



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ANÁLISE DA EMERGÊNCIA EM ESTABELECIMENTOS HOSPITALARES

Flávio João Costa Moreira

Orientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

Coorientador: Professor Rui Manuel Miranda Pinto Cruz (FEUP)

Arguente: Professor Doutor Paulo Antero Alves de Oliveira (ESTGF)

Presidente do Júri: Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis (FEUP)

2014



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer ao professor João Baptista e ao professor Rui Cruz pela disponibilidade, ajuda e partilha de conhecimentos, imprescindíveis para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais por estarem incondicionalmente ao meu lado e por me fazerem sempre acreditar em mim.

Ao meu irmão Francisco por todo o apoio que me deu a nível pessoal, e pela ajuda no desenvolvimento de alguns dos ensaios realizados para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos, por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos.

À Doutora Cláudia Vieira e todos os colaboradores do Hospital de São João, pela disponibilidade e simpatia com a qual me acolheram.

Por fim agradeço à Sara pela compreensão, paciência e dedicação nesta difícil e exigente etapa da minha vida.

Obrigado a todos!

RESUMO

A evacuação de estabelecimentos hospitalares deve ser vista como um caso particular no que diz respeito ao estudo de situações de emergência em edifícios, principalmente devido à vulnerabilidade das pessoas envolvidas que implicam sistemas de planeamento mais complexos em relação a outras empresas e instituições.

Com este trabalho pretendeu-se desenvolver um modelo de simulação que permite prever as necessidades de meios humanos para a evacuação de um hospital numa situação de emergência, assumindo-se como uma alternativa aos modelos dispendiosos e complexos já existentes no mercado.

O modelo de simulação apresentado foi desenvolvido tendo em consideração trabalhos já existentes e estudos experimentais realizados em ambiente hospitalar. De uma forma geral, a metodologia de trabalho consiste em agrupar os pacientes em diferentes tipologias consoante o grau de vulnerabilidade (pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3), calculando-se para cada uma das tipologias o tempo de evacuação, que é dado pela soma do tempo de espera, tempo de preparação e tempo de movimento.

Dos ensaios realizados, estimou-se um aumento no tempo de evacuação, devido à necessidade de evacuar verticalmente o edifício, de 80%, 59% e 92% para os pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3, respetivamente. A variação do número de elementos do *staff* assume-se como um parâmetro essencial no tempo de evacuação, principalmente nos casos em que existe um número considerável de pacientes tipo 2 e tipo 3.

O modelo de simulação desenvolvido assume-se como uma ferramenta versátil e de fácil utilização, podendo apresentar uma utilidade considerável na gestão de emergência de estabelecimentos hospitalares, auxiliando na identificação de zonas críticas e de oportunidades de melhoria nos planos de evacuação existentes.

Palavras-chave: Hospital, Emergência, Evacuação, Recursos humanos, Pacientes.

ABSTRACT

The hospital's evacuation planning systems should be seen with particular and special attention in what regards the studies of emergency situations in buildings, mainly considering the vulnerability of the people involved, that require planning systems more complex than the ones generally applicable in institutions and companies.

This project was intended to develop a simulation model that predicts the needs of human resources for the hospital's evacuation in emergency situations, as an alternative to the expensive and complex models currently used.

The simulation model presented was developed taking into consideration existing works and experimental studies performed in different hospital environments. The methodology applied consists in grouping the patients into different types according to the vulnerability degree (patients type 1, type 2, and type 3), calculating the evacuation time for each typology, which is generated by the sum of three main components: the waiting time, preparation time, and movement time.

According to the results achieved, it is estimated an increase in evacuation time of 80%, 59% and 92% for type 1 patients, type 2 and type 3, respectively, due to the need of vertical evacuation. The variation of the number of staff elements is assumed as an essential parameter in the evacuation time, especially in situations where there is a considerable number of patients type 2 and type 3.

The simulation model developed is considered as a very versatile and easy tool, and can assume a considerable utility in the emergency management of hospitals, supporting the identification of critical areas and opportunities for improvement on the existing evacuation plans.

Keywords: Hospital, Emergency, Evacuation, Human resources, Patients.

ÍNDICE

PARTE 1	1
1 INTRODUÇÃO	3
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 Conhecimento Científico.....	5
2.1.1 Gestão da emergência em edifícios	6
2.1.2 Situações de emergência em estabelecimentos hospitalares	7
2.1.3 Modelos de simulação	8
2.1.4 Tempo de evacuação	9
2.1.5 Características humanas	10
2.1.6 Velocidade de deslocação em situação de emergência	11
2.1.7 Largura das saídas de emergência e das vias de evacuação	13
2.1.8 Planeamento e prevenção	13
2.2 Enquadramento Legal e Normativo	14
2.2.1 Medidas de autoproteção	15
2.2.2 Sinalização de segurança	17
2.2.3 Normas técnicas.....	17
3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Objetivos da Dissertação	19
3.2 Materiais e Métodos	19
3.2.1 Modelo de simulação	19
3.2.1.1 Enquadramento	19
3.2.1.2 Variáveis do modelo	21
3.2.1.3 Condicionantes do modelo	22
3.2.2 Material e equipamentos utilizados nos ensaios experimentais	23
PARTE 2	25
4 RESULTADOS	27
4.1 Ensaio em ambiente hospitalar	27
4.2 Aplicação do modelo de simulação.....	29
4.2.1 Simulação de uma situação de evacuação horizontal	29
4.2.2 Simulação de uma situação de evacuação horizontal e vertical	30
4.2.3 Impacto da variação de elementos do <i>staff</i> no tempo de evacuação	31
4.2.4 Impacto da variação do número de pacientes nas diferentes tipologias	35
5 DISCUSSÃO.....	37
5.1 Ensaio em ambiente hospitalar	37
5.2 Aplicação do modelo de simulação.....	37
5.3 Análise de sensibilidade	39

5.4	Análise do modelo de simulação	41
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	43
6.1	Conclusões	43
6.2	Perspetivas Futuras	43
7	BIBLIOGRAFIA	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama da pesquisa efetuada.....	6
Figura 2 – Variação da velocidade com a idade e o género (adaptado de (Smith, 1995)).....	11
Figura 3 – Relação da velocidade em escadas com a densidade ocupacional (adaptado de (Smith, 1995))	12
Figura 4 – Cadeira de rodas.....	27
Figura 5 – Maca.....	27
Figura 6 – Evacuação dos pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3	37
Figura 7 – Variação do tempo de evacuação com o número de elementos do <i>staff</i>	38
Figura 8 – Análise de sensibilidade à evolução dos tempos de evacuação com as diferentes variáveis	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades médias dos utilizadores dos hospitais (Wei, et al., 2011).....	12
Tabela 2 – Utilizações tipo definidas no Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro	14
Tabela 3 – Classificação dos locais de risco definido no Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro.....	15
Tabela 4 – Medidas de autoproteção.....	16
Tabela 5 – Normas relativas à segurança contra incêndios (NP 3874).....	17
Tabela 6 – Variáveis do modelo de simulação.....	22
Tabela 7 – Tempos dos ensaios realizados.....	28
Tabela 8 – Condições de evacuação.....	29
Tabela 9 – Velocidades e tempos de espera utilizados no modelo de simulação	29
Tabela 10 – Condições de evacuação.....	30
Tabela 11 – Simulação 1	32
Tabela 12 – Simulação 2	32
Tabela 13 – Simulação 3	33
Tabela 14 – Simulação 4	33
Tabela 15 – Simulação 5	33
Tabela 16 – Simulação 6	34
Tabela 17 – Simulação 7	34
Tabela 18 – Simulação 8	34
Tabela 19 – Simulação 9	35
Tabela 20 – Simulações do tempo de evacuação variando o número de pacientes	36
Tabela 21 – Análise de sensibilidade à variação do número de elementos do <i>staff</i>	39
Tabela 22 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 1.....	39
Tabela 23 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 2.....	39
Tabela 24 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 3.....	40

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se assistido ao aumento da consciencialização das pessoas para com os perigos e riscos a que estão expostas. Esta tendência reflete-se acima de tudo ao nível das empresas e instituições onde a legislação se tem vindo a tornar cada vez mais abrangente e também mais complexa.

A gestão da segurança em edifícios deve começar pela identificação dos perigos e ações que, em conjunto, podem desencadear situações de risco e, quando tal não é possível, pelo desenvolvimento de planos de ação para minimizar os danos em situações de emergência. A evacuação dos edifícios enquadra-se nesta segunda fase, representando uma problemática cada vez mais abordada nos estudos desenvolvidos nesta área.

Os tempos de evacuação representam um indicador do estado da gestão da segurança em edifícios e recintos, podendo numa primeira fase potenciar o desenvolvimento de melhorias no sistema de planeamento existente para as situações de emergência. São vários os fatores que podem influenciar os tempos de evacuação, destacando-se as características do edifício a evacuar e das pessoas envolvidas no processo de evacuação, assim como a existência de formação específica para fazer face a este tipo de situações (Fang, Li, Li, Han, & Wang, 2011; McClure et al., 2011).

Os incêndios representam uma das principais causas que levam à necessidade de evacuação. A Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) estima que no ano de 2010 deflagraram 88 incêndios em edifícios que albergavam populações vulneráveis, isto é, lares de idosos e hospitais (ANPC, 2010). A vulnerabilidade das pessoas envolvidas leva a que as situações de emergência neste tipo de estabelecimentos envolvam um planeamento consideravelmente mais complexo em relação a outras empresas e instituições.

Os estabelecimentos hospitalares são símbolos de progresso social, representando também um pré-requisito para a estabilidade económica, contribuindo para um sentimento de segurança e bem-estar nas comunidades. Neste tipo de estabelecimentos uma situação de emergência implicaria a paragem total ou parcial dos serviços em funcionamento, criando problemas sociais e financeiros a vários níveis da sociedade (Bagaria, Heggie, Abrahams, & Murray, 2009).

Outra questão relevante é que grande parte dos ocupantes dos hospitais pode passar pouco tempo neste tipo de estabelecimentos, exceção feita ao pessoal do *staff*, não tendo por isso um elevado conhecimento do edifício e dos procedimentos a adotar em situações de emergência. Este fator pode ser controlado através de ações de formação e sensibilização dos elementos do *staff* do hospital, como por exemplo a realização de simulacros de situações de evacuação do edifício.

As operações de evacuação de edifícios tem normalmente uma componente vertical e uma componente horizontal. Em hospitais, as características dos edifícios permitem, normalmente, evacuar doentes de uma ala em situação de emergência para uma ala situada numa zona de segurança no mesmo piso. Esta característica deve ser aproveitada não só para minimizar o tempo de evacuação mas também para melhorar a logística dos procedimentos de segurança quando existe a necessidade de evacuar o espaço.

A evacuação horizontal está sujeita a menos problemas técnicos em comparação com as situações de evacuação vertical. Isto deve-se ao facto de no caso da evacuação vertical ser necessário utilizar escadas e elevadores, ainda que por questões de segurança estes possam não estar em funcionamento durante as situações de emergência.

Não obstante, existem situações com a necessidade absoluta de realizar a evacuação vertical do edifício, representando também um assunto ao qual deve ser dada atenção quando se está a realizar a gestão da emergência em estabelecimentos hospitalares.

A solução tradicional de recurso a exercícios de evacuação é uma solução adequada, no entanto é complicada e onerosa de realizar em meio hospitalar, pelos custos associados e perturbação que

trás aos serviços prestados por estas entidades. Por outro lado, as soluções tradicionais de simulação são complexas de implementar pela exigência de meios informáticos dedicados, sendo também onerosas em termos económicos e de tempo necessário para uma completa implementação.

Perante este panorama colocou-se a questão de saber se existem soluções alternativas às duas atrás referidas e até que ponto essas eventuais soluções têm aderência à realidade.

2 ESTADO DA ARTE

O estado da arte apresentado neste capítulo representa o suporte do trabalho desenvolvido nesta dissertação. Para isso, são desenvolvidos dois assuntos relevantes para o enquadramento e para o entendimento da problemática apresentada, nomeadamente:

- Conhecimento científico;
- Enquadramento legal e normativo.

2.1 Conhecimento Científico

A revisão bibliográfica deste trabalho foi realizada segundo a metodologia de revisão sistemática referenciada em *PRISMA Statement* (Liberati et al., 2009).

Na recolha de artigos utilizaram-se os recursos relativos às bases de dados e revistas científicas disponibilizadas pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, através do motor de busca *ExLibris Metalib*.

As fontes de informação utilizadas foram as bases de dados *Academic Search Complete*, *AGRICOLA Articles*, *Business Source Complete*, *PubMed*, *SCOPUS*, *TRIS Online e Web of Science*, e as revistas científicas *ACM Digital Library*, *BioMed Central Journals*, *Cambridge Journals Online*, *Emerald Fulltext*, *Highwire Press*, *IEEE Xplore*, *MetaPress*, *nature.com*, *Oxford Journals*, *SAGE Journals Online*, *ScienceDirect e Wiley Online Library*.

Na recolha de informação realizaram-se duas pesquisas integradas. Na primeira foram utilizadas as palavras “*evacuation*” e “*hospital*” e na segunda “*evacuation*” e “*time*”, resultando um total de 998 artigos.

O primeiro passo consistiu em identificar e retirar os artigos repetidos obtidos na sequência da pesquisa efetuada nas diferentes fontes de informação.

Posteriormente passou-se à seleção propriamente dita dos artigos, que compreendeu a análise das características gerais dos mesmos. Para isso, definiram-se os seguintes critérios de exclusão:

- Língua em que são escritos (apenas foram utilizados documentos em inglês);
- Data de publicação (apenas se consideraram artigos publicados a partir do ano de 1990);
- Assunto abordado sem pertinência para âmbito do presente estudo.

Na segunda fase de seleção analisou-se o resumo e, quando se justificasse, o texto completo dos artigos.

Como critério expedito de avaliação da qualidade do artigo, foi, em primeiro lugar, analisada a estrutura do resumo, como primeiro indicador de qualidade, depois os objetivos do trabalho realizado e a metodologia adotada. Os artigos selecionados deveriam convergir para a problemática abordada nesta dissertação.

Também foram utilizados artigos provenientes de outras fontes de informação para lá das fontes acima apresentadas. Estes novos artigos deveriam, no entanto, ter em conta os mesmos critérios de avaliação já enunciados.

Como resultado da pesquisa efetuada e dos critérios de exclusão utilizados foram identificados 29 artigos relevantes para o tema em estudo. Na figura 1 é apresentado o fluxograma relativo à metodologia de seleção de artigos para o processo de revisão bibliográfica.

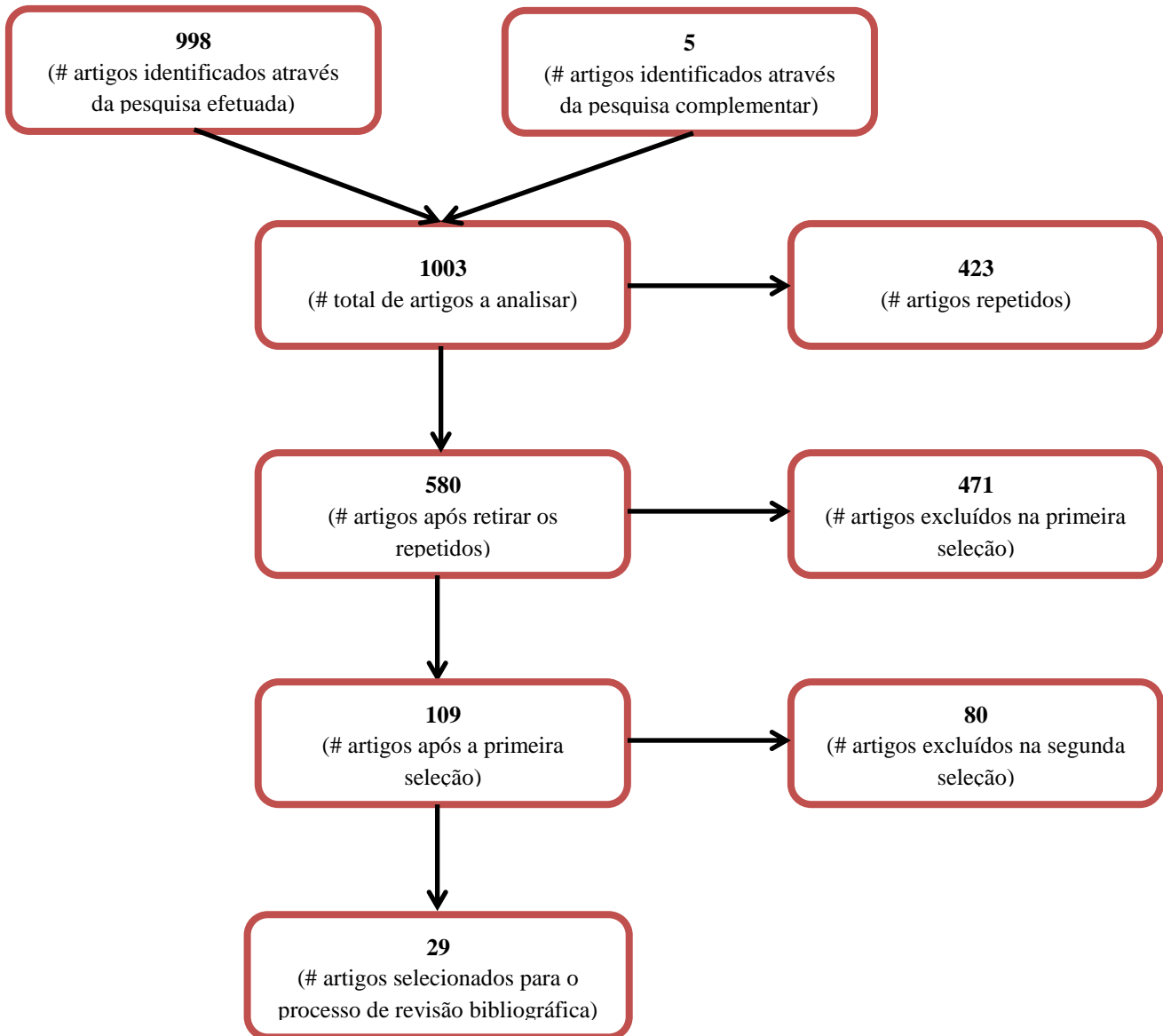


Figura 1 – Diagrama da pesquisa efetuada

2.1.1 Gestão da emergência em edifícios

Todos os serviços, empresas e instituições estão sujeitas a perigos que poderão desencadear situações de emergência, devendo por isso ser desenvolvidos planos de gestão que permitam minimizar as consequências deste tipo de eventos.

Em (Wabo, Örttenwall, & Khorram-Manesh, 2012) são apresentados alguns dos principais riscos potenciadores de situações de emergência:

- Incêndios;
- Inundações;
- Deslizamentos de terra;
- Pandemias;
- Falha no abastecimento de eletricidade, calor ou água;
- Ameaças de bomba ou atentados terroristas;
- Acidentes envolvendo materiais perigosos;
- Desenvolvimento de contágios com bactérias resistentes.

Outros exemplos de perigos que podem pôr em causa a segurança de edifícios são a atividade sísmica intensa (terramotos e maremotos), fugas de gás nas condutas do edifício e acidentes graves em indústrias existentes na envolvente.

As situações de emergência podem também ser agrupadas consoante o desenvolvimento temporal. Em (Wabo, et al., 2012) é feita a seguinte classificação:

- Eventos de rápido desenvolvimento, que devido à sua natureza são dificilmente previsíveis, requerendo por isso uma ação imediata.
- Eventos que se desenvolvem num intervalo de tempo mais alargado, tendo normalmente um impacto superior e um maior tempo para restabelecer a situação de normalidade.

Uma situação de emergência pode em última instância culminar com a evacuação do edifício. Este é um tema ao qual tem vindo a ser dada cada vez mais atenção, quer a nível legislativo e normativo, quer em estudos académicos e de investigação.

A evacuação dos edifícios pode ter uma componente horizontal, quando a deslocação é realizada sempre no mesmo piso, e/ou uma componente vertical, quando existe a necessidade de mudar de piso durante as manobras de evacuação. Em (Larusdottir & Dederichs, 2012) é realizado um estudo comparativo do impacto das componentes horizontais e verticais na evacuação de diferentes tipos de pessoas, comparando o caso particular das crianças com os estudos existentes para a evacuação de indivíduos adultos.

Apesar de grande parte dos edifícios terem mais do que um piso, a evacuação nem sempre tem de ter uma componente vertical. Isto pode ser conseguido através de um eficiente sistema de deteção e controlo dos riscos que possam originar as situações de emergência. No caso de incêndios as tecnologias existentes no mercado permitem cada vez mais atingir estes objetivos através do desenvolvimento de detetores e sistemas de alarme mais rápidos e portas corta-fogo mais eficazes. A existência de locais de segurança no próprio piso permite não só contornar as dificuldades logísticas de evacuar um local pelas escadas ou utilizando elevadores, mas também a diminuição da distância a percorrer durante as operações de evacuação.

Na pesquisa bibliográfica desenvolvida foram identificados vários estudos relativos a situações de evacuação de diferentes tipos de edifícios, como estabelecimentos hospitalares (Femino, Young, & Smith, 2013; Gildea & Etengoff, 2005; Golmohammadi & Shimshak, 2011), estádios para eventos desportivos (Fang, et al., 2011; Rahman, Mahmood, & Schneider, 2008), escolas (Meng & Zhen, 2010), locais de comércio (Kim, Kim, & Kim, 2007), indústrias (Reniers, Audenaert, Ale, Pauwels, & Soudan, 2009), hotéis (Kobes, Helsloot, de Vries, & Post, 2010) e bibliotecas (Tashrifullahi & Hassanain, 2013). Cada um destes locais tem particularidades que tornam os exercícios de evacuação distintos uns em relação aos outros. A este nível, os estabelecimentos hospitalares representam um dos melhores exemplos de singularidade e complexidade relativamente à gestão das situações de emergência, representando o foco de estudo do presente trabalho.

2.1.2 Situações de emergência em estabelecimentos hospitalares

Os hospitais representam um local com capacidade para o tratamento de doentes e feridos resultantes de atividades perigosas e situações de emergência. Não obstante, nestes estabelecimentos podem também ocorrer eventos que levem à necessidade de evacuar o edifício em parte ou na sua totalidade. A vulnerabilidade dos hospitais face a situações de perigo depende em grande medida da sua localização (Wabo, et al., 2012).

A necessidade de evacuação de um hospital é um evento raro, o que diminui a atenção dada por parte das entidades competentes (Augustine & Schoettmer, 2005). É, no entanto, importante a

existência de estudos que chamem a atenção para esta problemática de forma a minimizar os impactos associados a uma eventual situação de emergência num estabelecimento hospitalar.

(Golmohammadi & Shimshak, 2011) refere que os hospitais devem contar com uma divisão de segurança e emergência com os seguintes objetivos:

- Avaliar o desempenho das operações e dos planos executivos em situações de emergência;
- Formação do pessoal médico e administrativo sobre o papel a desempenhar neste tipo de eventos;
- Trabalhar com parceiros estaduais e locais com o objetivo de melhorar as políticas e os planos de atuação.

A evacuação de um hospital representa, em si, também uma situação de perigo e que pode causar danos na saúde das pessoas afetadas. Estas situações implicam atrasos na medicação e no diagnóstico de problemas, a duplicação dos procedimentos efetuados e a alteração de humor e bem-estar emocional dos doentes (Bagaria, et al., 2009).

2.1.3 Modelos de simulação

A evacuação dos edifícios é um tema que tem vindo a ser desenvolvido nos últimos anos, principalmente no que diz respeito a modelos de simulação para estimar os tempos e os melhores percursos de evacuação, entre outros parâmetros significativos no estudo de situações de emergência.

Existe já uma variedade considerável de modelos matemáticos, alguns deles já informatizados, nomeadamente: **Simulex**, **EvacuatioNZ**, **FDS+Evac**, **EVACNET**, **Exodus**, **EDTM** e **Grid Flow evacuation model**. Alguns destes modelos não são recentes, no entanto, ao longo do tempo vão aparecendo versões melhoradas que permitem aumentar o grau de confiança e validação destas metodologias.

O **Simulex** é um modelo baseado num programa computacional, e tem por objetivo simular situações de evacuação em edifícios com geometrias complexas. O programa tem em conta os ocupantes do edifício em estudo, reunindo-se os homens, mulheres e crianças em diferentes grupos (Spearpoint, 2004).

O modelo **EvacuatioNZ** descreve o espaço físico dos edifícios como uma rede de nós interligados. As saídas de emergência representam nós seguros, para onde as pessoas se dirigem durante o período de tempo de evacuação. As pessoas são consideradas individualmente tendo em conta fatores comportamentais e atributos pessoais. Uma parte significativa da metodologia é baseada em distribuições estatísticas selecionadas pelo utilizador do programa (Spearpoint & Xiang, 2011). Esta característica permite facilmente adequar o estudo a diferentes situações de evacuação.

O **FDS+EVAC** é um programa computacional baseado num algoritmo simples e com uma apresentação visual a duas dimensões. Neste modelo as pessoas são consideradas como indivíduos autónomos e são tidas várias considerações relativamente ao comportamento humano em edifícios (Wei, Lv, Song, & Wang, 2011). Esta metodologia já está testada com dados experimentais, e os resultados obtidos foram também comparados com outros modelos como o **Simulex** (Xie, Lu, Kong, & Wang, 2011).

O **EVACNET** é um programa computacional desenvolvido com a finalidade de determinar as melhores estratégias de evacuação de um edifício em situações de emergência. A escolha do percurso de evacuação ótimo permite minimizar o tempo de evacuação. Tal como o **EvacuatioNZ**, este programa é baseado numa rede de nós interligados, podendo-se utilizar esta

metodologia em edifícios com características e finalidades diferentes (Tashrifullahi & Hassanain, 2013).

O programa **Exodus** tem sido capaz de produzir resultados muito precisos relativamente a estudos de evacuação em edifícios, devido aos múltiplos aspetos comportamentais abordados. Este modelo tem particular importância na análise de situações de emergência decorrentes de incêndios nos edifícios, permitindo ter em conta o desenvolvimento de fumos e o respetivo impacto nas pessoas envolvidas (Gwynne, Galea, Lawrence, & Filippidis, 2001).

O modelo **EDTM** surge com o objetivo de identificar e colmatar problemas existentes nos programas relativos ao estudo de situações de evacuação em edifícios. O algoritmo baseia-se em algumas variáveis de fácil identificação, como o fluxo de pessoas e a largura das saídas de emergência. Apesar de existirem vantagens com a sua utilização, este modelo apenas pode ser aplicado em situações simples para fornecer uma avaliação inicial do tempo de evacuação do edifício (Zhang, Liu, Liu, & Zhao, 2007).

No **Grid Flow Evacuation Model** a simulação dos movimentos humanos é idêntica a outros modelos como o **Simulex** e o **Exodus**, diferindo no que diz respeito à interação do tempo de pré-evacuação com o tempo total de evacuação (Chu, Sun, Wang, & Chen, 2006).

(Beleza, Baptista, & Rua, 2013), no seu trabalho, refere que grande parte dos modelos existentes apresentam uma metodologia sofisticada e de confiança, no entanto, o grau de complexidade e custos inerentes à sua implementação representam fortes entraves à sua utilização em empresas de pequena e média dimensão.

2.1.4 Tempo de evacuação

O tempo de evacuação é um indicador essencial no estudo de situações de emergência em edifícios, existindo diferentes abordagens relativamente à decomposição deste tempo em intervalos temporais mais curtos no que diz respeito à relação das pessoas face à situação de perigo. As diferentes classificações estão associadas a questões metodológicas relacionadas com os objetivos dos diferentes estudos, para além de parâmetros subjetivos inerentes ao tema em estudo, como são disso exemplo as questões culturais.

(Dilip Kumar, Sriram Kiran, & Kumar) considera a existência de três intervalos temporais: tempo de pré-evacuação, movimento e espera. Por outro lado, para (Wang, Li, Liu, Cui, & Zhang, 2011) a classificação é consideravelmente diferente, dividindo o tempo de evacuação em quatro intervalos: tempo de deteção, decisão, preparação e evacuação.

De uma forma geral, a classificação que parece ser mais consensual é a divisão do tempo de evacuação total em quatro fases, de acordo com a equação 1 (Chu, et al., 2006; Spearpoint, 2004):

$$Te = Td + Ta + Tp + Tm \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

Te → Tempo de evacuação total;

Td → Tempo de deteção;

Ta → Tempo de alarme;

Tp → Tempo de pré-evacuação;

Tm → Tempo de movimento.

O **tempo de deteção** é o intervalo temporal definido entre o instante inicial da situação de perigo até ao momento em que esta é efetivamente detetada. A diminuição do tempo de deteção pode

ser concretizada através da instalação de câmaras de vigilância, e no caso de incêndios com a instalação de detetores com tempo de detecção reduzido.

O **tempo de alarme** diz respeito ao intervalo temporal entre a detecção do perigo e a respetiva emissão do sinal de alarme. Este tempo está limitado pelas características técnicas dos elementos utilizados para a emitir os sinais de alarme.

O **tempo de pré-evacuação** antecede a fase movimento e diz respeito ao intervalo de tempo desde a perceção do alarme por parte das pessoas até à decisão de começar efetivamente a evacuar o edifício.

O **tempo de movimento** pode também ser designado como tempo de evacuação efetivo, representando a fase de abandono do edifício numa situação de emergência.

Os dois primeiros intervalos de tempo apresentados estão acima de tudo dependentes de questões técnicas relacionadas com os equipamentos utilizados. Por outro lado, o tempo de pré-evacuação e de movimento são condicionados por fatores humanos, em particular pelas características das pessoas envolvidas.

A minimização dos quatro intervalos temporais apresentados permite diminuir o tempo de evacuação do edifício, possibilitando uma estratégia mais rápida e eficaz em situações de emergência. Um indicador de desempenho importante no estudo da evacuação de edifícios é o tempo disponível para uma evacuação segura (*Available Safe Egress Time - ASET*), que representa o tempo máximo necessário para evacuar todos os ocupantes do edifício em condições de segurança. Para que um sistema de evacuação esteja corretamente projetado, o tempo de evacuação total (T_e) estimado deve ser inferior ao *ASET*. Em (Tosolini, Grimaza, Pecilea, & Salzanoc, 2012) é apresentada uma metodologia para a quantificação do *ASET* em situações de incêndio, utilizando-se para o efeito alguns parâmetros relativos ao desenvolvimento da temperatura, dos fumos e dos gases resultantes do processo de combustão.

2.1.5 Caraterísticas humanas

Nos últimos anos, tem sido dada uma atenção crescente às caraterísticas das pessoas envolvidas em situações de emergência. Atualmente, este assunto assume-se como incontornável, tendo uma influência significativa no processo de evacuação e, conseqüentemente, no tempo de evacuação dos edifícios (Golmohammadi & Shimshak, 2011; Kobes, et al., 2010; McClure, et al., 2011; Rahman, et al., 2008).

Os fatores humanos são um dos principais condicionantes dos tempos de pré-evacuação e do tempo de movimento, podendo ser divididos em fatores demográficos, físicos e psicológicos.

A idade, o gênero, o grau de escolaridade e a profissão são exemplos de fatores demográficos que podem influenciar o processo de evacuação dos ocupantes de um edifício. Em (McClure, et al., 2011) é estudada a evacuação de pessoas com limitações físicas realizando-se para o efeito um estudo demográfico da população em estudo. Alguns dos parâmetros demográficos analisados são o gênero, a idade, o número de elementos do agregado familiar e o grau de escolaridade. O gênero e a idade influenciam sobretudo a velocidade de deslocamento das pessoas em situações de emergência, que representa um dos parâmetros mais importantes na estimativa do tempo de evacuação. Este assunto é desenvolvido no subcapítulo seguinte. Para além de abordar as caraterísticas demográficas, (McClure, et al., 2011) tem em conta também as caraterísticas físicas das pessoas envolvidas, como por exemplo o nível de lesão e as limitações de movimentação.

Os fatores físicos assumem particular interesse no estudo da evacuação de um estabelecimento hospitalar devido à vulnerabilidade das pessoas envolvidas. Nestes casos é ainda mais importante compreender as limitações existentes, podendo-se, por uma questão de organização, agrupar as

peças tendo em conta as diferentes características. Em (Golmohammadi & Shimshak, 2011), estuda-se a evacuação assistida num hospital, considerando-se três grupos de doentes: 1) pessoas com a capacidade para se deslocarem de forma completamente autónoma; 2) pessoas com grau de vulnerabilidade intermédio, como por exemplo, a necessidade de cadeira de rodas para se deslocarem); 3) pessoas com um grau de vulnerabilidade elevado, estando confinadas a camas do hospital. Esta abordagem exemplifica as condicionantes de realizar a evacuação em estabelecimentos hospitalares, necessitando-se desde logo de ter um profundo conhecimento das características físicas e limitações da população que se pretende evacuar.

Os fatores psicológicos têm influência no comportamento das pessoas, no entanto têm a particularidade de se alterar significativamente em situações de emergência, sendo por isso difíceis de prever. Os modelos de evacuação tentam cada vez mais criar simulações adequadas ao comportamento humano em situação de emergência. Em (Rahman, et al., 2008) é desenvolvido um estudo do comportamento humano em evacuações de edifícios em altura, utilizando a metodologia *Prometheus*. Este trabalho considera três parâmetros centrais, nomeadamente o pânico gerado numa situação de emergência, a orientação das pessoas aquando da necessidade de evacuação do espaço e a possibilidade de os indivíduos envolvidos ignorarem as ordens de evacuação imediata.

O modelo BART tem o objetivo de estudar o comportamento humano numa situação de incêndio. Este modelo 3D é apresentado em (Kobes, et al., 2010) e tem em conta grande parte das características humanas apresentadas neste texto. O caso de estudo deste artigo é a evacuação de um hotel, podendo esta ferramenta ser utilizada no estudo de edifícios com outras características como os estabelecimentos hospitalares. O desenvolvimento deste modelo é um indicador da importância crescente dos fatores humanos (demográficos, físicos e psicológicos) no estudo das situações de evacuação de edifícios.

2.1.6 Velocidade de deslocação em situação de emergência

A velocidade de deslocação das pessoas é um dos fatores mais importantes na estimativa do tempo de evacuação. Este parâmetro depende acima de tudo das características das pessoas envolvidas. Na figura 2 apresenta-se uma estimativa gráfica relativamente à variação da velocidade com a idade e o género.

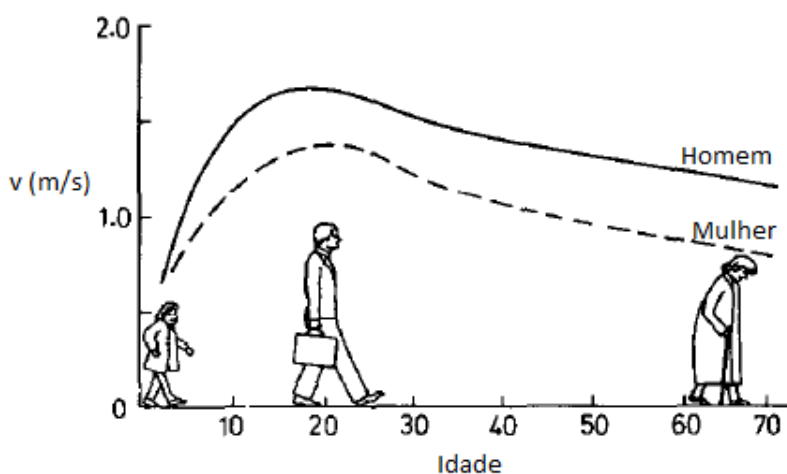


Figura 2 – Variação da velocidade com a idade e o género (adaptado de (Smith, 1995))

No estudo da evacuação em estabelecimentos hospitalares é essencial ter em conta o impacto das limitações físicas das pessoas na respetiva velocidade de evacuação. Esta velocidade depende

também da existência de pessoal médico e não médico que possa dar assistência na evacuação de todos os utentes. Na tabela 1 são apresentados alguns valores relativos à velocidade das pessoas em diferentes condições de utilização dos estabelecimentos hospitalares (Wei, et al., 2011).

Tabela 1 – Velocidades médias dos utilizadores dos hospitais (Wei, et al., 2011)

Categorias	Velocidades (m/s)
Pessoal médico	1,01 ± 0,25
Pacientes – geral	0,67 ± 0,14
Pacientes com duas moletas	0,51 ± 0,08
Pacientes com uma moleta	0,32 ± 0,05
Pacientes em cadeira de rodas	0,22 ± 0,11
Visitantes	0,93 ± 0,25
Acompanhantes da pediatria	0,67 ± 0,18

A variação das velocidades apresentadas nesta tabela mostra a importância de conhecer profundamente as características das pessoas envolvidas, a fim de estimar com precisão o tempo de evacuação e desenvolver as melhores estratégias para evacuar todos os ocupantes do edifício em questão.

A densidade de ocupação impossibilita as pessoas de se deslocarem à sua velocidade máxima. Em situações de evacuação é normal existir um grande fluxo de pessoas para as saídas de emergência, o que implica um aumento de densidade ocupacional nas vias de evacuação. Posto isto, importa ter em conta as implicações deste fenómeno nos tempos de evacuação. (Smith, 1995) apresenta a relação da velocidade com a densidade populacional, podendo-se dividir em três categorias:

- Densidade reduzida (0,8 pessoas/m²) → Velocidade de 1,4 m/s;
- Densidade média (1,8 pessoas/m²) → Velocidade de 0,9 m/s;
- Densidade alta (4 pessoas/m²) → Velocidade de 0,5 m/s.

Nos edifícios com vários pisos, a evacuação vertical pelas escadas tem de ser considerada. (Beleza, et al., 2013) refere um valor de referência para a velocidade nas escadas de 0,3 m/s. Por outro lado, (Smith, 1995) apresenta relação da velocidade das pessoas a subir e a descer escadas tendo em conta a densidade ocupacional do espaço (figura 3).

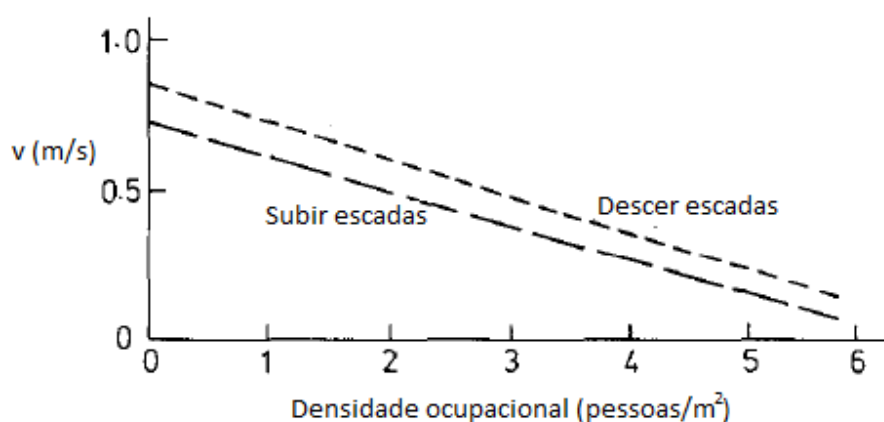


Figura 3 – Relação da velocidade em escadas com a densidade ocupacional (adaptado de (Smith, 1995))

2.1.7 Largura das saídas de emergência e das vias de evacuação

A largura das saídas de emergência é um dos parâmetros de entrada na maioria dos modelos existentes para o estudo das situações de evacuação. O alargamento das saídas permite aumentar o fluxo de pessoas no processo de evacuação, diminuindo assim o tempo de evacuação (Chu, et al., 2006).

Tal como as saídas de emergência, as vias de evacuação também devem ter uma largura suficiente que permita uma evacuação rápida e segura dos utilizadores dos edifícios. O dimensionamento destas estruturas deve ser realizado cuidadosamente na fase de projeto, uma vez que alterar estas dimensões durante a fase de utilização do edifício é um processo complexo e com elevados custos.

(Collier, 2008) estuda o impacto do aumento da largura das saídas de emergência e do número de pessoas com os tempos de evacuação em situações de emergência. Este autor aborda esta questão como uma problemática com importância crescente no futuro, devido à tendência que se tem vindo a verificar ao nível do aumento de peso e à consequente falta de mobilidade das pessoas.

Em (Chu, et al., 2006) é também realizado uma simulação relativamente ao efeito da largura das saídas no tempo de evacuação do edifício, destacando o efeito no congestionamento das pessoas neste tipo de situações. Este autor apresenta também a importância da densidade ocupacional na relação entre a largura das saídas e o tempo de evacuação. Os resultados obtidos demonstram que nos casos em que a densidade de pessoas é superior, o aumento da largura das saídas tem um impacto muito mais significativo na diminuição do tempo de evacuação.

Em estabelecimentos hospitalares a largura das saídas e das vias de evacuação deve considerar não só as características das pessoas envolvidas mas também a necessidade de espaço para equipamentos de apoio essenciais à manutenção das condições de saúde dos pacientes, como por exemplo as bombas de oxigénio e os recipientes de soro que mesmo em situações de evacuação podem ter de acompanhar os pacientes.

2.1.8 Planeamento e prevenção

A evacuação de um hospital pode comprometer a saúde dos pacientes no caso de não existir um plano de contingência e um plano de ação para as situações de emergência (Augustine & Schoettmer, 2005). O planeamento adequado possibilita não só uma evacuação eficaz, como também permite evitar situações de evacuação desnecessárias (Bagaria, et al., 2009). Este processo deve ser contínuo e baseado na análise das vulnerabilidades dos pacientes, garantindo uma boa comunicação, uma logística funcional e a formação das pessoas que possam auxiliar na evacuação do estabelecimento (Wabo, et al., 2012).

O uso eficiente das vias e a minimização do tempo de evacuação são os maiores desafios no processo de planeamento para situações de emergência (Fang, et al., 2011). As regras e os princípios utilizados no planeamento de rotas de evacuação podem não ser suficientes para dar a entender toda a complexidade inerente às diferentes variáveis que afetam o processo (Han et al., 2013). Esta possibilidade é particularmente válida em estabelecimentos hospitalares onde é provável a existência de uma fração de pessoas pouco apetrechadas tecnologicamente.

A formação permite melhorar a capacidade de avaliação do risco por parte do *staff* do hospital, representando um elemento essencial no planeamento de situações de emergência. Os exercícios de formação são essencialmente eficazes quando combinados com situações práticas como simulacros de evacuação, permitindo acima tudo identificar as dificuldades e os obstáculos neste tipo de situações (Bagaria, et al., 2009). O trabalho de (Femino, et al., 2013) é um bom exemplo disso, apresentando-se os pontos positivos e os principais aspetos a melhorar de um exercício de evacuação realizado num estabelecimento hospitalar.

Os modelos apresentados no ponto 2.1.3 são ferramentas muito interessantes para a fase de planeamento, podendo dar uma primeira estimativa do tempo de evacuação esperado, podendo também, no caso de comparação com ensaios reais (simulacros), ajudar a perceber as dificuldades e falhas no processo de evacuação e potenciar melhorias. A este nível, é importante referir que existem modelos matemáticos, com o objetivo de estimar o tempo de evacuação, em que são tidos em conta fatores relativos à existência de treino de emergência (Meng & Zhen, 2010).

2.2 Enquadramento Legal e Normativo

A Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) representa a entidade competente no que diz respeito às condições de segurança e manutenção dos edifícios desde a fase de projeto, construção e durante toda a vida útil. A **lei nº 27/2006, de 3 de julho**, aprova a Lei de Bases da Proteção Civil, onde se apresentam os objetivos, os domínios de atuação, os princípios e os deveres da proteção civil. O **artigo 3º** deste documento diz respeito à definição de acidente grave e de catástrofe, conceitos importantes para a caracterização de uma situação de emergência num hospital. Este artigo define então:

1 - Acidente grave é um acontecimento inusitado com efeitos relativamente limitados no tempo e no espaço, suscetível de atingir as pessoas e outros seres vivos, os bens ou o ambiente.

2 - Catástrofe é o acidente grave ou a série de acidentes graves suscetíveis de provocarem elevados prejuízos materiais e, eventualmente, vítimas, afetando intensamente as condições de vida e o tecido socioeconómico em áreas ou na totalidade do território nacional.

No que diz respeito à responsabilidade dos estabelecimentos hospitalares é o **Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro**, que define os parâmetros legais que devem ser cumpridos ao nível da necessidade de evacuação do edifício. Este diploma apresenta o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios.

O **artigo 8º do Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro**, classifica os edifícios quanto às suas utilizações-tipo, definindo-se para o efeito doze tipologias de utilização apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Utilizações tipo definidas no Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro

I – Habitacionais	VII – Hoteleiros e restauração
II – Estacionamento	VIII – Comerciais e gares de transporte
III – Administrativos	IX – Desportivos e de lazer
IV – Escolares	X – Museus e galerias de arte
V – Hospitalares e lares de idosos	XI – Bibliotecas e arquivos
VI – Espetáculos e reuniões públicas	XII – Industriais, oficinas e armazéns

Por outro lado, o **artigo 10º** deste decreto-lei classifica os locais dos edifícios e dos recintos de acordo com a natureza do risco, como consta na Tabela 3.

Os estabelecimentos hospitalares são classificados como um edifício de utilização-tipo V, com existência de locais de risco D, podendo variar a categoria de risco. Estas categorias de risco são apresentadas no **artigo 12º**, definindo-se o seguinte:

- 1º Categoria – Risco reduzido;
- 2º Categoria – Risco moderado;
- 3º Categoria – Risco elevado;
- 4º Categoria – Risco muito elevado;

O **artigo 21º** deste regime jurídico define a necessidade de estabelecer algumas medidas de autoproteção consoante as utilizações-tipo e a classificação dos locais quanto à natureza e categoria do risco.

Tabela 3 – Classificação dos locais de risco definido no Decreto-lei nº 220/2008, de 12 de novembro

Local de Risco A	Local que não apresenta riscos especiais, com um efetivo inferior a 100 pessoas e um efetivo público inferior a 50 pessoas. Mais de 90 % dos ocupantes não devem ter limitações físicas na mobilidade e na perceção de sinais de alarme. As atividades exercidas e os produtos utilizados não devem envolver riscos agravados de incêndios.
Local de Risco B	Local acessível ao público ou ao pessoal afeto ao estabelecimento, com um efetivo superior a 100 pessoas ou um efetivo de público superior a 50 pessoas. Mais de 90 % dos ocupantes não devem ter limitações físicas na mobilidade e na perceção de sinais de alarme. As atividades exercidas e os produtos utilizados não devem envolver riscos agravados de incêndios.
Local de Risco C	Local que apresenta riscos agravados de eclosão e desenvolvimento de incêndio devido às atividades desenvolvidas ou às características dos produtos materiais e equipamentos existentes.
Local de Risco D	Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme.
Local de Risco E	Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D.
Local de Risco F	Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

2.2.1 Medidas de autoproteção

As medidas de autoproteção são apresentadas na **Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro**, que estabelece o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios. O **artigo 198º** desta Portaria apresenta as medidas de autoproteção exigíveis (Tabela 4).

No caso dos estabelecimentos hospitalares, utilização-tipo V com locais de risco D, é exigido a existência de registos de segurança (artigo 201º), plano de prevenção (artigo 203º) e ações de sensibilização e formação (artigo 206º). Estas medidas variam consoante a categoria de risco em que o estabelecimento se insere. Se o estabelecimento for classificado como 1ª categoria de risco, é necessário apenas ser definidos procedimentos e técnicas de atuação em caso de emergência (artigo 204º). Por outro lado, no caso de se classificar o estabelecimento como 2ª categoria de risco, deve existir um plano de emergência interno (artigo 205º) e devem ser realizados exercícios de simulacro (artigo 207º).

O plano de prevenção deve ser constituído, entre outros parâmetros, pelas plantas de emergência com a representação da respetiva classificação de risco dos locais apresentados, das vias de evacuação vertical e horizontal, e da localização dos dispositivos e equipamentos ligados à segurança contra incêndio.

Tabela 4 – Medidas de autoproteção

Utilização-Tipo	Categoria de risco	Medidas de autoproteção [Referência ao artigo aplicável]						
		Registos de segurança (art.º 201)	Procedimentos de prevenção (art.º 202)	Plano de prevenção (art.º 203)	Procedimentos em caso de emergência art.º 204)	Plano de emergência interno (art.º 205)	Ações de sensibilização e formação em SCIE (art.º 206)	Simulacros (art.º 207)
I	3ª «apenas para os espaços comuns»	•	•		•		•	
	4ª «apenas para os espaços comuns»	•		•		•	•	•
II	1ª	•	•					
	2ª	•	•		•		•	
	3ª e 4ª	•		•		•	•	•
III, VI, VIII, IX, X, XI e XII	1ª	•	•					
	2ª	•		•	•		•	•
	3ª e 4ª	•		•		•	•	•
IV, V e VII	1ª «sem locais de risco D ou E»	•	•					
	1ª «com locais de risco D ou E» e 2ª «sem locais de risco D ou E»	•		•	•		•	
	2ª «com locais de risco D ou E», 3ª e 4ª	•		•		•	•	•

Um dos objetivos do **plano de emergência interno** é sistematizar a evacuação dos ocupantes dos edifícios em caso de emergência. Este plano deve ser constituído pelas seis secções seguintes:

- 1) Definição da organização a adotar em caso de emergência;
- 2) Indicação das entidades internas e externas a contactar em situação de emergência;
- 3) Plano de atuação;
- 4) Plano de evacuação;**
- 5) Anexo com as instruções de segurança;
- 6) Anexo com as plantas de emergência, podendo ser acompanhadas por esquemas de emergência.

O **plano de evacuação** deve garantir o encaminhamento rápido e seguro dos ocupantes desses espaços para o exterior ou para uma zona segura, o auxílio a pessoas com capacidades limitadas ou em dificuldade (como é o caso de uma fração dos ocupantes dos estabelecimentos hospitalares) e a confirmação da evacuação total dos espaços.

Nas situações em que se exige a existência de um **plano de emergência interno** devem também ser realizados exercícios de **simulacro** periódicos, com o objetivo de testar a eficiência deste plano. Os simulacros permitem também a criação de rotinas de comportamento e de atuação em

caso de emergência, assim como o aperfeiçoamento dos procedimentos utilizados. No caso dos estabelecimentos hospitalares (utilização-tipo V com locais de risco D) de 2ª categoria, os simulacros devem ser realizados com uma periodicidade máxima de um ano.

2.2.2 Sinalização de segurança

A sinalização existente para a evacuação de edifícios deve cumprir a legislação em vigor, destacando-se a este nível a **Lei n.º 113/99, de 3 de agosto**, a **Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro**, e a **Portaria n.º 1456-A/95, de 11 de dezembro**.

A **Lei n.º 113/99, de 3 de agosto**, desenvolve e concretiza o regime geral das contraordenações laborais correspondentes à violação da legislação específica de segurança, higiene e saúde no trabalho, entre as quais as contraordenações relacionadas com a ausência ou insuficiência de sinalização.

A **Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro**, define os parâmetros físicos relacionados com a sinalização de incêndio e evacuação como as dimensões, os formatos e materiais utilizados nas placas, as condições de distribuição e visibilidade e por fim a localização destes sinais.

A **Portaria n.º 1456-A/95, de 11 de dezembro**, regulamenta as prescrições mínimas de colocação e utilização da sinalização de segurança e saúde no trabalho. Este diploma define a relação cor com o significado e finalidade dos sinais utilizados, apresentando também exemplos de sinais de proibição, aviso, obrigação, salvamento e emergência e sinalização relativa ao material de combate a incêndios.

2.2.3 Normas técnicas

A nível normativo existe também um conjunto de documentos de referência relativo à segurança contra incêndios, destacando-se a família de normas **NP 3874**, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Normas relativas à segurança contra incêndios (NP 3874)

NP 3874-1:1995	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 1: Termos gerais. Fenómenos do fogo.
NP 3874-2:1993	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 2: Proteção estrutural contra incêndio.
NP 3874-3:1997	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 3: Deteção e alarme de incêndio.
NP 3874-4:1994	Segurança contra incêndios. Terminologia. Parte 4: Equipamentos e meios de extinção de incêndios.
NP 3874-5:1994	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 5: Desenfumagem (controlo de fumo).
NP 3874-6:1994	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 6: Meios de evacuação e salvamento.
NP 3874-7:1994	Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 7: Meios de deteção e supressão de explosões.

Para a problemática em questão a **NP 3874-6:1994** assume particular interesse, abordando assuntos relacionados com a evacuação de edifícios, como as vias, a sinalização e os tempos de evacuação.

A **NP 3874-3:1997** considera questões relacionadas com a deteção e alarme em situações de incêndio. Esta norma identifica os diferentes tipos de equipamentos existentes com estas

finalidades, permitindo uma escolha adequada para a minimização dos tempos de detecção e alarme.

A **NP 4386:2001**, referente a símbolos gráficos para as plantas de emergência de segurança contra incêndios, representa também um documento com interesse relativamente ao estudo da evacuação de edifícios.

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

As implicações e dificuldades de realizar a evacuação de hospitais representaram a principal motivação para o desenvolvimento desta dissertação. Com o presente trabalho pretende-se desenvolver um modelo matemático de simulação que permite prever as necessidades de meios humanos para a evacuação de um hospital numa situação de emergência. A aplicação desta metodologia possibilita, de forma rápida, perceber as principais dificuldades e obstáculos existentes na evacuação do edifício.

Esta metodologia tem por base um modelo de simulação, que tem em consideração estudos já existentes relativamente à evacuação de hospitais, complementando esta informação com valores experimentais obtidos em espaço real de um hospital em funcionamento. Outra das funcionalidades do modelo de simulação apresentado neste trabalho passa pela análise de diferentes parâmetros no tempo de evacuação dos estabelecimentos hospitalares, como por exemplo o grau de vulnerabilidade dos pacientes.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Modelo de simulação

3.2.1.1 Enquadramento

O presente modelo de simulação foi desenvolvido tendo como base o trabalho de (Golmohammadi & Shimshak, 2011), adaptando-se em alguns aspetos aos objetivos propostos e aos meios disponíveis atualmente nos estabelecimentos hospitalares nacionais. Esta metodologia deve ser aplicada para apenas um departamento do estabelecimento hospitalar, fazendo com que aplicação a vários setores deva ser realizada através de cálculos independentes.

O modelo prevê a existência de três tipos de pacientes:

- **Pacientes tipo 1** – Pacientes sem grandes limitações físicas e com a capacidade de se deslocar autonomamente. Os visitantes do estabelecimento hospitalar estão inseridos dentro desta tipologia.
- **Pacientes tipo 2** – Pacientes com alguma limitação física e que necessitam de auxílio médico para se deslocarem (cadeira de rodas).
- **Pacientes tipo 3** – Pacientes com muitas limitações físicas que necessitam de auxílio médico para se deslocarem (acamados).

A evacuação total dos pacientes tipo 1 é realizada através de dois **elementos do staff**, existindo um chefe de fila e um cerra fila para uma evacuação rápida e eficiente dos pacientes em situação de emergência.

A evacuação de cada um dos pacientes tipo 2 exige um elemento do *staff*, quer para as operações de preparação, quer para o deslocamento dos pacientes para o local de segurança.

A evacuação dos pacientes tipo 3 necessita de dois elementos do *staff* por cada doente que se pretende evacuar. Neste caso os dois elementos do *staff* são necessários quer nas manobras de preparação do doente, quer na movimentação deste para o local de segurança.

Assim sendo, para que a evacuação se proceda no mínimo tempo possível, isto é, sem a necessidade dos elementos do *staff* regressarem ao local de risco para evacuarem os restantes pacientes, deve existir pelo menos dois elementos do *staff* para evacuarem os pacientes tipo 1, mais um elemento por cada paciente tipo 2 e mais dois elementos por cada paciente tipo 3 (equação 2).

$$S_{ideal} = 2 + 1 \times P_2 + 2 \times P_3 \quad (\text{equação 2})$$

Em que:

S_{ideal} – Número de elementos do *staff* necessários para minimizar o tempo de evacuação

P_2 – Número de pacientes tipo 2

P_3 – Número de pacientes tipo 3

Quando o número de elementos do *staff* é inferior ao número calculado pela equação 2, alguns pacientes terão de aguardar no local de risco até que os elementos do *staff* regressem e possam auxiliar a sua evacuação. Neste caso existe um **tempo de espera** por parte de alguns pacientes até que estejam reunidas as condições para iniciarem a movimentação para um local livre de perigo.

O cálculo do tempo de espera depende da relação do número de elementos do *staff* com o número de doentes nas diferentes tipologias definidas. Devido à complexidade associada a este cálculo, ele será exibido sempre que necessário ao longo da apresentação dos resultados.

Esta situação exige a priorização da ordem de evacuação dos doentes. Esta ordem deve ter em conta a maximização do número de pessoas evacuadas no menor tempo possível, tendo-se como objetivo salvar o maior número de vidas possível. Assim sendo, definiu-se a seguinte ordem de evacuação dos pacientes:

1º- Pacientes tipo 1 (tempo de evacuação mais reduzido);

2º- Pacientes tipo 2;

3º- Pacientes tipo 3 (tempo de evacuação mais elevado).

O **tempo de preparação** representa o tempo desde que as pessoas se apercebem da situação de emergência até ao início do movimento de evacuação do espaço. Este tempo está dependente do estado de saúde dos pacientes definindo-se por isso tempos de preparação diferentes para as tipologias definidas neste estudo.

O **tempo de movimento** diz respeito à evacuação física do espaço em situação de emergência até ao local de segurança previamente definido. Por um lado, se os locais estiverem no mesmo piso, existe apenas a necessidade de evacuar horizontalmente o espaço. Por outro lado, se o local de segurança estiver num piso superior ou inferior, é necessário recorrer a escadas e elevadores para evacuar os pacientes do hospital.

A componente horizontal depende de dois parâmetros, nomeadamente a velocidade das pessoas envolvidas no processo de evacuação do edifício e a distância a percorrer entre o local em situação de emergência e o local de segurança para o qual se deslocam os ocupantes do estabelecimento hospitalar (equação 3).

$$\text{Componente horizontal} = D/v_x \quad (\text{equação 3})$$

Em que:

D – Distância a percorrer até ao local de segurança (m)

v_x – Velocidade dos pacientes tipo x (m/s)

Tal como os tempos de preparação, a velocidade das pessoas varia consoante a tipologia definida, devendo por isso ser calculada separadamente através de estudos experimentais realizados em espaço real ou definida considerando dados obtidos na literatura.

O cálculo da componente vertical difere consoante a tipologia de pacientes. Os doentes menos vulneráveis (tipo 1) devem recorrer a escadas para evacuar o edifício (equação 4), sendo que os doentes tipo 2 e tipo 3 devem ser transportados através de elevadores (equação 5). Esta componente depende das características das escadas e dos elevadores em funcionamento, devendo por isso ser calculada experimentalmente para cada caso em que se aplique este modelo de simulação.

$$\text{Comp vertical (pac. tipo 1)} = \text{tempo descer ou subir escadas} \quad (\text{equação 4})$$

$$\text{Comp vertical (pac. tipo 2e3)} = \text{tempo percurso/espera elevador} \quad (\text{equação 5})$$

O tempo de movimento é calculado através da soma dos dois parciais relativos à componente horizontal e vertical da evacuação (equação 6).

$$Tm_x = \text{Componente horizontal} + \text{Componente vertical} \quad (\text{equação 6})$$

Em que:

Tm_x – Tempo de movimento dos pacientes tipo x (s)

O **tempo de evacuação** é dado pela soma do tempo de espera, do tempo de preparação e do tempo de movimento para cada tipologia de pacientes (equação 7), sendo que o **tempo de evacuação total** diz respeito ao maior dos valores calculados.

$$Te_x = Tw_x + Tp_x + Tm_x \quad (\text{equação 7})$$

Em que:

Te_x – Tempo de evacuação dos pacientes tipo x (s)

Tw_x – Tempo de espera dos pacientes tipo x (s)

Tp_x – Tempo de preparação dos pacientes tipo x (s)

Tm_x – Tempo de movimento dos pacientes tipo x (s)

3.2.1.2 Variáveis do modelo

O cálculo do tempo de evacuação utilizando este modelo de simulação é realizado tendo em conta um conjunto de variáveis, algumas das quais já descritas no subcapítulo anterior.

Na tabela 6 são apresentadas todas as variáveis utilizadas neste cálculo, assim como as equações onde essas variáveis são utilizadas.

Tabela 6 – Variáveis do modelo de simulação

Variável	Designação	Equações
P_1	Número de pacientes tipo 1	Equação 2
P_2	Número de pacientes tipo 2	Equação 2
P_3	Número de pacientes tipo 3	Equação 2
S	Número de elementos do <i>staff</i> para auxiliar a operação de evacuação	Tempo de espera
D	Distância a percorrer até ao local de segurança	Equação 3
N	Número de elevadores	Tempo de espera
C	Capacidade dos elevadores	Tempo de espera
v_1	Velocidade dos pacientes tipo 1	Equação 3
v_2	Velocidade dos pacientes tipo 2	Equação 3
v_3	Velocidade dos pacientes tipo 3	Equação 3
v_s	Velocidade dos elementos do <i>staff</i>	Tempo de espera
Tw_1	Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 1	Equação 7
Tw_2	Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 2	Equação 7
Tw_3	Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 3	Equação 7
Tp_1	Tempo de preparação dos pacientes tipo 1	Equação 7
Tp_2	Tempo de preparação dos pacientes tipo 2	Equação 7
Tp_3	Tempo de preparação dos pacientes tipo 3	Equação 7
Tm_1	Tempo de movimento dos pacientes tipo 1	Equação 6 e 7
Tm_2	Tempo de movimento dos pacientes tipo 2	Equação 6 e 7
Tm_3	Tempo de movimento dos pacientes tipo 3	Equação 6 e 7
T_{esc}	Tempo de percurso nas escadas	Equação 4
T_{ele}	Tempo de espera e percurso nos elevadores	Equação 5
Te_1	Tempo de evacuação dos pacientes tipo 1	Equação 7
Te_2	Tempo de evacuação dos pacientes tipo 2	Equação 7
Te_3	Tempo de evacuação dos pacientes tipo 3	Equação 7

3.2.1.3 Condicionantes do modelo

O modelo apresentado visa ser simples e de rápida aplicação. Como não poderia deixar de ser, existem alguns fatores que não são abordados e que poderiam levar a tempos de evacuação diferentes aos calculados através da presente metodologia, nomeadamente:

- Características das pessoas envolvidas;
- Possibilidade de pânico associado à situação de emergência;
- Formação dos elementos do *staff*;
- Via de evacuação principal obstruída;
- Possibilidade de pessoal de outros blocos/departamentos poderem auxiliar nas manobras de evacuação.

As características das pessoas envolvidas podem ter um impacto muito significativo em situações de evacuação, existindo assim a necessidade de conhecer a população que se pretende evacuar. Em estabelecimentos hospitalares as características dos pacientes variam consideravelmente consoante as secções/departamentos em estudo. Posto isto, a adequação deste modelo às diferentes secções existentes é realizada através do ajuste dos tempos de evacuação parciais estabelecidos na metodologia de cálculo.

A possibilidade de pânico associado a situações de emergência é um fator que está associado às características psicológicas das pessoas e que pode representar um sério obstáculo ao sucesso da evacuação do edifício. Este problema pode ser minimizado através de ações de formação aos elementos do *staff* do hospital.

As ações de formação são também responsáveis por sensibilizar e treinar os elementos do *staff* para as situações de emergência, apresentando-se assim como um ponto fulcral na evacuação

assistida em estabelecimentos hospitalares. Estas ações de formação devem ter uma componente teórica e uma componente prática, podendo esta última ser realizada através de simulacros de situações de emergência.

O modelo apresentado não tem em conta a possibilidade de as vias de evacuação estarem obstruídas impedindo a passagem das pessoas para os locais de segurança. A este nível, devem existir medidas de prevenção que procurem garantir que estas vias se mantenham desobstruídas para as situações de evacuação. Outra solução passa pela existência de vias alternativas de evacuação para as situações de emergência.

Nos casos em que os elementos do *staff* são insuficientes para uma evacuação rápida da secção do hospital que se pretende desocupar, existe a possibilidade de auxílio de elementos de outras secções nas manobras de evacuação. Isto só seria possível através da existência de um procedimento muito claro e eficiente para as situações de emergência no estabelecimento hospitalar.

De referir que as condicionantes apresentadas ao modelo em estudo estão maioritariamente ligadas a questões de prevenção referentes ao plano de emergência e a questões de projeto relacionadas com a construção do edifício.

3.2.2 Material e equipamentos utilizados nos ensaios experimentais

Para a aplicação do modelo de simulação apresentado foram desenvolvidos estudos experimentais em ambiente hospitalar, nas instalações do Hospital de São João, no Porto. Estes estudos visaram essencialmente determinar as velocidades de evacuação dos diferentes tipos de doentes, assim como os tempos de preparação para se iniciarem as manobras de evacuação.

Para o efeito, foi necessário recorrer a uma cadeira de rodas e a uma maca para simular a evacuação dos pacientes tipo 2 e tipo 3, respetivamente.

A velocidade de evacuação foi calculada através da distância percorrida e do tempo de percurso, utilizando-se para o efeito as plantas de emergência existentes, uma fita métrica (para os locais onde não existisse planta de emergência) e um cronómetro.

O tempo de preparação foi obtido tendo em conta pareceres dados por alguns dos profissionais de saúde em atividade no hospital.

PARTE 2

4 RESULTADOS

Neste capítulo são expostos os resultados do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Em primeiro lugar, começa-se por apresentar o trabalho prático desenvolvido em ambiente hospitalar com o objetivo de determinar velocidades de evacuação e tempos de preparação dos pacientes para fazer face a uma situação de emergência.

Posteriormente, através do modelo de simulação desenvolvido e tendo em conta os dados recolhidos dos ensaios experimentais, são estimados tempos de evacuação em diferentes cenários possíveis de ocorrer em estabelecimentos hospitalares.

4.1 Ensaios em ambiente hospitalar

A realização de ensaios em ambiente hospitalar foi a forma selecionada para a determinação da velocidade dos pacientes na aplicação do modelo de simulação. Estes ensaios foram realizados nas instalações do Hospital de São João e tentaram simular a movimentação das diferentes tipologias de pacientes definidas na metodologia apresentada.

Os doentes tipo 1 são pessoas que não têm limitações físicas muito significativas podendo, portanto, se deslocar autonomamente. Como a evacuação é realizada em conjunto com dois elementos do *staff*, os ensaios foram realizados a uma velocidade moderada que permitisse mesmo os pacientes mais vulneráveis acompanhar o grupo na evacuação do local de risco.

Os ensaios relativos à movimentação dos pacientes tipo 2 e tipo 3 foram realizados através do auxílio de uma cadeira de rodas (figura 4) e de uma maca (figura 5), respetivamente. Tal como está previsto no modelo de simulação o paciente que está numa cadeira de rodas foi auxiliado através de um elemento de apoio, e no caso do paciente na maca através de dois elementos de apoio.



Figura 4 – Cadeira de rodas



Figura 5 – Maca

Os ensaios realizados visaram a quantificação de tempos de evacuação em situações com e sem a componente vertical na fase de abandono do local de risco. Para isso, foram realizados experiências em dois tipos de percursos, o primeiro onde a zona de perigo e o local de segurança estão em pisos diferentes, contendo a componente vertical através da utilização das escadas de emergência e dos elevadores em funcionamento e o segundo onde todo o ensaio é feito no mesmo piso do edifício.

O primeiro percurso foi efetuado a partir do piso 6 até ao piso 1 do hospital (piso onde está situado o local de segurança), passando pelas escadas ou utilizando os elevadores existentes, contando com um total de **93 metros** de distância horizontal e **50 metros** de escadas a percorrer desde o local de partida até ao local de chegada. O segundo percurso é sempre efetuado no mesmo piso (piso 1), contabilizando um total de **75 metros**.

Para cada um dos percursos foi simulada a evacuação das várias tipologias de pacientes definidas no modelo de simulação, através de ensaios executados em duplicado. Na tabela 7 são apresentados os resultados de todos os ensaios realizados, separando-se as componentes verticais e horizontais para a futura aplicação no modelo de simulação.

Tabela 7 – Tempos dos ensaios realizados

Tipologia de Pacientes	Tipo de percurso	Tempos de evacuação (s)		
		Comp. Horizontal	Comp. Vertical	Total
Tipo 1	Horizontal + Vertical	82	86	168
Tipo 1	Horizontal + Vertical	81	84	165
Tipo 2	Horizontal + Vertical	104	106	210
Tipo 2	Horizontal + Vertical	101	75	176
Tipo 3	Horizontal + Vertical	135	95	230
Tipo 3	Horizontal + Vertical	132	92	224
Tipo 1	Horizontal	65	-	65
Tipo 1	Horizontal	63	-	63
Tipo 2	Horizontal	83	-	83
Tipo 2	Horizontal	81	-	81
Tipo 3	Horizontal	105	-	105
Tipo 3	Horizontal	100	-	100

O tempo de evacuação vertical dos pacientes tipo 1 é dado pelo tempo medido nas escadas do edifício, resultando numa média de **85 segundos**. Por outro lado, o tempo de evacuação vertical dos pacientes tipo 2 e tipo 3 é dado pelo tempo relativo à fase de espera e movimento do elevador, resultando num valor médio de **92 segundos**.

Através dos tempos e da distância dos percursos horizontais foi estimada a velocidade dos pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3:

$$v_1 = \frac{\sum(D/t)}{N^{\circ} \text{ ensaios}} = \frac{93/82 + 93/81 + 75/65 + 75/63}{4} = 1,16 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{\sum(D/t)}{N^{\circ} \text{ ensaios}} = \frac{93/104 + 93/101 + 75/83 + 75/81}{4} = 0,91 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \frac{\sum(D/t)}{N^{\circ} \text{ ensaios}} = \frac{93/135 + 93/132 + 75/105 + 75/100}{4} = 0,71 \text{ m/s}$$

O tempo de preparação dos pacientes em situações de emergência foi obtido através da consulta a profissionais treinados na realização de preparação de doentes. Este é um valor que depende essencialmente do tipo de doentes que se pretende evacuar e dos tratamentos médicos a que estes estão sujeitos. Para efeitos de simulação foram utilizados os seguintes valores do tempo de preparação dos pacientes:

- Pacientes tipo 1 → 20 segundos;
- Pacientes tipo 2 → 45 segundos;
- Pacientes tipo 3 → 60 segundos.

Os valores apresentados ao longo deste texto, relativos às velocidades de movimentação horizontal, aos tempos de evacuação vertical e aos tempos de preparação dos pacientes, servem de base para a aplicação do modelo de simulação em diferentes cenários propostos ao longo dos próximos subcapítulos.

4.2 Aplicação do modelo de simulação

Nesta fase são estimados os tempos de evacuação de um estabelecimento hospitalar em diferentes cenários através do modelo de simulação apresentado. Nestes cenários existem situações de evacuação horizontal e vertical, estudando-se também o impacto da variação do número de elementos do *staff* e de diferentes tipos de pacientes no tempo de evacuação do edifício.

4.2.1 Simulação de uma situação de evacuação horizontal

O primeiro cenário estima o tempo de evacuação de um estabelecimento hospitalar numa situação de movimentação sempre no mesmo piso existindo apenas a componente horizontal.

Na tabela 8 apresentam-se as condições de evacuação na situação em estudo que possibilitarão estimar o tempo de evacuação através do modelo de simulação desenvolvido.

Tabela 8 – Condições de evacuação

Número de pacientes tipo 1 (P_1)	6
Número de pacientes tipo 2 (P_2)	4
Número de pacientes tipo 3 (P_3)	2
Número de elementos do <i>staff</i> para auxiliar a operação de evacuação (S)	10
Distância a percorrer até ao local de segurança (D)	100 m

Como já foi referido, os valores relativos às velocidades de movimentação horizontal e aos tempos de preparação dos pacientes são os obtidos nos ensaios realizados em ambiente hospitalar (tabela 9).

Tabela 9 – Velocidades e tempos de espera utilizados no modelo de simulação

Velocidade dos pacientes tipo 1 (v_1)	1,16 m/s
Velocidade dos pacientes tipo 2 (v_2)	0,91 m/s
Velocidade dos pacientes tipo 3 (v_3)	0,71 m/s
Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 1 (T_{w1})	20 s
Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 2 (T_{w2})	45 s
Tempo de espera para iniciar a evacuação dos pacientes tipo 3 (T_{w3})	60 s

O cálculo relativo ao tempo de movimento dos pacientes tem em conta a velocidade destes e a distância a percorrer até ao local de segurança (equação 3):

$$Tm_1 = D/v_1 = 100/1,16 = 86 \text{ s}$$

$$Tm_2 = D/v_2 = 100/0,91 = 110 \text{ s}$$

$$Tm_3 = D/v_3 = 100/0,71 = 141 \text{ s}$$

De forma a perceber se existe necessidade de calcular o tempo de espera para evacuar os pacientes tipo 2 e tipo 3, é calculado o número de elementos do *staff* necessários para evacuar os pacientes de uma só vez (equação 2).

$$S_{ideal} = 2 + 1 \times P_2 + 2 \times P_3 = 2 + 1 \times 4 + 2 \times 2 = 10$$

Como o número de elementos do *staff* (S) é igual ao valor calculado na equação anterior (S_{ideal}), não existe a necessidade destes elementos regressarem ao local de risco para a evacuação dos restantes pacientes. Assim sendo, não existe tempo de espera em nenhuma das tipologias de pacientes ($T_{wx} = 0$).

Por fim, utilizando a equação 7, e tendo em conta os tempos parciais já definidos, é calculado o tempo de evacuação dos pacientes do estabelecimento hospitalar,

$$Te_1 = Tw_1 + Tp_1 + Tm_1 = 0 s + 20 s + 86 s = 106 s$$

$$Te_2 = Tw_2 + Tp_2 + Tm_2 = 0 s + 45 s + 110 s = 155 s$$

$$Te_3 = Tw_3 + Tp_3 + Tm_3 = 0 s + 60 s + 141 s = 201 s$$

Os diferentes graus de vulnerabilidade fazem com que os pacientes tipo 1 sejam sempre os primeiros a evacuar o edifício seguidos dos pacientes tipo 2 e por fim dos pacientes tipo 3. O tempo total de evacuação do edifício é dado pelo maior dos valores calculados, que no caso em estudo foi 201 segundos.

4.2.2 Simulação de uma situação de evacuação horizontal e vertical

Neste cenário é também considerada a componente vertical na evacuação do edifício. As condições definidas para esta simulação são as mesmas do cenário anterior, existindo também a necessidade de estabelecer as características e condicionantes das escadas e elevadores necessários para a evacuação de doentes (tabela 10). Importa salientar que no caso em estudo considerou-se que os elevadores se manteriam em funcionamento em caso de ocorrer uma situação de emergência. Quando tal não acontece, devem ser desenvolvidos outro tipo de operações que permitam evacuar os doentes por outras vias, por exemplo através de uma evacuação assistida pelas janelas do estabelecimento hospitalar, o que implicaria diferentes dispositivos e procedimentos.

Tabela 10 – Condições de evacuação

Número de pacientes tipo 1 (P_1)	6
Número de pacientes tipo 2 (P_2)	4
Número de pacientes tipo 3 (P_3)	2
Número de elementos do <i>staff</i> para auxiliar a operação de evacuação (S)	10
Distância a percorrer até ao local de segurança (D)	100 m
Distância a percorrer nas escadas	50 m
Número de elevadores (N)	2

Para além do número de elevadores apresentado na tabela 10, é também necessário determinar a capacidade destes equipamentos para transferir os pacientes tipo 2 e tipo 3. Assim sendo, nesta simulação define-se que os elevadores têm capacidade para transportar dois pacientes tipo 2 ou apenas um paciente tipo 3. Em qualquer dos casos os elementos do *staff* acompanham os pacientes durante o percurso no elevador.

Por uma questão de rigor, utilizaram-se os tempos tirados nos ensaios experimentais realizados relativamente à utilização das escadas e dos elevadores em situações de emergência. O valor utilizado foi 85 segundos para os pacientes tipo 1 (evacuação pelas escadas) e 92 segundos para os pacientes tipo 2 e tipo 3 (evacuação assistida utilizando os elevadores).

Uma vez que a distância horizontal percorrida é igual em relação ao calculado no cenário anterior, o tempo de movimento na componente horizontal é o mesmo. No entanto, para se calcular o tempo total de movimento existe a necessidade de somar o tempo obtido na componente vertical, que no caso dos doentes tipo 1 é dado pelo tempo relativo à fase de movimento nas escadas, e no caso dos doentes tipo 2 e 3 é dado pelo tempo de espera e de percurso dos elevadores (equações 4 e 5):

$$Tm_1 = \text{Comp Horizontal} + \text{Comp Vertical} = 86 \text{ s} + 85 \text{ s} = 171 \text{ s}$$

$$Tm_2 = \text{Comp Horizontal} + \text{Comp Vertical} = 110 \text{ s} + 92 \text{ s} = 202 \text{ s}$$

$$Tm_3 = \text{Comp Horizontal} + \text{Comp Vertical} = 141 \text{ s} + 92 \text{ s} = 233 \text{ s}$$

Neste cenário, o número de elementos do *staff* é suficiente para evacuar todos os doentes de uma só vez ($S = S_{\text{ideal}}$). No entanto, o facto de existirem apenas dois elevadores faz com que alguns dos pacientes tenham de esperar que estes estejam disponíveis para que possam continuar o processo de evacuação.

Os dois elevadores existentes são suficientes para evacuar os quatro pacientes tipo 2, existindo apenas tempo de espera para os dois pacientes tipo 3. A este nível, estimou-se um tempo de espera igual ao tempo utilizado no percurso dos elevadores, ou seja, 92 segundos.

Por fim, e considerando o mesmo tempo de preparação, é calculado o tempo de evacuação dos pacientes através da equação 7.

$$Te_1 = Tw_1 + Tp_1 + Tm_1 = 0 \text{ s} + 20 \text{ s} + 171 \text{ s} = 191 \text{ s}$$

$$Te_2 = Tw_2 + Tp_2 + Tm_2 = 0 \text{ s} + 45 \text{ s} + 202 \text{ s} = 247 \text{ s}$$

$$Te_3 = Tw_3 + Tp_3 + Tm_3 = 92 \text{ s} + 60 \text{ s} + 233 \text{ s} = 385 \text{ s}$$

Neste caso o tempo total de evacuação foi de 385 segundos, incluindo um incremento de 184 segundos devido à componente vertical na evacuação dos pacientes.

4.2.3 Impacto da variação de elementos do *staff* no tempo de evacuação

Nos dois primeiros cenários o número de elementos do *staff* permitia a evacuação dos doentes de uma só vez. No entanto, nem sempre é possível que isso aconteça, podendo existir a necessidade de voltar ao local de risco para evacuar os restantes pacientes.

Nesta fase são estimados os tempos de evacuação de um estabelecimento hospitalar variando o número de elementos do *staff*. As restantes condições de evacuação são as mesmas em relação à primeira simulação desenvolvida (evacuação horizontal) no que diz respeito à distância a percorrida até ao local de segurança (100 metros) e ao número de doentes nas diferentes tipologias definidas (seis doentes tipo 1, quatro doentes tipo 2 e dois doentes tipo 3).

O número de elementos do *staff* nas simulações apresentadas varia entre dez, número de elementos necessários para evacuar o espaço de uma só vez, e dois, número mínimo de elementos do *staff* que possibilitam executar as manobras de evacuação de todos os pacientes do estabelecimento hospitalar, totalizando um conjunto de nove simulações.

Sempre que exista a necessidade de regressar ao local de risco para evacuar pacientes em falta, deve ser contabilizado o tempo de espera destes pacientes até que estejam reunidas as condições de evacuação. Na estimativa do tempo de espera considerou-se que o tempo de regresso dos elementos do *staff* ao local de risco é igual ao tempo de movimento dos pacientes tipo 1 até ao local de segurança, uma vez que esta fase é gerida por elementos do *staff* do hospital e esta tipologia de pacientes não tem grandes limitações físicas que limitem uma movimentação relativamente rápida em situações de emergência. Nas tabelas 11 a 19 são apresentados os valores relativos às simulações efetuadas, expondo-se os cálculos desenvolvidos sempre que for conveniente.

Simulação 1

Tabela 11 – Simulação 1

Simulação 1	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	10		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s) ¹	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s) ²	20	45	60
Tempo de movimento (s) ³	86	110	141
Tempo de espera (s)	0	0	0
Tempo de evacuação (s) ⁴	106	155	201

- 1) Valores obtidos dos ensaios experimentais
- 2) Valores obtidos através de opiniões médicas especializadas
- 3) $T_m = D / v$
- 4) $T_e = T_w + T_p + T_m$

Uma vez que as condições de evacuação nesta simulação são as mesmas em relação ao cenário abordado no ponto 4.2.1, os tempos calculados são também iguais. Nas próximas simulações varia o número de elementos do *staff* e conseqüentemente o tempo de espera. O cálculo do tempo de espera é sempre apresentado nos casos em que seja diferente de zero, quer para os pacientes tipo 2, quer para os pacientes tipo 3. De referir que o tempo de espera apresentado diz respeito ao último paciente da respetiva tipologia a ser evacuado.

Simulação 2

Tabela 12 – Simulação 2

Simulação 2	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	9		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	0	212
Tempo de evacuação (s)	106	155	413

- 1) $T_{w3} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} = 212 \text{ s}$

Nesta simulação os pacientes tipo 1 e tipo 2 têm tempos de espera nulos, podendo desde logo ser evacuados para o local de segurança. Por outro lado, um dos pacientes tipo 3 tem de esperar até que possa ser evacuado, sendo o tempo de espera dado pelo tempo de evacuação dos pacientes tipo 1 (106 segundos) mais o tempo de retorno de um dos elementos do *staff* ao local de risco (106 segundos).

Simulação 3

Tabela 13 – Simulação 3

Simulação 3	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	8		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	0	212
Tempo de evacuação (s)	106	155	413

1) $T_{w3} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} = 212 \text{ s}$

Nesta simulação o tempo de espera dos pacientes tipo 3 é igual ao verificado na simulação 2, no entanto em termos logísticos a situação seria diferente, uma vez que teriam de regressar ao local de riscos os dois elementos que evacuaram os pacientes tipo 1 de forma a evacuar o último paciente tipo 3.

Simulação 4

Tabela 14 – Simulação 4

Simulação 4	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	7		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	0	261
Tempo de evacuação (s)	106	155	462

1) $T_{w3} = 155 \text{ s} + 106 \text{ s} = 261 \text{ s}$

Na simulação 4 a evacuação do último paciente tipo 3 depende de um dos elementos que evacuou um dos pacientes tipo 2. Assim sendo o tempo de espera é dado pelo tempo de evacuação dos pacientes tipo 2 (155 segundos) mais o tempo de retorno de um dos elementos do *staff* ao local de risco (106 segundos).

Simulação 5

Tabela 15 – Simulação 5

Simulação 5	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	6		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	0	261
Tempo de evacuação (s)	106	155	462

1) $T_{w3} = 155 \text{ s} + 106 \text{ s} = 261 \text{ s}$

O tempo de espera dos pacientes tipo 3 na simulação 5 é igual ao valor calculado na simulação 4.

Simulação 6

Tabela 16 – Simulação 6

Simulação 6	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	5		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	212	261
Tempo de evacuação (s)	106	367	462

1) $T_{w2} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} = 212 \text{ s}$

2) $T_{w3} = 155 \text{ s} + 106 \text{ s} = 261 \text{ s}$

Na simulação 6 o tempo de espera dos pacientes tipo 3 é o mesmo das duas simulações anteriores. No entanto, neste cenário um dos pacientes tipo 2 tem também de esperar para poder evacuar o local de risco, sendo este tempo de espera dado pelo tempo de evacuação dos pacientes tipo 1 (106 segundos) mais o tempo de retorno de um dos elementos do *staff* (106 segundos).

Simulação 7

Tabela 17 – Simulação 7

Simulação 7	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	4		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	212	473
Tempo de evacuação (s)	106	367	674

1) $T_{w2} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} = 212 \text{ s}$

2) $T_{w3} = 367 \text{ s} + 106 \text{ s} = 473 \text{ s}$

Tal como na simulação 6, neste caso os pacientes tipo 2 e tipo 3 têm tempos de espera até que possam iniciar as manobras de evacuação. Para os pacientes tipo 2, este tempo tem em conta a evacuação dos pacientes tipo 1 (106 segundos) e o retorno dos elementos do *staff* (106 segundos). Para os pacientes tipo 3, o tempo de espera é dado pelo tempo de evacuação dos pacientes tipo 2 (367 segundos) e o retorno dos elementos do *staff* (106 segundos).

Simulação 8

Tabela 18 – Simulação 8

Simulação 8	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	3		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	261	780
Tempo de evacuação (s)	106	416	981

1) $T_{w2} = 155 \text{ s} + 106 \text{ s} = 261 \text{ s}$

2) $T_{w3} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} + 155 \text{ s} + 106 \text{ s} + 201 \text{ s} + 106 \text{ s} = 780$

Com a diminuição do número de elementos do *staff* aumentam o número de viagens que estes têm de fazer de volta ao local de risco para evacuar os pacientes em falta. Nesta simulação, a priorização definida faz com que último paciente tipo 2 a ser evacuado, seja auxiliado por um elemento do *staff* que já tenha auxiliado outro paciente tipo 2, representando assim um tempo de evacuação de 261 segundos. Por outro lado, a evacuação do último dos pacientes tipo 3 é feito por um elemento que evacuou os pacientes tipo 1, um dos pacientes tipo 2 e o primeiro dos pacientes tipo 3, tendo um tempo de espera de 780 segundos.

Simulação 9

Tabela 19 – Simulação 9

Simulação 9	Pacientes Tipo 1	Pacientes Tipo 2	Pacientes Tipo 3
Número de pessoas	6	4	2
Número de elementos do <i>staff</i>	2		
Distância até local seguro (m)	100		
Velocidade (m/s)	1,16	0,91	0,71
Tempo de preparação (s)	20	45	60
Tempo de movimento (s)	86	110	141
Tempo de espera (s) ¹	0	473	1041
Tempo de evacuação (s)	106	628	1242

1) $T_{w2} = 106 \text{ s} + 106 \text{ s} + 155 + 106 = 473 \text{ s}$

2) $T_{w3} = 628 \text{ s} + 106 \text{ s} + 201 \text{ s} + 106 \text{ s} = 1041 \text{ s}$

Esta simulação é realizada considerando-se a existência de apenas dois elementos do *staff* para a evacuação de todos os pacientes. Estes dois elementos devem começar por evacuar os pacientes tipo 1, seguido dos 4 pacientes tipo 2, tendo estes de ser evacuados em duas fases, calculando-se um tempo de espera de 473 segundos. Os pacientes tipo 3 são também evacuados em duas fases, sendo que o último deve esperar 1041 segundos.

Nas nove simulações apresentadas foram determinados os tempos de evacuação de todas as tipologias de doentes, em diferentes condições de apoio. O tempo de evacuação total deve ser dado tendo em conta a última pessoa a abandonar o local de risco, o que devido às características e aos critérios de priorização definidos são sempre os pacientes tipo 3.

Nas simulações realizadas os tempos de evacuação estimados vão de mínimo de 201 segundos (cerca de 3,4 minutos), nos casos em que existem 10 elementos do *staff* nas operações de evacuação assistida, até um máximo de 1243 segundos (cerca de 20,7 minutos), nos casos em que apenas existem 2 elementos do *staff* para evacuar todos os pacientes.

4.2.4 Impacto da variação do número de pacientes nas diferentes tipologias

Ao contrário do número de elementos do *staff*, a quantidade e vulnerabilidade das pessoas hospitalizadas não pode ser estimada com grande precisão, uma vez que está sujeita a variações significativas ao longo do tempo. Este fator faz com que seja importante o desenvolvimento de ferramentas que permitam estimar o tempo de evacuação em diferentes condições de funcionamento dos estabelecimentos hospitalares.

Nesta fase são realizadas várias simulações de evacuação variando o número de pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3, num departamento com a capacidade máxima para receber um total de 20 doentes. Nas simulações considera-se uma distância horizontal de **100 metros** e um número contante de **6 elementos do *staff*** para auxiliar as manobras de evacuação.

Para cada uma das simulações é estimado o tempo de evacuação através do modelo de simulação desenvolvido, utilizando-se cálculos semelhantes aos apresentados ao longo das simulações anteriores (Tabela 20).

Tabela 20 – Simulações do tempo de evacuação variando o número de pacientes

Simulação	Pacientes tipo 1					Pacientes tipo 2					Pacientes tipo 3					Tempo total de Evacuação (s)
	Nº	Tw	Tp	Tm	Te	Nº	Tw	Tp	Tm	Te	Nº	Tw	Tp	Tm	Te	
1	5	0	20	86	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106
2	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106
3	15	0	20	86	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106
4	20	0	20	86	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106
5	10	0	20	86	106	2	0	45	110	155	-	-	-	-	-	155
6	10	0	20	86	106	4	0	45	110	155	-	-	-	-	-	155
7	10	0	20	86	106	6	212	45	110	367	-	-	-	-	-	367
8	10	0	20	86	106	8	261	45	110	416	-	-	-	-	-	416
9	10	0	20	86	106	10	261	45	110	416	-	-	-	-	-	416
10	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	2	0	60	141	201	201
11	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	4	307	60	141	508	508
12	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	6	519	60	141	720	720
13	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	8	614	60	141	815	815
14	10	0	20	86	106	-	-	-	-	-	10	921	60	141	815	1122
15	10	0	20	86	106	8	261	45	110	416	2	473	60	141	674	674
16	10	0	20	86	106	6	212	45	110	367	4	568	60	141	769	769
17	10	0	20	86	106	4	0	45	110	155	6	568	60	141	769	769
18	10	0	20	86	106	2	0	45	110	155	8	826	60	141	1027	1027

A variação do número de pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3 permite alterar consideravelmente o tempo de evacuação, assim como a gestão das manobras levadas a cabo por parte dos elementos do *staff* do estabelecimento hospitalar.

5 DISCUSSÃO

5.1 Ensaio em ambiente hospitalar

Os ensaios realizados em ambiente hospitalar tiveram o objetivo máximo de estudar as velocidades de deslocação e de preparação dos diferentes tipos de doentes em situações de emergência. A este nível o objetivo foi atingido na totalidade levantando-se ainda outras questões que aumentaram o interesse deste tipo de análise experimental.

Uma dessas questões foi a identificação de obstáculos que possam pôr em causa as manobras de evacuação, como por exemplo a existência de passagens apertadas e pequenos degraus que impossibilitem a evacuação de doentes com necessidades de equipamento apropriada para evacuar os locais de risco. Este aspeto demonstra a importância de serem realizados exercícios em espaço real, como simulacros de situações de emergência.

Os valores calculados para a velocidade dos pacientes no caso em estudo podem não ser os verificados em situações de evacuação em estabelecimentos hospitalares distintos, dependendo de vários fatores, como as características dos pacientes e das saídas e vias de evacuação existentes. Para aumentar o grau de fiabilidade, sempre que possível, deve-se acompanhar a aplicação do modelo com ensaios experimentais como os realizados no presente trabalho.

Os tempos de preparação podem estar sujeitos a variações ainda maiores, dependendo fortemente do tipo de patologia a que os doentes estão sujeitos e da capacidade dos elementos do *staff* para gerirem as situações de emergência. Na aplicação prática do modelo foram utilizados valores convergentes das opiniões médicas recolhidas, no entanto, a volatilidade que estes tempos podem ter nas diferentes situações, exige uma análise detalhada para cada um dos casos em estudo.

5.2 Aplicação do modelo de simulação

As duas primeiras simulações efetuadas apresentaram situações de evacuação com e sem a componente vertical, estimando-se o tempo de evacuação para as três tipologias de pacientes definidas. De forma a analisar estas duas situações de emergência expõem-se uma representação gráfica dos tempos de evacuação calculados (figura 6).

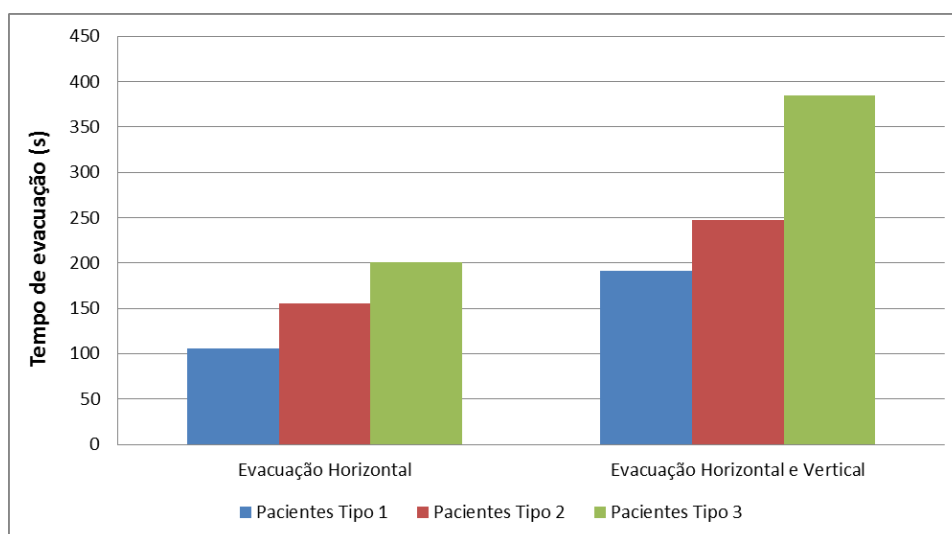


Figura 6 – Evacuação dos pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3

Nos dois cenários propostos os pacientes tipo 1 têm os tempos de evacuação mais reduzidos, seguidos dos pacientes tipo 2, sendo os pacientes tipo 3 os últimos a evacuar o edifício. As características dos doentes implicam sempre esta ordem de saída, podendo ainda as diferenças ser superiores quando a priorização definida faz com que existam tempos de espera para os pacientes tipo 2 e/ou para os pacientes tipo 3.

A existência de movimentações verticais no edifício (escadas ou elevadores) é responsável por um aumento do tempo de evacuação dos pacientes. Nas simulações realizadas, este aumento foi cerca de 80% para os pacientes tipo 1 (passou de 106 para 191 segundos), 59% para os pacientes tipo 2 (aumentou de 155 para 247 segundos) e de 92% para os pacientes tipo 3 (passou de 201 para 385 segundos). O aumento verificado no tempo de evacuação dos pacientes tipo 3 deve-se não só ao tempo de movimentação vertical mas também ao facto de não existir elevadores para evacuar todos os doentes de uma só vez. Este tipo de dificuldades faz com que as situações de evacuação vertical possam estar sujeitas a complicações ao nível do planeamento e gestão de situações de emergência. Assim sendo, sempre que possível, é aconselhável garantir alternativas que possibilitem evacuar horizontalmente o local de perigo, através do estabelecimento de zonas de segurança em todos os pisos do edifício.

No ponto 4.2.3 analisou-se o impacto que o número de elementos do *staff* do estabelecimento hospitalar pode ter no tempo de evacuação. Para isso fizeram-se várias simulações entre dez elementos do *staff*, que representa o número de elementos necessários para evacuar o espaço de uma só vez, e dois elementos do *staff*, que representa o número mínimo de elementos do *staff* que possibilitam executar as manobras de evacuação de todos os pacientes do estabelecimento hospitalar. Na figura seguinte são apresentados os valores obtidos através da aplicação do modelo de simulação nos diferentes cenários analisados.

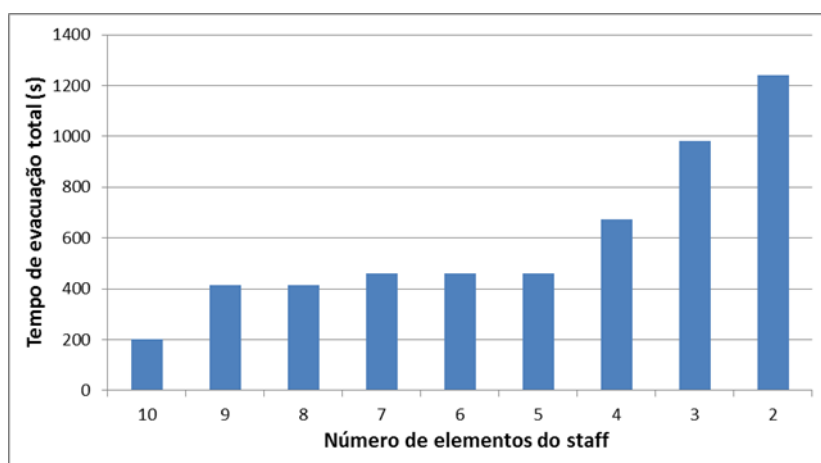


Figura 7 – Variação do tempo de evacuação com o número de elementos do *staff*

Através da análise da figura 7 é possível observar um aumento significativo do tempo de evacuação como consequência da diminuição do número de elementos do *staff*. Este tipo de análise assume particular interesse quando se pretende garantir meios suficientes para se conseguir evacuar o estabelecimento hospitalar num determinado intervalo de tempo definido, utilizando-se este modelo para estimar os meios humanos necessários para uma gestão eficiente da situação de emergência.

Na prática, razões logísticas e financeiras podem inviabilizar a possibilidade do estabelecimento hospitalar poder contar com um determinado número de elementos do *staff* que permitisse uma evacuação rápida e eficaz de uma zona de risco. Nestes casos devem ser desenvolvidos meios de comunicação que permitam a movimentação de elementos do *staff* de outros departamentos de forma a poderem auxiliar os pacientes nas manobras de evacuação. Esta solução tem o inconveniente de só poder ser aplicável em condições de evacuação parcial do estabelecimento

hospitalar, caso contrário os elementos externos teriam também de evacuar os pacientes do respetivo departamento.

Na tabela 20 são estimados tempos de evacuação em diferentes cenários onde se varia o número de pacientes nas diferentes tipologias definidas. Da análise dos resultados obtidos verifica-se que o número de pacientes tipo 1 não tem influência na variação do tempo de evacuação, uma vez que a evacuação é totalmente feita numa única fase independentemente da quantidade de pessoas. Por outro lado, o aumento do número de pacientes tipo 2 e tipo 3 faz o tempo de evacuação aumentar a partir do momento em que deixam de existir elementos do *staff* que possam auxiliar a evacuação destes doentes.

5.3 Análise de sensibilidade

De forma a compreender o impacto no tempo de evacuação do número de elementos do *staff* e de pacientes nas diferentes tipologias recorre-se a uma análise de sensibilidade destes parâmetros. Esta análise foi realizada tendo em consideração os resultados obtidos na aplicação do modelo

A análise de sensibilidade dos elementos do *staff* foi realizada através das simulações realizadas no ponto 4.2.3, apresentando-se os valores obtidos na tabela 21.

Tabela 21 – Análise de sensibilidade à variação do número de elementos do *staff*

Elementos do Staff			
% Variação (Nº)	Nº	Te (s)	% Variação (Te)
-67%	2	1243	169%
-33%	4	674	46%
0%	6	462	0%
33%	8	413	-11%
67%	10	201	-56%

Por outro lado, os valores relativos aos pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3 foram obtidos a partir das simulações expostas na tabela 20, apresentando-se as respetivas análises de sensibilidade nas tabelas 22, 23 e 24.

Tabela 22 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 1

Pacientes T1			
% Variação (Nº)	Nº	Te (s)	% Variação (Te)
-67%	2	106	0%
-33%	4	106	0%
0%	6	106	0%
33%	8	106	0%
67%	10	106	0%

Tabela 23 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 2

Pacientes T2			
% Variação (Nº)	Nº	Te (s)	% Variação (Te)
-67%	2	155	-58%
-33%	4	155	-58%
0%	6	367	0%
33%	8	416	13%
67%	10	416	13%

Tabela 24 – Análise de sensibilidade à variação do número de pacientes tipo 3

Pacientes T3			
% Variação (Nº)	Nº	Te (s)	% Variação (Te)
-67%	2	201	-72%
-33%	4	508	-29%
0%	6	720	0%
33%	8	815	13%
67%	10	1122	56%

Os valores obtidos permitem uma representação gráfica, possibilitando uma análise integrada dos parâmetros em estudo (Figura 8).

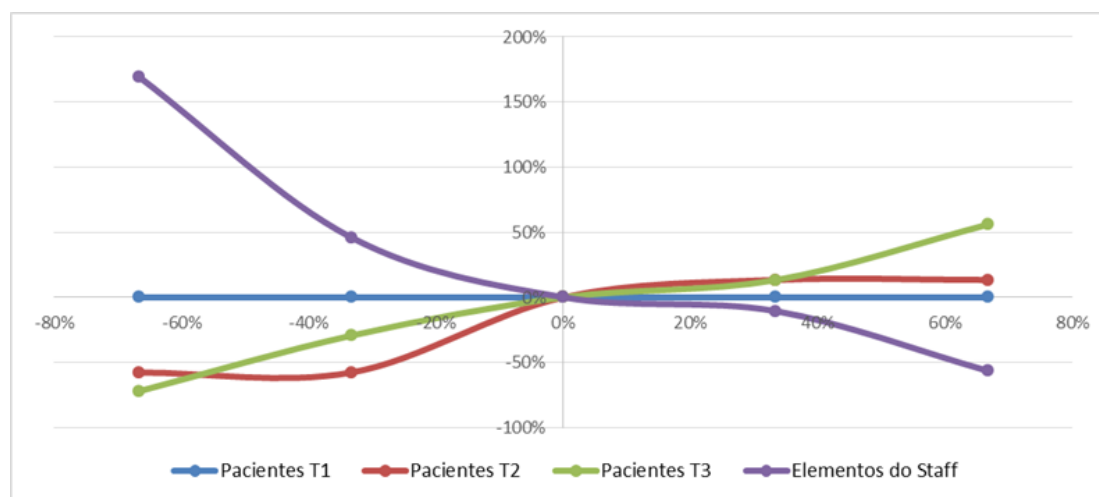


Figura 8 – Análise de sensibilidade à evolução dos tempos de evacuação com as diferentes variáveis

Na figura 8 o eixo das abcissas assinala a percentagem de variação do parâmetro em estudo e o eixo das ordenadas indica a percentagem de variação do tempo de evacuação.

A linha horizontal, relativa aos pacientes tipo 1, comprova o impacto nulo que a variação do número destes doentes tem no tempo de evacuação. Por outro lado, a comparação das linhas relativas aos pacientes tipo 2 e tipo 3, permite verificar que estes últimos têm um impacto maior no tempo de evacuação. Na análise efetuada um aumento de 66% de pacientes tipo 2 e tipo 3 teve como consequência um aumento de 13% e 56% no tempo de evacuação, respetivamente. Este facto deve-se à maior vulnerabilidade destes doentes, tendo como principal consequência uma necessidade superior de meios humanos para a evacuação do estabelecimento hospitalar.

Da análise da figura 8, conclui-se também que, no caso em estudo, a variação de elementos do *staff* acaba por ser o parâmetro com maior influência no tempo de evacuação, estimando-se que uma diminuição de dois terços no número de elementos de apoio aumentasse o tempo de evacuação em cerca de 169%. Isto mostra a importância de serem desenvolvidos esforços por parte dos serviços de gestão em garantir meios humanos em todos os departamentos, permitindo com isso uma evacuação rápida, segura e eficaz do departamento hospitalar que esteja sujeito a uma situação de emergência.

5.4 Análise do modelo de simulação

Por fim é realizada uma análise ao modelo de simulação desenvolvido neste trabalho, identificando-se os principais pontos fortes e pontos fracos da consequente aplicação prática desta metodologia.

Pontos Fortes:

- A utilização do modelo de simulação é simples e de rápida aplicação;
- A existência de tempos parciais como parâmetros de entrada permite ao modelo ter uma versatilidade considerável, podendo ser aplicado num vasto leque de situações e ter em consideração a vulnerabilidade dos pacientes.
- Apesar de ser utilizado individualmente para cada departamento do estabelecimento hospitalar, em caso de cálculos paralelos e independentes, pode-se calcular o tempo de evacuação do edifício na sua totalidade;
- Pode ser aplicado em condições de evacuação horizontal e vertical.
- Quando se pretende fazer um simulacro de evacuação do estabelecimento hospitalar, a estimativa do tempo de evacuação calculada através do modelo de simulação pode representar um indicador do sucesso dos ensaios de emergência realizados.

Pontos Fracos:

- No modelo de simulação não são contemplados caminhos alternativos de evacuação, que poderiam representar uma solução para ultrapassar obstáculos identificados durante as manobras de evacuação.
- Não são considerados os efeitos da densidade ocupacional no tempo de evacuação. Este fator pode ter uma importância significativa no caso de existir um grande número de pessoas no local que se pretende evacuar.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

O modelo de simulação apresentado ao longo do presente trabalho representa uma ferramenta com elevado interesse na estimativa de tempos de evacuação de estabelecimentos hospitalares, dada a versatilidade e simplicidade na consequente aplicação prática. De forma geral, esta metodologia de cálculo divide o tempo de evacuação em três tempos parciais, nomeadamente, o tempo de espera, o tempo de preparação e o tempo de movimento dos pacientes desde o local de risco até à zona de segurança previamente definida.

A divisão de doentes em categorias de vulnerabilidade é o ponto de partida para a aplicação do modelo de simulação. Nos cenários realizados os pacientes tipo 1 foram os primeiros a abandonar o edifício, seguidos dos pacientes tipo 2, e por fim dos pacientes tipo 3.

A metodologia desenvolvida pode ser utilizada em situações de evacuação horizontal e vertical. A existência de componente vertical na evacuação do edifício, para além de envolver uma logística muito mais complexa, é responsável por um aumento considerável no tempo de evacuação dos pacientes, que no caso em estudo foi de 80 %, 59% e 92% para os pacientes tipo 1, tipo 2 e tipo 3, respetivamente. O incremento no tempo de evacuação relativo à componente vertical faz com estas situações devam, sempre que possível, ser contornadas, sendo que uma das possíveis soluções passa pelo estabelecimento de zonas de segurança em todos os pisos do estabelecimento hospitalar.

Para uma evacuação rápida e eficiente do estabelecimento hospitalar é aconselhável que existam pelo menos 2 elementos do *staff* para a evacuação total dos pacientes tipo 1, um por cada paciente do tipo 2 e dois por cada paciente tipo 3. Nestas condições, não é necessário os elementos do *staff* regressarem ao local de risco não existindo, portanto, tempo de espera por parte de nenhum dos pacientes do estabelecimento hospitalar.

A variação do número de pacientes tipo 1 não tem qualquer impacto no tempo de evacuação, uma vez que esta tipologia de pacientes é evacuada numa só fase, independentemente da quantidade de pessoas. Por outro lado, a variação do número de pacientes tipo 2 e tipo 3 é responsável por um aumento do tempo de evacuação nos casos em que deixam de existir elementos do *staff* suficientes para a evacuação dos doentes de uma só vez.

De entre as várias potencialidades do modelo de simulação, destaca-se a relação entre o tempo de evacuação e os meios humanos existentes no estabelecimento hospitalar. Esta vertente pode ser particularmente útil para os serviços de gestão da segurança em hospitais quando pretendem identificar departamentos ou setores críticos no caso de estarem sujeitos a situações de emergência.

6.2 Perspetivas Futuras

A continuação do trabalho poderia passar pela consolidação de resultados, mas também pela concretização de algumas vertentes de análise que nesta fase foram identificadas com potencial para perspetivas de futuro.

Assim, e dado que uma das funcionalidades deste modelo de simulação é estimar os meios humanos necessários para evacuar o estabelecimento hospitalar num determinado intervalo de tempo, teria interesse realizar uma análise combinada do modelo de simulação apresentado com uma outra metodologia que permitisse calcular o tempo disponível para uma evacuação segura de todos os ocupantes do hospital. Para o efeito, poderia utilizar-se, por exemplo, o indicador ASET (*Available Safe Egress Time*).

Uma outra vertente com interesse seria a realização de um maior número de ensaios experimentais em ambiente hospitalar, que possibilitasse um estudo completo de doentes com diferentes características e de diversas zonas do edifício. Tal como nos resultados apresentados ao longo desta dissertação, os valores obtidos serviriam de base para estimar os tempos de evacuação, utilizando o modelo de simulação desenvolvido. Numa segunda fase, seria interessante culminar este estudo com simulacros reais de situações de emergência. A comparação dos valores obtidos no simulacro com os estimados no modelo de simulação permitiria, não só a validação do modelo, como também estabelecer um indicador do sucesso do simulacro no que diz respeito ao tempo de evacuação.

7 BIBLIOGRAFIA

ANPC. (2010). Anuário Ocorrências de Proteção Civil.

Augustine, J., & Schoettmer, J. T. (2005). Evacuation of a rural community hospital: lessons learned from an unplanned event. *Disaster Management & Response*, 3(3), 68-72.

Bagaria, J., Heggie, C., Abrahams, J., & Murray, V. (2009). Evacuation and sheltering of hospitals in emergencies: a review of international experience. *Prehospital and disaster medicine*, 24(05), 461-467.

Beleza, N., Baptista, J. S., & Rua, A. (2013). Evacuation times sensitivity. *Occupational Safety and Hygiene*, 237.

Chu, G., Sun, J., Wang, Q., & Chen, S. (2006). Simulation study on the effect of pre-evacuation time and exit width on evacuation. *Chinese Science Bulletin*, 51(11), 1381-1388.

Collier, P. C. R. (2008). Exit Width Provisions for Emergency Egress.

Dilip Kumar, P., Sriram Kiran, B., & Kumar, R. P. OPTIMUM EVACUATION IN PUBLIC GATHERING PLACES DURING THE TIME OF DISASTER.

Fang, Z., Li, Q., Li, Q., Han, L. D., & Wang, D. (2011). A proposed pedestrian waiting-time model for improving space-time use efficiency in stadium evacuation scenarios. *Building and Environment*, 46(9), 1774-1784.

Femino, M., Young, S., & Smith, V. C. (2013). Hospital-Based Emergency Preparedness: Evacuation of the Neonatal Intensive Care Unit—the Smallest and Most Vulnerable Population. *Pediatric emergency care*, 29(1), 107-113.

Gildea, J. R., & Etengoff, S. (2005). Vertical evacuation simulation of critically ill patients in a hospital. *Prehospital and disaster medicine*, 20(04), 243-248.

Golmohammadi, D., & Shimshak, D. (2011). Estimation of the evacuation time in an emergency situation in hospitals. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1256-1267.

Gwynne, S., Galea, E., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (2001). Modelling occupant interaction with fire conditions using the buildingEXODUS evacuation model. *Fire Safety Journal*, 36(4), 327-357.

Han, Z., Weng, W., Zhao, Q., Ma, X., Liu, Q., & Huang, Q. (2013). Investigation on an Integrated Evacuation Route Planning Method Based on Real-Time Data Acquisition for High-Rise Building Fire. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2).

Kim, T., Kim, B. S., & Kim, K. (2007). Smoke movement and evacuation time in the arcade of a traditional market using numerical simulation. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 6(2), 403-410.

Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. (2010). Exit choice,(pre-) movement time and (pre-) evacuation behaviour in hotel fire evacuation—Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37-51.

Larusdottir, A. R., & Dederichs, A. (2012). Evacuation of children: Movement on Stairs and on Horizontal plane. *Fire technology*, 48(1), 43-53.

Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine*, 151(4), W-65-W-94.

McClure, L. A., Boninger, M. L., Oyster, M. L., Roach, M. J., Nagy, J., & Nemunaitis, G. (2011). Emergency evacuation readiness of full-time wheelchair users with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92(3), 491-498.

Meng, H., & Zhen, Z. (2010). *The study of setting up the middle school seismic emergency evacuation time model based on the regression algorithm*. Paper presented at the Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on.

Rahman, A., Mahmood, A. K., & Schneider, E. (2008). Using agent-based simulation of human behavior to reduce evacuation time *Intelligent Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 357-369): Springer.

Reniers, G. L., Audenaert, A., Ale, B. J., Pauwels, N., & Soudan, K. (2009). Making evacuation decisions by using a discrete-time approximation methodology. *Journal of hazardous materials*, 164(2), 490-496.

Smith, R. (1995). Density, velocity and flow relationships for closely packed crowds. *Safety science*, 18(4), 321-327.

Spearpoint, M. (2004). The effect of pre-evacuation on evacuation times in the Simulex model. *Journal of Fire Protection Engineering*, 14(1), 33-53.

Spearpoint, M., & Xiang, X. (2011). Calculating evacuation times from lecture theatre type rooms using a network model. *Paper presented at the Fire Safety Science*, 599-612.

Tashrifullahi, S. A., & Hassanain, M. A. (2013). A simulation model for emergency evacuation time of a library facility using EVACNET4. *Structural Survey*, 31(2), 75-92.

Tosolini, E., Grimaza, S., Pecilea, L. C., & Salzanoc, E. (2012). People Evacuation: Simplified Evaluation of Available Safe Egress Time (ASET) in Enclosures. *CHEMICAL ENGINEERING*, 26.

Wabo, N. C., Örténwall, P., & Khorram-Manesh, A. (2012). Hospital evacuation; planning, assessment, performance and evaluation. *Journal of Acute Disease*, 1(1), 58-64.

Wang, C., Li, C., Liu, Y., Cui, J., & Zhang, T. (2011). *Behavior-based simulation of real-time crowd evacuation*. Paper presented at the Computer-Aided Design and Computer Graphics (CAD/Graphics), 2011 12th International Conference on.

Wei, X., Lv, W., Song, W., & Wang, D. (2011). *Evacuation analysis of a hospital based on FDS+ Evac software*. Paper presented at the Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on.

Xie, Q., Lu, S., Kong, D., & Wang, J. (2011). The effect of uncertain parameters on evacuation time in commercial buildings. *Journal of Fire Sciences*, 0734904111424258.

Zhang, Q., Liu, M., Liu, J., & Zhao, G. (2007). Modification of evacuation time computational model for stadium crowd risk analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(6), 541-548.