

EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASO DE ESTUDO DE UM EDIFÍCIO ESCOLAR

*Cristina Calmeiro dos Santos*¹

<https://orcid.org/0000-0001-9764-2592>

*Henrdovino Felso Ganhane*²

<https://orcid.org/0009-0007-2035-0912>

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o levantamento dos aspetos que influenciam o tempo de evacuação num edifício escolar, desde o comportamento humano às características físicas do edifício e às metodologias possíveis de adotar para a gestão da emergência, com vista a calcular o tempo necessário e disponível para a evacuação do referido edifício. A evacuação de edifícios em situação de incêndio tem como propósito a proteção da vida humana que é inseparável das condições de emergência as quais são afetadas por fatores de difícil determinação e que necessitam de ser definidos para estimar o tempo e as condições de evacuação.

Palavras-Chave: Incêndio; Segurança; Evacuação; Edifício escolar; Simulação.

¹ Professor, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, e-mail: ccalmeiro@ipcb.pt

² Mestre, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, e-mail: engenheirogravelho@gmail.com

BUILDING EVACUATION – CASE STUDY OF A SCHOOL BUILDING

ABSTRACT

The objective of this work is to survey the aspects that influence the evacuation time in a school building, from human behavior to the physical characteristics of the building and the possible methodologies to adopt for emergency management, with a view to calculating the necessary and available time for evacuation of said building. The purpose of evacuating buildings in a fire situation is to protect human life, which is inseparable from emergency conditions, which are affected by factors that are difficult to determine and that need to be defined in order to estimate the time and conditions of evacuation.

KEYWORDS: Fire; Security; Evacuation; School building; Simulation.

Artigo Recebido em 07/07/2023
Aceito em 29/09/2023
Publicado em 10/10/2023

1. INTRODUÇÃO

A norma NFPA 101 (2021) define que a evacuação total do edifício ocorre quando todos ou a maior parte dos ocupantes deixa um edifício de forma ordenada ou não. Ono (2010) refere, nos seus estudos, que as estratégias de evacuação apresentam-se divididas em estratégias tradicionais e em novas estratégias de evacuação. As estratégias tradicionais de evacuação são as previstas nas exigências regulamentares de segurança contra incêndio. A introdução de novas estratégias de evacuação de edifícios justifica-se com o aumento da altura dos edifícios ao longo dos anos e consequente aumento do efetivo do edifício, com o facto da população ser cada vez mais obesa e mais idosa afetando a mobilidade das pessoas, principalmente em escadas.

Em Portugal, o Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (Lei 123, 2019) permite a utilização de elevadores, recorrendo a metodologias devidamente justificadas e baseadas no desempenho. Assim, os elevadores são exemplo de meios opcionais à evacuação de edifícios. A instalação de pisos de refúgio e pontes de interligação entre edifícios também podem ser considerados novos meios de evacuação (Oldfiels, 2005; Pauls, 2008; Bukowski, 2008).

O tempo de evacuação é determinado utilizando modelos que se baseiam principalmente no movimento de pessoas em condições que não coincidem com uma situação de incêndio real. Existem vários métodos simplificados para determinar o tempo de evacuação os quais permitem avaliar os tempos de percurso que resultam na evacuação completa do edifício em casos de emergência, tais como o Método de Predtechenskii-Milinskii (1978) o Método do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e o Método de Van Bogaert (Método Belga) (Coelho, 2010).

Também existem modelos computacionais de evacuação os quais permitem minimizar as deduções empíricas utilizadas pelos métodos simplificados, como os anteriormente referenciados, recorrem. O Pathfinder é um software desenvolvido pela Thunderhead Engineering, usado para fazer a análise de vários cenários, permitindo ao utilizador inserir a geometria dos espaços, definir parâmetros e obter resultados. O Pathfinder permite a realização de simulações com um elevado nível de movimento de pessoas, com outputs interativos em alta-definição (3D), e respostas rápidas e fiáveis. Para além da exibição em 3D, o Pathfinder fornece gráficos ilustrativos da ocupação de salas e fluxos das portas permitindo avaliar pontos de congestionamento.

2. CASO DE ESTUDO

Para a análise das condições de segurança contra incêndio e pânico para evacuação de todos os ocupantes de um edifício escolar foram aplicados métodos simplificados para o cálculo dos tempos de evacuação e também foi possível estimar os tempos de evacuação com recurso a simulações feitas por software. O estudo surge da preocupação do autor e da sua equipa de apoio de saber quanto tempo tardaria uma operação de evacuação do bloco D da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco (EST-IPCB) (Fig. 1) considerando dois cenários. Um primeiro cenário (Cenário A) onde o foco de incêndio se localiza no auditório D5 e um segundo cenário (Cenário B) em que o foco de incêndio se encontra localizado no armazém – oficina de marcenaria.

Figura 1: Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco (EST-IPCB) – bloco D



(Fonte: Autor)

2.1 Fundamentação do caso estudo

O estudo foi realizado em dois espaços (auditório D5 e armazém – oficina de marcenaria) que fazem parte do Bloco D da EST-IPCB, que por sua vez é de domínio inteiramente público, e tendo em conta a natureza do edifício e a responsabilidade social que tem no seio da sociedade civil, é de extrema importância que o mesmo esteja preparado para receber todo o tipo de pessoas e em quaisquer condições físicas (mobilidade reduzida ou condicionada, deficiência visual ou auditiva, idade avançada, etc.) (Fig. 2).

Deu-se especial enfoque ao estudo das condições de evacuação em situação de incêndio do auditório D5, com uma lotação de 124 lugares, mas que no momento do incêndio se encontrava ocupado por 120 pessoas em perfeitas condições de mobilidade, e do armazém – oficina de marcenaria, que se considerou ocupado por um total de 9 pessoas, oito estudantes e um

docente, sendo que todos eles se encontram em perfeitas condições de mobilidade.

Figura 2: Bloco D da EST-IPCB. a) auditório D5; b) armazém - oficina de marcenaria



Fonte: Instituto Politécnico de Castelo Branco

2.2 Aplicação do Método de Predtechenskii-Milinskii

Como já se referiu existem vários estudos sobre o modo como as pessoas se movimentam no interior de um edifício numa emergência, tendo como objetivo estimar o tempo necessário para evacuação completa. Coelho (2010) efetuou uma análise sobre os principais métodos relacionados com esta área. Alguns dos métodos mostraram-se muito complexos com variáveis difíceis de determinar e, por isso, neste trabalho optou-se pela aplicação do Método de Predtechenskii-Milinskii, o mais simples e com resultados muito fiáveis tal como constatou Miguel et al (2010) nos seus estudos.

Cenário A: Foco de incêndio localizado no auditório D5

No presente cenário considerou-se duas situações distintas no que diz respeito ao caminho de evacuação a ser usado pelos ocupantes, isto é, na situação a) os ocupantes saem pela saída de emergência que se encontra logo em frente à porta do auditório D5, e na situação b) considera-se que os ocupantes percorrem o caminho de evacuação que dá acesso à porta principal do bloco D, que por sinal é aquela com a qual os ocupantes estão mais familiarizados. A influência da distância percorrida até às saídas de acesso exterior apenas será notória no cálculo dos tempos de evacuação, visto que no cálculo das velocidades a distância percorrida não tem influência.

O Tempo Total de Evacuação tem por objetivo estimar o tempo total de evacuação para as duas situações distintas de caminhos a percorrer, ou seja:

Para a situação a)

$$T_{TE} = \sum (T_P + T_V) \Rightarrow T_{TE} = 11,101 + 17,3918 + 291,7761 = 320,2689 \text{ s}$$

- Para a situação b)

$$T_{TE} = \sum (T_P + T_V) \Rightarrow T_{TE} = 53,1549 + 16,2871 + 291,7761 = 361,22 \text{ s}$$

Cenário b): Foco de incêndio localizado no Armazém

Localizada no rés do chão, para este caso considera-se que o incêndio ocorre no armazém (marcenaria) do bloco D e que a mesma é a única sala que se encontra ocupada no momento do incêndio, que se inicia naquele espaço. Aquando do início do incêndio a oficina encontra-se com apenas 9 ocupantes, que se consideram estar em perfeitas condições de movimento.

$$T_{TE} = \sum (T_P + T_V) \Rightarrow T_{TE} = 17,0309 + 14,4416 = 31,4725 \text{ s}$$

2.3 Aplicação do Método do LNEC

O método LNEC introduz o conceito de "atração" de uma malha de transição sobre os ocupantes que depende da distância entre a malha de saída e o ocupante (fator de proximidade), largura da saída (fator de fluxo) e a visibilidade direta entre a saída e o ocupante (fator de visibilidade). A adoção deste critério que faz intervir os fatores anteriormente referidos, devidamente ponderados, evitando minimizar ou maximizar qualquer um deles, conduz a resultados mais realistas do que uma simples maximização dos fluxos ou minimização do tempo. Porém, tendo em conta que a situação mais crítica em análise no presente trabalho, é a do auditório D5 (por se encontrar praticamente lotado), e sabendo-se que o mesmo apenas tem uma porta de saída, a análise proposta pelo método do LNEC torna-se assim irrelevante, pois os fatores de proximidade, de fluxo e de visibilidade dependem da atração que uma determinada saída exerce sobre os ocupantes de um determinado espaço, partindo do princípio de que o mesmo tem mais de uma saída. Quanto ao armazém, e embora o mesmo tenha quatro saídas de evacuação, devido ao reduzido número de ocupantes (9 pessoas) e à área do mesmo (110,45 m²), torna-se irrelevante fazer a aplicação do método do LNEC.

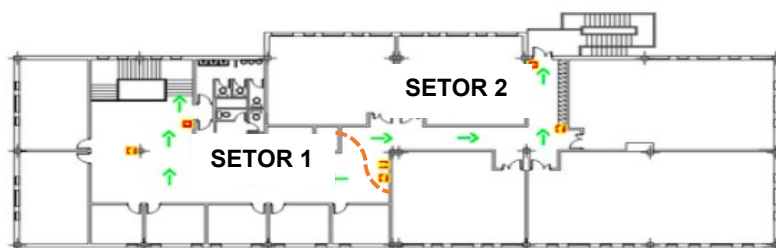
2.4 Aplicação da Variante Escolar do Método Belga

Para a aplicação da Variante Escolar do Método Belga considera-se que o Bloco D (edifício de dois pisos: Rés do Chão e 1º Andar), tem as seguintes características: Efetivo de 210 ocupantes (alunos e professores) distribuídos por 7 salas localizadas no 1º andar, separadas por um corredor central; Duas escadas, uma com 22 degraus e a outra com 20 degraus, com larguras de 1,60 m e 0,90 m respetivamente; Ambas as escadas são utilizadas em situações

distintas que serão descritas oportunamente; A distância entre a sala mais próxima de uma das escadas utilizada é dada pela média aritmética das distâncias que vão da escada às demais salas que convergem para a mesma; Consideram-se duas situações de divisão em setores, no cenário (i) considera-se que o piso está dividido em dois setores, no cenário (ii) considera-se apenas um setor.

Cenário (i): Existem dois setores e os ocupantes do primeiro andar usam as duas escadas disponíveis (Fig. 3).

Figura 3: Bloco D da EST-IPCB. Planta do 1º piso dividida em dois setores



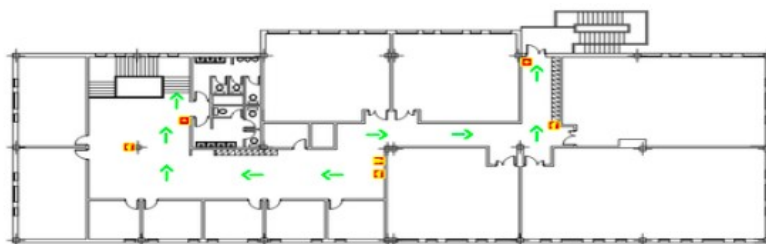
O Tempo Total de Evacuação vem para o Setor 1:

$$T = T_P + 13 \times (k-1) = (20 + 8,29 + 23,64) + 13 \times (3 - 1) = 77,93 \text{ s}$$

Para o Setor 2:

$$T = T_P + 13 \times (k-1) = (20 + 9,17 + 45,45) + 13 \times (4 - 1) = 113,62 \text{ s}$$

Figura 4: Bloco D da EST-IPCB. Planta do 1º piso com apenas um setor.



Cenário (ii): Existe apenas um setor e todos os ocupantes do primeiro andar usam a mesma escada (Fig. 4).

O Tempo Total de Evacuação vem:

$$T = T_P + 13 \times (k-1) = (20 + 14,56 + 23,64) + 13 \times (7 - 1) = 136,20 \text{ s}$$

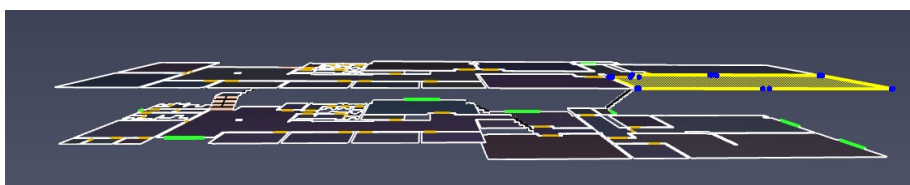
2.5 Análise com Recurso ao Software de Simulação Pathfinder

O Pathfinder é um software desenvolvido pela Thunderhead Engineering, que é uma empresa dedicada ao desenvolvimento de softwares de simulação para as áreas científicas e de engenharia, permitindo que o utilizador insira a geometria dos espaços, defina parâmetros e obtenha resultados. No presente trabalho, este software é usado para fazer a análise dos vários cenários que já foram analisados analiticamente pelos métodos de Predtechenkii-Milinskii e Belga-Variante Escolar. O objetivo é comparar os resultados obtidos analiticamente com os resultados obtidos por simulação (Pathfinder), e daí tirar as devidas conclusões.

Cenário A: Foco do Incêndio localizado no Auditório D5

À semelhança da análise analítica, o auditório D5 será aqui também considerado como o local onde se inicia o incêndio, e o mesmo encontra-se identificado na Fig. 5. São realizadas cinco simulações com recurso ao software Pathfinder, e o objetivo passa por obter resultados que irão permitir que se faça uma análise crítica e comparativa dos mesmos posteriormente.

Figura 5: Identificação do Auditório D5 (destacado em amarelo).



1ª Simulação – Todos os ocupantes usam o caminho de evacuação que lhes é familiar

Considera-se que apenas o auditório D5 se encontra ocupado (Fig. 6a) e que nenhuma outra pessoa se encontra nos restantes compartimentos do bloco D quando se inicia o incêndio. Com um efetivo de 120 pessoas, quando se dá o alarme de incêndio, os ocupantes do auditório D5 dão início à operação de evacuação, seguem o caminho ilustrado na Fig. 6b) e usam a porta principal do bloco D para ter acesso à parte exterior do edifício.

Figura 6: a) Localização dos ocupantes; b) Caminho de evacuação usado pelos ocupantes



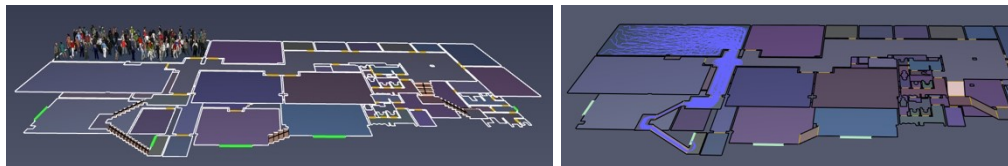
a)

b)

2ª Simulação – Todos os ocupantes usam a saída de emergência mais próxima

Considera-se que apenas o auditório D5 se encontra ocupado (Fig. 7a) e que nenhuma outra pessoa se encontra nos restantes compartimentos do bloco D quando se inicia o incêndio. Com um efetivo de 120 pessoas, quando se dá o alarme de incêndio, os ocupantes do auditório D5 dão início à operação de evacuação, seguem o caminho ilustrado na Fig. 7b) e usam a porta de emergência que se encontra logo em frente à porta do auditório, para terem acesso à escada exterior que dá acesso ao exterior do edifício.

Figura 7: a) Localização dos ocupantes; b) Caminho de evacuação usado pelos ocupantes



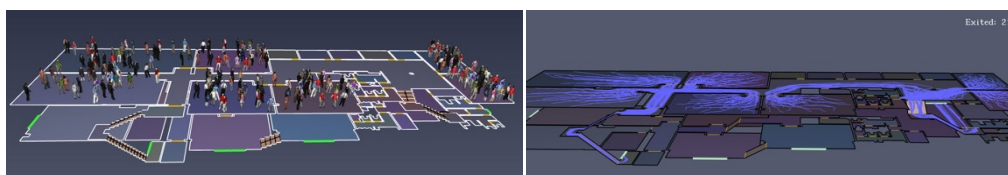
a)

b)

3ª Simulação - Considera-se que o piso está dividido em dois setores

Ao considerar o primeiro piso dividido em dois setores faz com que se divida os fluxos de ocupantes que aderem às duas vias de evacuação para o exterior do edifício. Assim, conforme ilustra a Fig. 8a), todas as salas encontram-se ocupadas por 30 pessoas cada, e, os ocupantes das quatro salas mais à esquerda usam a saída de emergência para abandonarem o edifício, enquanto os das restantes salas usam a via de evacuação que lhes é mais familiar, conforme mostra a Fig. 8b). Considera-se assim que, aquando do princípio do incêndio, o edifício encontra-se ocupado por 210 pessoas divididas por 7 salas.

Figura 8: a) Localização dos ocupantes; b) Caminhos de evacuação usados pelos ocupantes

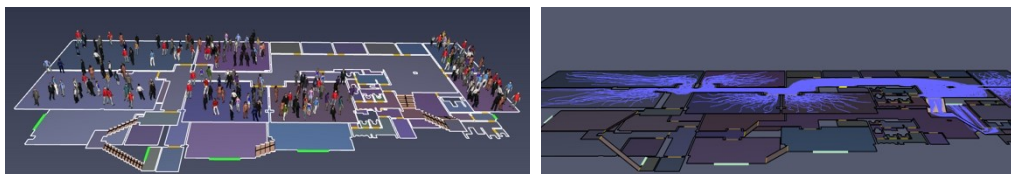


a)

b)

4ª Simulação - Considera-se que o primeiro piso tem apenas um setor

Figura 9: a) Localização dos ocupantes; b) Caminho de evacuação usado pelos ocupantes



a)

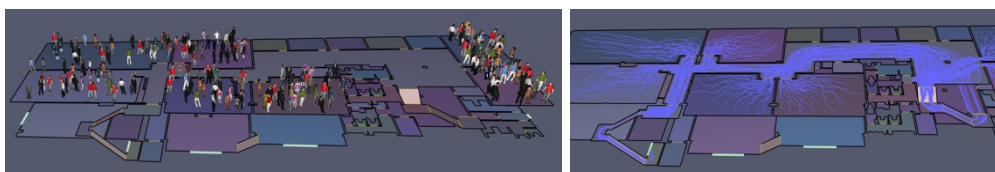
b)

Nesta simulação considera-se que o primeiro piso compreende apenas um setor, e que, portanto, todos os ocupantes usam a mesma via de evacuação e dirigem-se à porta principal do bloco D para poderem abandonar o edifício (Fig. 9a). E, conforme Fig. 9b), todas as salas encontram-se ocupadas por 30 pessoas cada (210 ocupantes distribuídos por 7 salas).

5ª Simulação – Os ocupantes escolhem os caminhos de evacuação de forma aleatória

Considera-se que todas as salas do primeiro piso se encontram ocupadas (Fig. 10a) e que a escolha do caminho de evacuação é feita de forma aleatória (Fig. 10b) e muito baseada na conveniência. Os 210 ocupantes do edifício dão início à operação de evacuação logo que se ouve o alarme.

Figura 10: a) Localização dos ocupantes; b) Caminho de evacuação usado pelos ocupantes

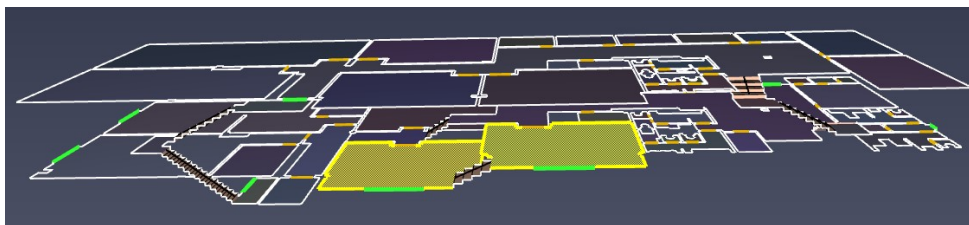


a)

b)

Cenário B: Foco do Incêndio localizado no Armazém – oficina de marcenaria
O armazém – oficina de marcenaria será o local onde se inicia o incêndio (Fig. 11). Para este caso realiza-se apenas uma simulação com recurso ao software Pathfinder e o objetivo passa por obter resultados que irão permitir que se faça uma análise dos resultados obtidos através da simulação com os obtidos analiticamente.

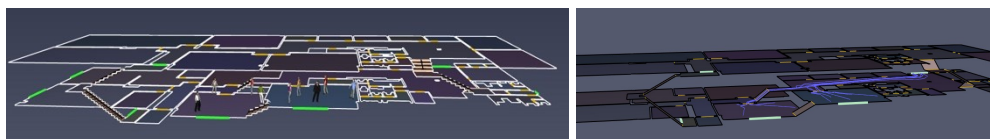
Figura 11: Identificação do Armazém – oficina de marcenaria (destacado em amarelo)



6ª Simulação - Todos os ocupantes usam o caminho de evacuação que lhes é familiar

Considera-se que apenas o armazém – oficina de marcenaria se encontra ocupado (Fig. 12a) e que nenhuma outra pessoa se encontra nos vários compartimentos do bloco D quando se inicia o incêndio. Com uma população de 9 pessoas, quando se ouve o alarme de incêndio, os ocupantes do armazém dão início à operação de evacuação seguindo o caminho de evacuação (Fig. 12b) e usam a porta principal de acesso ao bloco D para abandonar o mesmo.

Figura 12: a) Localização dos ocupantes; b) Caminho de evacuação usado pelos ocupantes



a)

b)

3. RESULTADOS

O Quadro 1 e o Quadro 2, mostram de forma resumida, os resultados obtidos pelos métodos de Predtechenskii-Milinskii e o software Pathfinder, e o método Belga-Variante Escolar e o software Pathfinder. o objetivo é fazer uma comparação dos resultados obtidos através da aplicação dos métodos analíticos com os obtidos através do software de simulação Pathfinder.

Quadro 1: Método de Predtechenskii-Milinskii e software Pathfinder

| Método de Predtechenskii-Milinskii | | | Software Pathfinder | | |
|------------------------------------|----------|------------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| Cenário | Situação | Tempo de Evacuação (s) | Cenário | Simulação | Tempo de Evacuação (s) |
| A | i | 320,27 | A | 1 ^a | 214,3 |
| A | ii | 361,22 | A | 2 ^a | 152,4 |
| B | | 31,47 | B | 6 ^a | 28,1 |

Quadro 2: Método Belga-Variante Escolar e software Pathfinder

| Método Belga-Variante Escolar | | | Software Pathfinder | | |
|-------------------------------|----------|------------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| Cenário | Situação | Tempo de Evacuação (s) | Cenário | Simulação | Tempo de Evacuação (s) |
| A | i | 113,62 | A | 3 ^a | 211,6 |
| B | | 136,19 | B | 6 ^a | 180,5 |

O Quadro 1 permite perceber que enquanto os resultados para o cenário B são relativamente próximos, os do cenário A são demasiado dispares, sendo que os obtidos a partir do método analítico de Predtetchenskii-Milinskii são muito superiores aos obtidos pelo software Pathfinder. Tal diferença é em

grande parte originada pelo tempo de estrangulamento (TV) obtido pelo método de Predtchenskii-Milinskii, sendo que o mesmo, quando considerado isoladamente, supera os valores de evacuação obtidos através da simulação (TV=291,7761 s). Contrariamente, os fluxos específico e total obtidos através do software são muito maiores que os obtidos de forma analítica para a 1ª e 2ª simulações. Compreende-se que os ocupantes atravessam os vãos de evacuação (portas) com maior fluidez, o que faz com que o abandono total do Auditório D5 seja feito em menos de 110 segundos na primeira simulação, e menos de 100 segundos na segunda simulação. Para o cenário B, Quadro 1, o facto de os tempos de evacuação serem relativamente próximos deve-se aos valores dos fluxos específico e total registados tanto de forma analítica como através da simulação, sendo que em ambas as situações os valores são muito parecidos, devendo-se isso ao número reduzido de ocupantes presentes no armazém – oficina de marcenaria aquando do início do incêndio.

Analisando o Quadro 2 e, para ambos os cenários, os valores dos tempos de evacuação obtidos pela via analítica são inferiores aos obtidos pela aplicação do software, e isso faz sentido, tendo em consideração que o método belga-variante escolar, pressupõe que só é necessário que se efetue a evacuação dos pisos acima ou abaixo do piso de referência (piso zero).

Uma outra simulação (5ª Simulação), com a finalidade de comparação de valores e identificação de uma situação ótima, na qual se considera que os ocupantes fazem a escolha dos caminhos a percorrer, de forma aleatória e conveniente, de acordo com a análise por eles feita em cada estágio do incêndio. Dessa simulação resultou que o tempo de evacuação para o abandono total do edifício, é de 152,4 s, isto é, menor que os tempos anteriormente registados, o que leva a crer que esta é provavelmente a situação que melhor se aproxima da realidade, tendo em conta o comportamento das pessoas em situação de emergência.

3. CONCLUSÕES

Com a aplicação de métodos analíticos é possível chegar-se a valores elucidativos dos tempos de evacuação para vários tipos de edifícios, e com a utilização de softwares de simulação, esse processo torna-se ainda mais rápido e eficaz. Contudo, existe ainda um longo caminho a percorrer-se, no que diz respeito a evacuação em situação de incêndio em edifícios pois, por maiores que sejam os avanços tecnológicos nessa área, o comportamento humano continuará a ser o maior desafio dada à sua imprevisibilidade.

REFERÊNCIAS

BUKOWSKI, R. **Emergency egress from buildings. Part 1: History and current regulations for egress systems design**, Proceedings of the 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 2008.

COELHO, A. L. **Incêndios em Edifícios**, Orion Editora, Lisboa, 1056 p., 2010.

LEI 123/2019. **Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios**, Portugal, 2019.

MIGUEL, A. S.; GÓIS, J.; SILVA, J. **Study on workers' evacuation in an industrial company**, Safety Science, 48, p. 1050-1053, 2010.

NFPA 101. **Life Safety Code: Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures**, NFPA, Quincy, 2000.

OLDFIELD, P.F. **Bridging the Gap: Proposed Evacuation Links at Height in the World Trade Center Design Entries**, In: Council on Tall Buildings and Urban Habitat World Congress. 7, 2005.

ONO, R. **O Impacto do Método de Dimensionamento das Saídas de Emergência sobre o Projeto Arquitetônico de Edifícios Altos: uma Análise Crítica e Proposta de Aprimoramento**. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 489 p., 2010.

PAULS, J. **Performance of means of egress: Conducting the research needed to establish realistic expectations**, Proceedings of the 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, Auckland, 2008,

PREDTECHENSKII, V.M.; MILINSKII, A.I. **Planning for Foot Traffic in Buildings** (translated from the Russian), Stroizdat Publishers, Moscow (1969). English translation published for the National Bureau of Standards and the National Science Foundation, Amerind Publishing Co., Nova Deli, India, 1978.