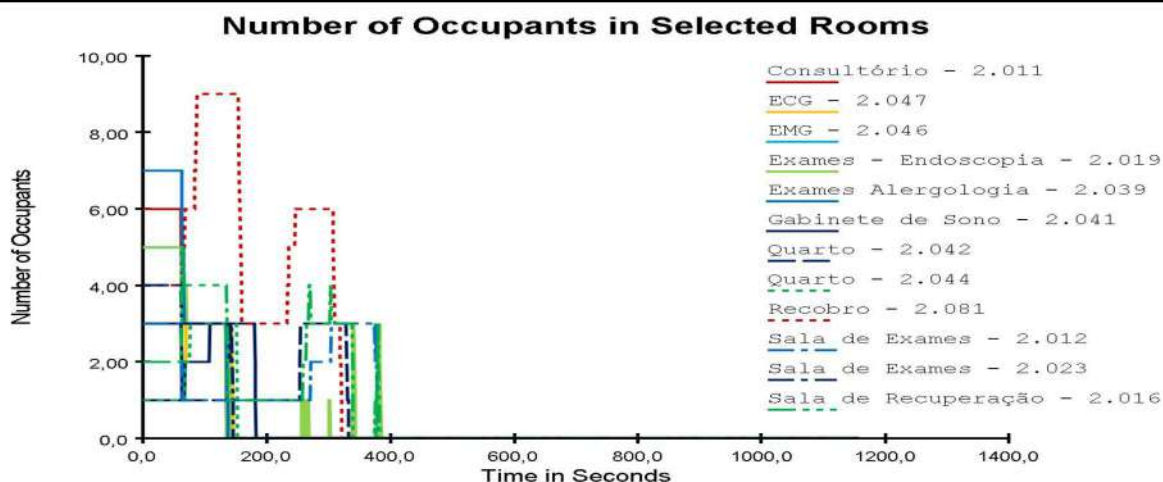
No quadro abaixo estão indicados o número de ocupantes por compartimento. Importa perceber que a entrada de cada elemento para auxílio de evacuação é contabilizada como ocupante. Dada a morosidade para evacuação dos utentes acamados face aos tempos de evacuação dos utentes autónomos, foram apenas considerados os compartimentos onde se encontram os utentes acamados.

Compartimentos: Exames Endoscopia – 2.016; Sala de Recuperação – 2.016; Sala de Exames – 2.012; Consultório – 2.012; Sala de Exames – 2.023; Exames Alergologia – 2.039; Gabinete Sono – 2.041; Quarto – 2.042; Quarto – 2.042; EMG – 2.046; ECG – 2.047; Recobro – 2.081;

Ocupantes ao início: 15 utentes acamados; 27 Ocupantes (Técnicos de Saúde e utentes)

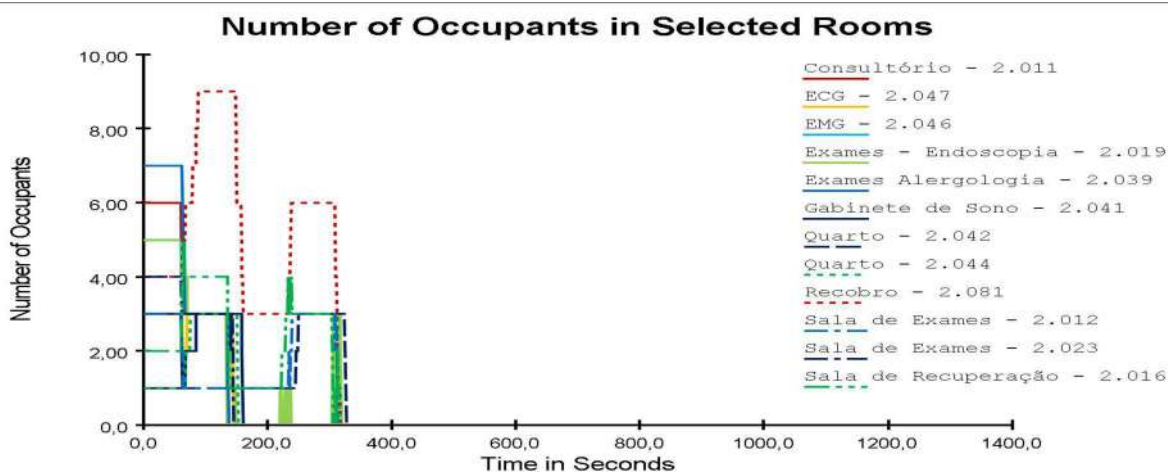
Ocupantes no final: 0

Sistema de ventilação do edifício (8.2.5.3)



Última evacuação: Exames Endoscopia 2.019 - 383s

Sistema de ventilação proposto (8.2.5.3)



última evacuação: Quarto – 2.042 - 330s

Gráfico 8. 5 – Número de ocupantes nos compartimentos – Gráficos Comparativos

O Gráfico **ventilação do edifício** permite perceber que o último utente acamado sai do compartimento a evacuar aos 388s enquanto no gráfico **ventilação proposta** percebe-se que o último utente acamado sai aos 323s

## 9. - Considerações finais

Foram verificadas as características do edifício (cap. 7) e percebeu-se que as mesmas estavam de acordo com a Legislação aplicável nomeadamente o Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios. Importou perceber o desempenho do edifício da unidade de saúde. Foi necessário perceber o comportamento / eficiência do edifício face à propagação de chama e fumo produzidos no incêndio e também perceber o comportamento dos funcionários e utentes desse edifício.

Para a realização das simulações numéricas de incêndio, foram parametrizados objetos com materiais com características reais, nomeadamente no cenário A, onde foram utilizados materiais como tecidos e madeiras de mobiliário, cortinados, placards expositivos e mesas, pelo que para os critérios adotados as evoluções dos incêndios seriam próximas da realidade (salvo a questão indicada no paragrafo anterior)

Foram estudados cinco cenários. O cenário A no piso -1 (setor B) no internamento, o cenário A1 no piso 2 (Setor B) Bloco de Partos, cenário A2 e A3 no piso 2 (Setor C) Internamento e cenário B no piso 2 (setor A1) Consultas Externas. Posteriormente realizaram-se 4 alternativas que se centraram apenas no aumento de caudal da ventilação de desenfumagem.

Para os cenários de evacuação foram tidas em conta as informações do Plano de Emergência da Clínica de Coimbra, nomeadamente o Efetivo dos setores em estudo, o tempo de chegada da equipa de bombeiros (480s) e a zona de concentração de macas. Não foi tido em conta o local do Ponto de Encontro pois o que importou foi perceber o tempo de evacuação dos ocupantes para o exterior do edifício por ser este o local potencial de intoxicação por inalação de fumos.

Em todos os cenários os utentes autónomos saem para o exterior, os Técnicos de Saúde encaminham os utentes acamados para a zona de concentração de macas, sendo por último transportados pelos bombeiros para o exterior do edifício.

Dada a complexidade da Arquitetura e número de espaços do edifício, foram efetuados gráficos com indicação de tempos e evacuação dos utentes acamados (não se fez dos utentes autónomos, pois a evacuação destes foi sempre muito mais rápida do que a dos restantes).

Nesses gráficos percebe-se que para os cenários com ventilação alternativa o tempo de evacuação dos utentes acamados é mais reduzido do que nas simulações com a ventilação do edifício.

No quadro abaixo, também se registam os tempos de evacuação dos utentes acamados para o exterior do edifício (a) e dos bombeiros para o exterior (b) na zona de Ponto de Encontro indicada no Plano de Emergência da Clínica.

Cenário	Tempo necessário à Evacuação Ocupantes (s) *	Tempo necessário à Evacuação Ocupantes(m:s)*	Tempo necessário à Evacuação total (s)	Tempo necessário à Evacuação total (m:s)
A	681	11:21	683	11:23
A1	1332	22:12	1419	23:39
A1 - Alternativa	1125	18:45	1212	20:12
A2	1407	23:27	1425	23:45
A2 - Alternativa	1365	22:45	1383	23:03
A3	1565	26:05	1586	26:26
A3 - Alternativa	1297	21:37	1317	21:57
B	1019	16:59	1153	19:13
B - Alternativa	1019	16:59	1152	19:12

Quadro 9. 1 - Tempos de Evacuação Utentes Acamados e Bombeiros

\*) Até ao exterior do edifício

Neste quadro, os tempos do cenário B e da alternativa são idênticos. A razão para estes valores, tem a ver com o facto de nas duas simulações os utentes acamados serem colocados na zona de concentração de macas em tempo inferior à entrada dos bombeiros (480s) e por isso os dois cenários a partir desse tempo são idênticos (evacuação de utentes acamados e bombeiros para o exterior).

Relativamente à propagação dos incêndios, percebeu-se também que os cenários onde houve propagação de incêndio foram os cenários A e B. No caso do cenário A este facto teve a ver com a existência do mobiliário que foi afetado pelas chamas, ao ponto de a concentração de fumo e temperatura ter aumentado e de rebentarem os vidros da sala e acontecer o fenómeno de flashover (Anexo 1) pela entrada de ar novo (rico em O<sub>2</sub>). Após este acontecimento o

incêndio espalhou-se por toda a sala, ao ponto de algumas das peças de mobiliário serem integralmente consumidas.

Relativamente ao cenário B, o incêndio espalha pelas cadeiras e estantes, e poucos momentos após a evacuação de todo o piso, o incêndio espalha junto ao teto e passa às cadeiras do corredor em frente (junto aos elevadores).

Quanto aos restantes cenários não se verificou propagação dos incêndios nos cenários A1, A2 e A3, facto que teve a ver com a não existência de mobiliário nas proximidades não tendo os incêndios propagado pelo revestimento vinílico das paredes e pavimentos (que tem valores de reação ao fogo e libertação de fumos inferiores aos indicados em 7.5.4.1- *Isolamento e proteção de locais de risco*).

CARACTERÍSTICAS DISTINTAS		
Reação ao fogo	EN ISO 9239-1 EN ISO 13501-1 EN ISO 11925-2	≥ 8 kW/m <sup>2</sup> Classe Bfl s1 Cumpre

Figura 9. 1 – Características de Vinil Tarket Optima

Pelos resultados obtidos percebe-se que a quantidade de fumo influenciou os tempos de evacuação, ou seja, percebeu-se que menor quantidade de fumo em cada cenário teve como resultado menor tempo de evacuação, tanto na evacuação dos ocupantes acamados dos espaços onde se encontravam, como na evacuação destes para o exterior do edifício (exceção desta última situação ao cenário B).

Da observação das simulações também se verificou que os restantes ocupantes tiveram uma evacuação mais eficiente.

## 10. Conclusões

A evacuação de pessoas em edifícios em situação de incêndio é nos casos correntes muito importante. Quando se trata de edifícios hospitalares onde há ocupantes que pelas suas características necessitam de assistência, então a dificuldade de evacuação aumenta grandemente. A possibilidade da realização de simulacros em unidades de saúde com utentes é uma grande dificuldade pois como se entende não é exequível em unidades que estão em funcionamento.

O edifício cumpre com os requisitos mínimos de desempenho ao incêndio pois nas situações onde se verificou propagação e com a maior dimensão (cenário A) a chama e o fumo não passaram para outros compartimentos tendo sido o fumo dissipado pela ventilação de desenfumagem.

Nos cenários A1, A2 e A3 e B foram efetuadas as alternativas com o objetivo de reduzir a quantidade de fumo nas vias horizontais de evacuação pelo que se conseguiram tempos de evacuação mais reduzidos. Pela análise dos gráficos percebeu-se que o aumento de ventilação provocou uma melhor desenfumagem e teve como resultado a pretendida redução de tempo de evacuação em cada um dos cenários. Concluiu-se que é possível otimizar os sistemas de ventilação, tendo como objetivo a redução de tempos de evacuação devido às maiores velocidades de evacuação dos utentes, sendo importante comparar os resultados de simulacros reais com os resultados da simulação computacional para calibração dos modelos virtuais, podendo assim explorar o potencial da vantagem do “virtual” onde se torna difícil ou impraticável a realização de simulacros reais como em zonas de utentes com mobilidade reduzida.

Relativamente a expectativas de futuros trabalhos, o edifício em causa, pela sua complexidade e dimensão apresenta um sem número de possibilidades das quais se destacam quatro: Primeiro - Estudar o limite de eficiência de desenfumagem pelo aumento da velocidade do volume de ar tratado, pois haverá uma altura em que se estará a alimentar o incêndio com oxigénio; Segundo - Simular o início e desenvolvimento de incêndio e respetiva evacuação dos utentes dos pisos de estacionamento atendendo às características dos parques do piso -2 - Completamente enterrado e o do piso -1 - Semi enterrado; Terceiro - simulação de incêndio com a ativação de sistemas de combate a incêndio que o edifício também possui; Quarto – simulações com saídas bloqueadas e corredores com larguras reduzidas, ou seja situações decorrentes de má utilização e que influenciam a eficiente evacuação.

## Bibliografia

**Anderson - Jr., J.** *Computational fluid dynamics - The basics with applications*. s.l. : McGraw - Hill, Inc. ISBN 0-07-0011685-2.

**Andersson, L. 1988.** *Risker och brister vid utrymning. Brandingenjorslinjen, Lunds Tekniska Hogskola.* Lund : Universitetsbiblioteket, 1988. pp. 13-27.

*Aplicação do Programa Fire Dynamics Simulator em Simulação de Incêndio Estrutural.* **Mariani, L. and Silva, L. 2011.** Natal : Anais: I Congresso Ibero-Latino Americano sobre Segurança Contra Incêndio, 2011.

**Araújo, Sérgio and Almeida, João. 2016.** A utilização de modelação computacional de evacuação como complemento aos projetos baseados no desempenho: Exemplo de aplicação na casa da musica. 2016.

*As exigências de reação e resistência ao fogo da legislação de segurança ao incêndio para os produtos da construção.* **Coelho, A. 2016.** Lisboa : LNEC, 2016. Open Day - Proteção passiva contra incêndio.

**Babrauskas, V. 1997.** *Glass breakage in fires.* 1997.

**Berg, P. and Lindgren, A. 2004.** *Fire Prevention and Health Assessment in Hypoxic Environment.* Lund University,. Lund : Department of Fire Safety Engineering, 2004.

**Campos, M. 2018.** *Reabilitação dos Edifícios Singulares da Companhia de Fiação de Crestuma. Atas do 2º Congresso Português de Building Information Modelling.* Lisboa : s.n., 2018.

**Capote Abreu, J., et al. 2005.** *Dinamica del Incendio en Edificios mediante Modelado y Simulación Computacional: CFAST, OZONE, FDS. Grupo GIDAI - Seguridad contra Incendios - Investigación y Tecnología.* Cantabria : Universidad de Cantabria, 2005.

**Coelho, L. 1997.** *Modelação Matemática da Evacuação de Edifícios Sujeitos à Acção de um Incêndio. Volumes I e II ed.* Porto. Porto : Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1997.

*Comparison of CFD Modelling with Fire Tests - Comparison of CFD Modelling with Results of Full Scale Compartment Fire Tests.* **Sekret, R., et al. 2013.** [ed.] Proceedings of International Conference. Praga - Republica Checa : s.n., 2013. Application of Structural Fire Engineering. p. 6.

**Correia, A. 2016.** *Apontamentos de apoio de Física dos Edifícios – Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana.* Coimbra : Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2016.

**Costa, I. 2001.** *Estudo Paramétrico da Resistência ao Fogo de Vigas Mistas Aço-Concreto. Dissertação de Mestrado.* Belo Horizonte : Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2001.

**Dolvitsch, J., Ruschel, F. and Silva Filho, L., 2011.** *Avaliação da Utilização de Métodos Computacionais na Reconstituição de Incêndios em Edificações: Caso do Shopping Total em Porto Alegre.* Rio Grande do Sul : Anais: I Congresso Ibero-Latino Americano sobre Segurança Contra Incêndio,, 2011.

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

**Drysdale, D. 1985.** *An introduction to fire dynamics*. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd, 1985.

*Estimating the fire behavior of wood flooring using a cone calorimeter. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 110.* **Kim, J. Lee, J.. and Kim, S. 2011.** 2, 2011, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. Vol. 110, pp. 677-683.

**Eurocódigo1 . 2010.** *Eurocódigo 1 - Acções em estruturas Parte: 1-2 Acções gerais - Acções em estruturas*. 2010.

**Figueiredo, Paulo Jorge Fechinha. 2018.** *Segurança contra Incêndios em Edifícios de Centros Urbanos Antigos – Antigo Orfeão e o Centro Histórico de Viseu*. Coimbra : Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2018.

**Glasa, J., et al. 2012.** Use of PyroSim for Simulation of Cinema Fire - Vol. 7, Issue 2. s.l. : International Journal on Recent Trends in Engineering & Technology, 2012, pp. 51-56.

**Grigoras, Z. C. 2014.** *ANALYSING THE HUMAN BEHAVIOR IN A FIRE DRILL. COMPARISON BETWEEN TWO EVACUATION SOFTWARE: FDS+EVAC AND PATHFINDER*. Romania : TRANSILVANIA UNIVERSITY PUBLISHING HOUSE, BRASOV, 2014. 2285-7656-L 2248-7648.

**Grosshandler, W., et al. 2005.** *NIST NCSTAR 2: Vol. I - Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire*. Washington, D. C. : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2005.

**Gwynne, S. and Rosenbaum, E. 2008.** *Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition - 3-396-3-373*. s.l. : National Fire Protection Association, Quincy, 2008.

**He, Y and Poon, L. 1988.** *Experimental Observations and Modelling of Window - Glass Breakage in Building Fires*. Melbourne; Mulgrave : Center for Environmental Safety and Risk Engineering; BHP Research-Melbourne Laboratories, 1988.

*Heat Release Rates of Burning Items in Fires. AIAA 2000-0722.* **Kim, J. and Lilley, D. 2000.** Reno : 38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, 2000.

**Hunt, A., Galea, E. and Lawrence, P. 2013.** *An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility*. s.l. : Wiley Online Library, 2013.

**Hurley, M. and Bukowski, R. 2003.** *Fire Hazard Analysis Techniques*. 2003, 7.

**Jahn, W., Rein, G. and Torero, J. 2011.** A posteriori modelling of the growth phase of Dalmarnock Fire Test One. Building and Environment. 2011, Vol. 46, pp. 1065-1073.

**Kashiwagi, T. and Ohlemiller, T. 1982.** *A study of oxygen effects on non-flaming gasification of PMMA and PE during thermal irradiation*. s.l. : Proceedings of the Combustion Institute, 1982. pp. 815–823.

**Lawson, J., Walton, W. and Twilley, W. 1984.** *Fire Performance of Furnishings as Measured in the NBS Furniture Calorimeter*. 1984, 1.

**Madrzykowski, D. 2013.** *Fire Dynamics: The science of fire fighting*. [ed.] IFSTA. s.l. : International Fire Service Journal of leadership and management, 2013.

- MaGrattan, K. 2004.** *Simulation of the Fires in WTC 1 and 2.* Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster, NIST. 2004.
- Marser, S. 2010.** *Survivability Profiling: How Long Can Victims Survive in a Fire?* 01 07, 2010.
- McGrattan, K and Forney, G. 2004.** *Fire Dynamics Simulator (Version 4) - User's Guide.* [ed.] National Institute of Standards and Technology. 2004.
- McGrattan, K, Charles, B and Fournery, Glenn. 2005.** *Computer Simulation of the Fires in.* [ed.] NIST. s.l. : U.S. Government Printing Office, 2005.
- Moukalled, F., Mangani, L and Darwish, M. 2015.** *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics.* s.l. : Springer, 2015. Vol. 113. ISBN 978-3-319-16874-6.
- NIST. 2010.** Fire Dynamics. [Online] NIST, 2010. <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/firegov-fire-service/fire-dynamics>.
- Qin, Jiawen, Liu, Changcheng and Huang, Que. 2020.** *Simulation on fire emergency evacuation in special subway station based on Pathfinder, Case Studies in Thermal Engineering.* s.l. : Elsevier Ltd., 2020. S2214-157X(20)30288-4.
- Rein, G., et al. 2007.** *The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling.* s.l. : School of Engineering and Electronics, Universidade de Edimburgo, Edimburgo, 2007. Vol. 10. 978-0-9557497-0-4.
- Reis, Maria do Rosário Frazão. 2014.** *Estudo da evacuação em caso de incêndio de edifícios que recebem público - O caso do shopping center Fórum Coimbra.* Coimbra : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2014.
- Rocha, j. 2012.** *Plano de Segurança Interno - UNIDADE HOSPITALAR DE COIMBRA.* Coimbra : s.n., 2012.
- Ronchi, E. and Nilsson, D. 2013.** *Assessment of total evacuation strategies in Tall Buildings.* Fire Protection Research Foundation. s.l. : National Fire Protection Association, 2013.
- Round-Robin Study of a priori Modelling Predictions of The Dalmarnock Fire Test One.* **Rein, G., et al. 2009.** 4, s.l. : Fire Safety Journal, 2009, Vol. 44, pp. 590-602.
- Samuel, J. and Franklin, C. 2008.** *Common Surgical Diseases.* Nova York : Springer, 2008. pp. 391–394. ISBN 978-0387752457..
- Simulação Computacional de Incêndio em Edificações Multifamiliares com Escada Não Enclausurada.* **C., Lara and L., Marco. 2017.** s.l. : XVI Congresso de Controle da Qualidade na Construção, 2017. 978-99967-0-464-2.
- Simulação Computacional de um Incêndio em Edificação Residencial de Baixo Custo.* **Hurtado, J., Caldas, R., Rodrigues, F. and Meira, L. 2013.** Coimbra : s.n., 2013. Atas do 2º Congresso Ibero-Latino-Americano em Segurança Contra Incêndios.
- Simulation of Fire Spreading in a Residential Building: Comparing Alternative Building Techniques.* **Kolaitis, I., Asimakopoulou, E. and Founti, M. 2011.** [ed.] Assessment and Rehabilitation of Civil Structures First Middle East Conference on Smart Monitoring. Bubai : s.n., 2011.

Segurança contra Incêndios em Edifícios Hospitalares, com Análise Baseada no Desempenho, e por Abordagem Prescritiva

Simulation Software for Science and Engineering - Manage Geometry, Specify Parameters, Deliver Results. [Online] <https://www.thunderheadeng.com/>.

**Torero, J., Jahn, W. and Rein, G. 2007.** *The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling*. Edimburgo : Universidade de Edimburgo,, 2007. Vol. 11. ISBN 978-0-9557497-0-4.

**Wetterlund, I. and Goransson, U. 1988.** *A Full Scale Fire Test Method for Free-Hanging Curtain and Drapery Textiles*. 1988. ISBN 91-7848-130-9.

**Wood, P. 1972.** *The behaviour of people in Fires*. s.l. : Loughborough University of Technology, 1972.

**Yuen, A., et al. 2014.** Fire scene reconstruction of a furnished compartment room in a house fire. Fevereiro 7, 2014.