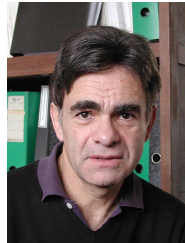


## INVESTIGAÇÕES RECENTES DO MOVIMENTO EM VIAS VERTICAIS DE EVACUAÇÃO



**Nuno Pinto\***  
Aluno Doutoramento  
UC - Coimbra  
Portugal



**A. Leça Coelho†**  
Investigador  
LNEC - Lisboa  
Portugal

### SUMÁRIO

Nesta comunicação apresentam-se os resultados de cinco estudos efectuados para conhecimentos de factores que influenciam o movimento de pessoas em vias de evacuação vertical. Variações de velocidade, densidade, fluxo, a posição da porta em relação ao movimento de descida, o contrafluxo e três tipos de movimento: livre, em grupo ou na retaguarda do grupo são as principais características analisadas.

**Palavras-chave:** escadas, velocidade, densidade, fluxo, contrafluxo.

### 1. INTRODUÇÃO

O movimento de pessoas em escadas é influenciado por uma série de factores dos quais se destaca a sua geometria, a densidade de ocupantes que a percorrem e todos os obstáculos que estes podem encontrar durante a descida (ex.: os bombeiros que sobem para atacar o incêndio, pessoas limitadas na mobilidade e outros). A velocidade dos ocupantes é também afectada pelo número de degraus, pela relação entre a profundidade e altura desses degraus, pela inclinação e pela presença e localização dos corrimãos.

O movimento em escadas tem sido objecto de estudos por parte de diversos investigadores. Fruin [1] conclui que existem diferenças na velocidade de movimento em escadas em função da idade, do sexo e do sentido do movimento (ascendente ou descendente). Templer [2] conclui que o movimento em escadas consome dez a quinze vezes mais energia do que caminhar uma distância equivalente num percurso horizontal e que a ausência de corrimão, bem como uma deficiente iluminação, contribuem para um aumento dos acidentes. Proulx [3] concluiu que o movimento em escadas também é afectado pelo espaço que cada pessoa ocupa, esteja ou não carregando alguma coisa (criança ou objecto pessoal) e pelas suas condições de mobilidade.

---

\* Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. PORTUGAL. e-mail: npinto@gmail.com

† Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa. PORTUGAL. e-mail: alcoelho@lnec.pt

Os ocupantes que chegam a um dado patamar de uma escada ao nível do piso resultam, em parte, daqueles que já estavam nessa escada e de outros que entraram nela nesse piso, designando-se a relação entre os ocupantes com essas duas origens de taxa de contribuição.

Pauls [4] refere que essa taxa de contribuição é 2:1, isto é, em três ocupantes que chegam ao patamar de escada ao nível do piso, dois vieram do troço superior da escada e o outro do piso. Contudo, apesar desta relação, o autor em causa refere que em determinadas ocasiões o fluxo da escada pode ser interrompido devido ao do piso.

Takeichi et al. [5] concluíram que a junção de fluxos no patamar das escadas é mais fácil quando a densidade é menor, conseqüentemente quando a densidade aumenta nas escadas o fluxo de pessoas do piso para as escadas diminui. O fluxo do piso é superior quando a porta de acesso à escada está localizada adjacente à escada, em comparação de estar localizada em posição oposta. O fluxo da escada diminui aproximadamente 15 – 20% quando a porta está em posição oposta à escada. Concluíram ainda que o fluxo de entrada na escada diminui cerca de 30%, quando a porta está inicialmente na posição fechada.

A noção de posição oposta ou adjacente reflecte a forma como os dois fluxos (escada + piso) se encontram no patamar da escada. Se os fluxos confluem no patamar no mesmo sentido, a porta diz-se em posição adjacente, se se encontram em sentidos contrários, a porta está em posição oposta.

Sob o ponto de vista cinemático, o estudo mais desenvolvido e mais fiável é o devido a Predtechenskii & Milinskii, pois resulta de um conjunto de observações de exercícios de evacuação e incêndios reais, durante cerca de três décadas, que até agora nunca foi possível igualar ou sequer, aproximar-se minimamente. A partir do conhecimento da projecção horizontal de um indivíduo, os autores introduziram o conceito de densidade adimensional e deduziram várias expressões que relacionam a velocidade em função daquela grandeza, para diferentes tipos de circulações e condições de movimento: normal, confortável e de emergência [6].

Alguns dos estudos mais recentes têm-se centrado na qualificação e quantificação das alterações das características do movimento no patamar de piso das escadas. Estas alterações devem-se sobretudo às interferências entre o fluxo de pessoas que vêm nas escadas (dos pisos superiores em sentido descendente ou dos pisos inferiores em sentido ascendente) com aquelas que nelas tentam entrar. Muitos estudos têm sido realizados sobre a evacuação de edifícios de grande altura e o comportamento humano durante a evacuação, no entanto poucos trabalhos têm sido realizados sobre o tipo de comportamento humano que ocorre nas escadas durante a evacuação. A junção de fluxos, nomeadamente nos patamares de piso das escadas, é um factor relevante durante a evacuação, pois pode ditar variação de características importantes como a velocidade de evacuação nas escadas e com isso controlar o tempo que pode levar a evacuar qualquer piso e, conseqüentemente, o edifício.

Nesta comunicação apresentam-se alguns dos resultados de investigações recentes efectuadas para conhecimento do movimento em escadas, incluindo um estudo nacional.

## **2. ESTUDOS RECENTES**

### **2.1 Peacock**

Peacock et al. [7] [8] desenvolveram um estudo para recolha de dados sobre o movimento em situação de emergência em vias de evacuação verticais.

*Investigações Recentes do Movimento em Vias Verticais de Evacuação*

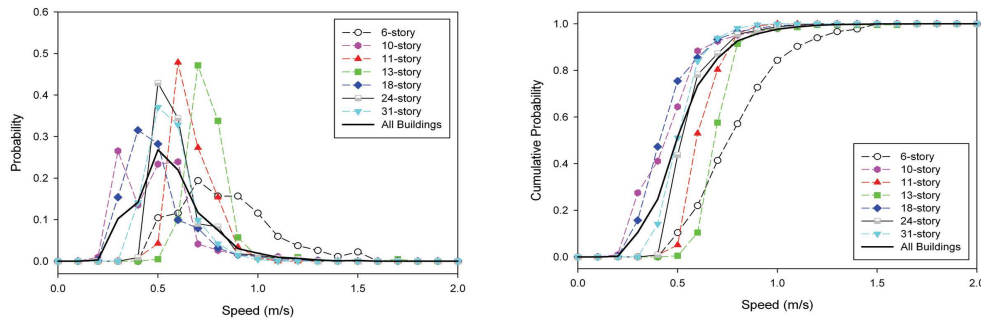
Foram promovidos seis exercícios de evacuação sem aviso em edifícios de utilização administrativa e um outro num edifício com utilização escolar (edifício de 11 pisos). A recolha de dados efectuou-se através da filmagem dos patamares de piso.

As principais características geométricas das escadas e outros dados gerais são resumidos no Quadro 1, assim como os resultados do cálculo da velocidade média global em cada edifício.

Quadro 1: Geometria e velocidades médias nas escadas.

Características	Edifícios (Número de Pisos)						
	6	10	11	18	18	24	31
Largura da escada (m)	1,44	1,27	1,22	0,91	1,12	1,12	1,38
Espelho do degrau (mm)	302	178	186	191	191	178	178
Largura do degrau (mm)	283	279	238	254	254	279	273
Largura das saídas (m)	1,83	0,91	2,01	0,91	0,83	0,91	0,91
N.º de ocupantes	277	804	134	483	1084	961	1242
Tempo de evacuação (s)	411	1022	442	1031	1192	1090	1002
<b>Velocidade Média (m.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,83 ± 0,18</b>	<b>0,44 ± 0,19</b>	<b>0,62 ± 0,10</b>	<b>0,40 ± 0,18</b>	<b>0,44 ± 0,15</b>	<b>0,56 ± 0,12</b>	<b>0,52 ± 0,10</b>

A distribuição estatística e as distribuições acumuladas de velocidades médias individuais de movimento nas escadas nos edifícios em estudo estão representadas na Figura 1.



a) Frequência estatística

b) Frequência estatística acumulada

Figura 1: Frequência da velocidade do movimento no sentido descendente em escadas.

A variação da densidade de ocupação durante a evacuação influenciou decisivamente a velocidade de deslocação dos ocupantes, conforme se pode constatar na Figura 2 relativa a duas das escadas de um dos edifícios de 18 pisos. Com o desenrolar da evacuação, muitos dos patamares de piso da caixa de escada ficaram completamente lotados (aumento de densidade), verificando-se que os troços correspondentes aos pisos superiores apresentam menores densidades do que os referentes aos pisos inferiores.

Uma outra conclusão refere-se à velocidade média de evacuação nas escadas que, nos edifícios analisados, está compreendida entre  $0,48 \pm 0,16 \text{ m.s}^{-1}$ . Da análise estatística de velocidades médias individuais de movimento nas escadas nos edifícios em estudo conclui que 19 % dos ocupantes têm um movimento abaixo dos  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$  e apenas 2% de movimento acima de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ . Existe uma considerável variação na velocidade de evacuação nas escadas entre os diversos pisos. As velocidades individuais, no percurso de escada entre dois pisos, variam entre  $0,056 \text{ m.s}^{-1}$  e  $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ . Propõem que usando uma distribuição de velocidades de movimento ao invés de um único valor “médio” fornece uma representação mais realista da velocidade de evacuação em escadas.

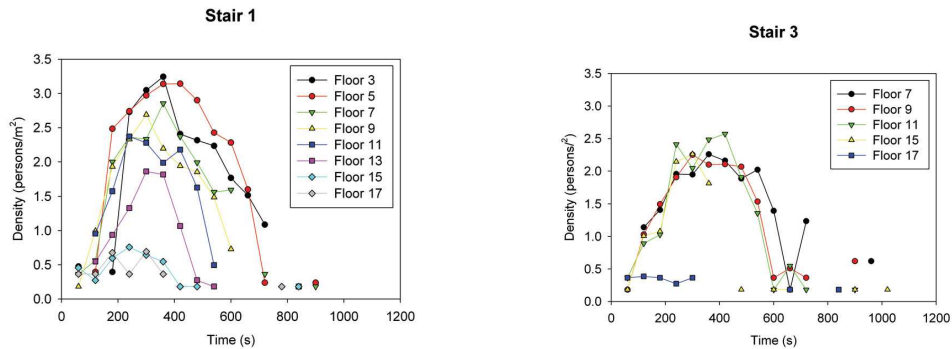


Figura 2: Densidade de evacuação (pessoas/m<sup>2</sup>) em função do tempo.

## 2.2 Choi

Choi et al. [9] desenvolveram um estudo para analisar algumas características do movimento de pessoas em escadas, destacando-se a variação da velocidade, a reacção individual e a ocorrência de estrangulamentos ou atrasos na evacuação, em edifícios de grande altura. Foi realizado um exercício de evacuação num edifício na Coreia, com altura total de 100 m, que compreende zona de estacionamento nos pisos inferiores (enterrados), áreas comerciais e de serviços até ao Piso 2 e do Piso 3 ao Piso 30 apartamentos para habitação. Cada piso de habitação tem quatro apartamentos com cerca de  $165 \text{ m}^2$  de área. A escada de evacuação tem  $1,225 \text{ m}$  de largura.

O exercício envolveu apenas os pisos de habitação. No total participaram 351 pessoas, com idade aproximada de 20 anos, sendo 225 homens e 126 mulheres. Foram distribuídos em grupos de três por cada apartamento e os que restavam foram posicionados a descer as escadas, um por cada andar, designados ocupantes isolados. A recolha de informação foi efectuada através de imagens de vídeo e de inquéritos aos participantes após evacuação.

Os diversos participantes foram distribuídos pelos apartamentos cerca de uma hora antes do início do simulacro desconhecendo, no entanto, a hora exacta de accionamento do alarme, tendo a evacuação total do edifício demorado 7 minutos e 2 segundos.

O autor refere que o tempo de evacuação obtido seria, provavelmente, superior caso se tratasse de uma situação real, que poderia ainda ser agravado caso o incêndio ocorresse durante a noite, quando a maioria das pessoas está a dormir, facto que torna mais difícil reconhecer o incêndio (alarme) rapidamente.

### *Investigações Recentes do Movimento em Vias Verticais de Evacuação*

Como resultados indicam que a velocidade de movimento em escadas diminui em média 30 %, quando comparada com o movimento na horizontal. Dos inquéritos resultou que 91,2% dos ocupantes reconheceu atraso na evacuação (diminuição da velocidade), devido à presença de outras pessoas nas escadas. 86,5 % dos ocupantes que entram nas escadas indica que encontraram outros que vinham dos pisos superiores, identificando um efeito de estrangulamento. 59,81 % dos ocupantes isolados que descem as escadas diminui a velocidade de percurso, pela hesitação de continuar ou não o movimento quando confrontado com outros grupos, bem como 51 % dos grupos familiares hesitou juntar-se aos ocupantes que desciam quando alcançou a porta de acesso às escadas.

#### **2.3 Purser**

Purser et al. [10] incidiram a sua análise nas condições do fluxo, da densidade e, também, na junção de ocupantes que já se encontram nas escadas com aqueles que nela tentam entrar.

O trabalho é dividido em dois tipo de análise, uma efectuada pela simulação em computador através do programa GridFlow e outra efectuada pela recolha de dados em exercícios de simulação em cinco situações (escadas) distintas. No Quadro 2 apresentam-se as principais características das escadas objecto de análise em exercícios de evacuação.

Quadro 2: Características das escadas.

<b>Edifício</b>	<b>Largura da saída de piso (m)</b>	<b>Largura da escada (m)</b>	<b>Posição da entrada no patamar de piso (relativa ao movimento descendente)</b>
Jordanstown University	1.47	1.16	Da esquerda
Magee Library	0.9	1.26	Da direita
Lisburn Health Centre	0.81	1.06	Da esquerda
Canary wharf office, London	0.85+0.45	1.3	Da direita frente
Broadgate office, London	0.85+0.4	1.25	Da direita

A capacidade máxima das escadas e a densidade de ocupação durante os exercícios de evacuação são apresentados no quadro seguinte e comparados com a capacidade usando a norma ADB – Approved Document B (Reino Unido).

Quadro 3: Densidade de ocupação nas escadas.

<b>Localização</b>	<b>Densidade de pessoas/m<sup>2</sup></b>	<b>Área da Escada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de pessoas</b>	<b>Capacidade de pessoas ADB</b>
Jordanstown – Densidade máxima	2,34	6,7	18	21
Magee Library – Densidade máxima	2,02	17,8	36	48
Canary Wharf – Densidade máxima	1,25	16,0	20	64
Broadgate	2,60	15,1	39	60
<b>Densidade Média</b>	<b>2,08</b>			

No que respeita às características da junção de fluxos dos ocupantes que confluem para a escada e os que nela já se encontram encontraram-se os valores indicados no Quadro 4.

Quadro 4: Taxa de contribuição de fluxo entre escadas e saída de pisos.

Localização	Taxa de contribuição média Escada : Piso	Taxa de contribuição Máximo na Escada	Taxa de contribuição Máximo no Piso
Jordanstown – Piso 3C	51:49	69:31	30:73
Jordanstown – Piso 4B	46:54	52:48	36:64
Magee Library – Piso 1	52:48	66:33	46:54
Canary Wharf	50:50	57:43	51:49
Central London Office	54:46		
<b>Taxa Global Média</b>	50,6:49,4		

No Quadro 5 apresenta-se uma comparação entre os resultados do GridFlow e os obtidos a partir dos exercícios de evacuação.

Quadro 5: Comparação entre os valores do GridFlow e os experimentais.

Fonte de dados	Fluxo específico máximo (p/min/m de largura efectiva)		Densidade máxima nas escadas (p/m <sup>2</sup> )	Taxa de contribuição de fluxo Escada : Piso
	Saídas	Escadas		
Exercícios: sem aviso prévio	86,7	60,1	2,1	50,6:49,4
Exercícios: com aviso prévio	99,4	72,9		
GridFlow	80	60	2 e 4	50:50
ADB	104	104	> 4	

A largura das escadas varia entre 0,85 e 1,30 m nos diferentes edifícios.

Os fluxos específicos máximos nas portas de saída dos pisos e nas escadas apresentam valores semelhantes, sendo para condições de exercícios de evacuação superiores. A densidade máxima de ocupação nas escadas foi de 2,1 pessoas/m<sup>2</sup>, estando entre os valores de 2 a 4 pessoas/m<sup>2</sup> do GridFlow. A taxa de mistura dos ocupantes também apresenta valores muito semelhantes aos assumidos no GridFlow (50:50).

## 2.4 Kratchman

Kratchman [11] analisou o efeito do contrafluxo em escadas, observando um exercício de evacuação num edifício de 6 pisos. O objectivo do trabalho era recolher dados comparativos entre a existência ou não de contrafluxo em escadas e estudar o comportamento humano durante a evacuação nessas vias.

Foram recolhidos dados relativos à evacuação de duas escadas, envolvendo no total 269 ocupantes com a idade dos ocupantes entre 18 e 65 anos, dotados de todas as suas capacidades, e seis bombeiros.

O movimento da evacuação nas duas escadas efectuou-se no sentido descendente, estando envolvidos 128 ocupantes (40 homens e 88 mulheres) no caso da escada A e 141 na B (94 homens e 53 mulheres). Nesta última escada para além dos ocupantes entraram em instantes diferentes, dois grupos de bombeiros (cada grupo era constituído por 3 bombeiros) em sentido oposto ao movimento (ascendente). O primeiro grupo entrou aos 80 segundos e o segundo grupo entrou aos 149 segundos após o início do alarme.

Da análise do referido simulacro o autor constatou que a velocidade média global na Escada A foi ligeiramente mais elevada do que na Escada B, bem como as velocidades mínimas e máximas gerais alcançadas, conforme se pode observar no Quadro 6.

Quadro 6: Velocidades médias globais.

Velocidade (m/s)	Escada A (sem contrafluxo)	Escada B (com contrafluxo)
Mínima Global	0,46	0,23
Máxima Global	1,47	1,40
Homens	0,81	0,76
Mulheres	0,80	0,70
<b>Média Global</b>	<b>0,80</b>	<b>0,70</b>
Desvio	0,19	0,26

No que respeita à frequência da velocidade média individual dos ocupantes verificou-se que na Escada A aproximadamente 50 % dos ocupantes movimentaram-se a uma velocidade entre 0,7 e 0,8 m.s<sup>-1</sup>, enquanto na B cerca de 50 % dos ocupantes tem uma velocidade entre 0,5 e 0,6 m.s<sup>-1</sup>.

Na Figura 3 pode observar-se a variação da densidade em cada uma das escadas em função do tempo, assim como os instantes em que os dois grupos dos bombeiros encontram os ocupantes em movimento descendente.

Kratchman conclui que o contrafluxo teve alguns reflexos nas características do movimento, nomeadamente no que se refere à densidade, ao fluxo e à velocidade. Assim, verificou-se que a velocidade foi menor e que a densidade sofreu um aumento significativo após a entrada dos bombeiros na escada, para descer após a sua saída.

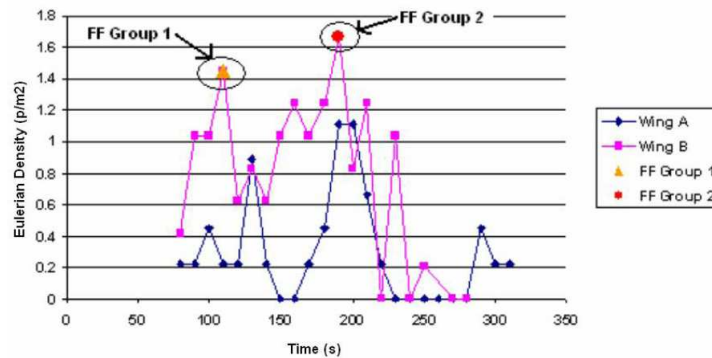


Figura 3: Densidade em função do tempo nas duas escadas.

## 2.5 Pinto

Pinto [12] analisou algumas características cinemáticas do movimento em escadas, a partir da recolha de dados de quatro exercícios de evacuação na Universidade de Coimbra, tendo sido definidos três tipos de movimento (movimento livre, movimento em grupo e movimento na retaguarda do grupo).

O movimento livre, está associado a situações de baixa densidade ocorridas nas escadas durante a evacuação, tendo-se considerado como critério para a identificação dos ocupantes com este tipo de movimento não ter mais de 5 pessoas no troço entre 2 pisos consecutivos, quando um novo ocupante aí entrava.

Quanto ao movimento em grupo a sua ocorrência foi considerada quando o movimento das pessoas estava condicionado pela presença de outras próximas, tendo-se adoptado como critério a existência de 10 ocupantes ou mais entre pisos consecutivos de uma escada, ou quando entre pisos consecutivos de uma escada o número de ocupantes é inferior a 10 (dez), após um estado igual ou superior, o alcança rapidamente (no máximo em 3 segundos).

Relativamente ao movimento na retaguarda do grupo foi considerado que a ele estavam associadas as últimas cinco pessoas a entrar num grupo, independentemente do número de pessoas presentes no troço.

No Quadro 7 apresentando-se um resumo das características das diferentes escadas analisadas e, ainda, os valores relativos à velocidade obtida para cada um dos três tipos de movimento identificados. Salienta-se que a dimensão da amostra é mais representativa no caso do movimento descendente (324 pessoas), reflexo do facto de englobar três escadas, enquanto que para o movimento ascendente só foi considerada uma escada (63 pessoas).

Quadro 7: Análise do movimento nas escadas.

	Edifício			
	PM	FE	FP	EH
<b>Características Globais</b>				
Sentido do Movimento	Ascendente	Descendente	Descendente	Descendente
Número de pisos	3	4	3	2
Largura (m)	1,07	1,07	1,56	1,2
Comprimento total (m)	32,06	34,89	24,6	12,63
Área total (m <sup>2</sup> )	46,16	41,78	41,64	20,16
Número de Pessoas	66	67	191	63
<b>Características dos Degraus</b>				
Número total	36	64	36	20
Largura (m)	0,30	0,30	0,30	0,30
Altura (m)	0,18	0,18	0,14	0,185
<b>Velocidade média (m.s<sup>-1</sup>)</b>				
Movimento livre	0,868	0,972	0,845	0,659
Movimento de grupos	0,857	0,787	0,712	0,438
Movimento na retaguarda de grupos	0,919	0,777	0,910	0,659

Constata-se que, com excepção do edifício FE, a velocidade mais elevada é o da retaguarda dos grupos, seguindo-se o movimento livre e, finalmente, com a velocidade mais baixa o movimento de grupo, confirmando-se assim uma tendência de aproximação dos ocupantes ao grupo precedente, pois para este tipo de movimento a velocidade é superior à do movimento em grupo.

**Comentário [JV1]:** Sendo o autor deste estudo co-autor desta comunicação, este aspecto deve ser esclarecido.

Da figura 4 à 7 representam-se os valores de variação do fluxo específico e da velocidade com a densidade, para cada uma das situações em análise. Tanto as curvas designadas de Polinómio (Valores obtidos), cujas equações do segundo grau correspondentes são apresentadas no canto superior direito de cada um dos gráficos, foram obtidas a partir duma linha de tendência. Foram também traçadas as curvas das expressões de Predtechenskii & Milinskii de variação do fluxo específico e da velocidade em função da densidade para o



movimento em circulações verticais para condições normais (Predtechenskii – N) e de emergência (Predtechenskii – E).

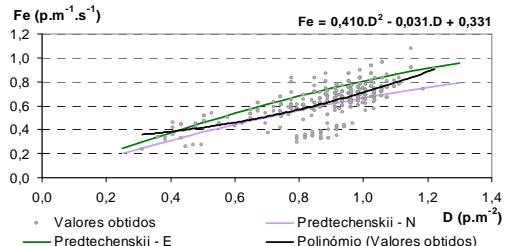


Figura 4: Movimento descendente - variação do fluxo específico com a densidade.

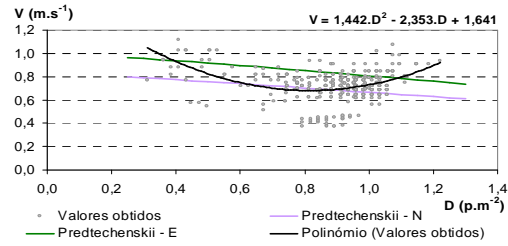


Figura 5: Movimento descendente - variação da velocidade com a densidade.

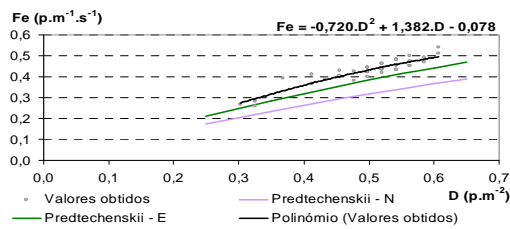


Figura 6: Movimento ascendente - variação do fluxo específico com a densidade.

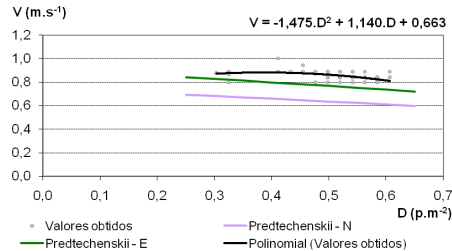


Figura 7: Movimento ascendente - variação da velocidade com a densidade.

Pode considerar-se que as curvas encontradas através do polinômio de segundo grau se aproximam das curvas de Predtechenskii & Milinskii e confirmam-se as tendências consideradas em diversos estudos para baixas densidades, à medida que a densidade aumenta o fluxo específico cresce e a velocidade diminui. No entanto, dos ocupantes analisados nos diversos edifícios não se consegue inferir se o movimento se aproxima das condições normais ou de emergência.

### 3. CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTUROS

Os estudos apresentados revelam as principais características do movimento em escadas. Além dos aspectos cinemáticos, com destaque para as variações de velocidade, fluxo e densidade, foram analisados outros parâmetros de natureza mais comportamental, nomeadamente a interação dos vários grupos de pessoas que confluem para estas vias.

A evolução do movimento ao longo das vias verticais é, em muitos aspectos, semelhante à que se verifica nas vias horizontais. Quando ocorre um aumento da densidade o fluxo aumenta até atingir um valor máximo, para a partir daí decrescer. Também nas vias verticais de evacuação, a velocidade diminui com o aumento da densidade até atingir um valor máximo em que não é possível o movimento.

Ao longo dos trabalhos foram sendo apresentadas as conclusões dos vários estudos, destacando-se as seguintes no que se refere à velocidade:

- 19 % dos ocupantes têm valor inferior a  $0,4 \text{ m.s}^{-1}$  e apenas 2% de movimentam-se acima de  $1 \text{ m.s}^{-1}$  [7] [8].
- A velocidade média de percurso em escadas é inferior em cerca de 30 % quando comparada com a do percurso horizontal [9].
- A velocidade média global em escadas sem contrafluxo é ligeiramente mais elevada do que em escada com contrafluxo [11].
- A velocidade mais elevada dos ocupantes ocorre para o movimento na retaguarda de grupos (facto que provoca uma tendência de aproximação dos ocupantes ao grupo precedente [12]), seguindo-se os ocupantes com movimento livre e com a velocidade mais baixa encontram-se aqueles que se movimentam em grupo.
- 91,2 % dos ocupantes reconhecem diminuição da velocidade do movimento em escadas devido à presença de outras pessoas [9].

Além da velocidade, no que se refere à existência de contrafluxo constatou-se que ele provoca um aumento de densidade [11] e 86,5 % dos ocupantes reconhece encontrar outras pessoas quando entra nas escadas, provocando um efeito de estrangulamento [9].

Dos estudos analisados percebe-se a importância do movimento em vias verticais de evacuação, durante uma situação de emergência. Embora se possam já reconhecer alguns padrões de variação dos diversos parâmetros é ainda difícil poder quantificá-los, até porque, a fonte de dados é escassa e muito diversificada. Importa, portanto, desenvolver novos estudos que permitam consolidar diversos aspectos do movimento, destacando-se os relacionados com a variação da velocidade e do fluxo em função da velocidade e a interdependência de fluxos provenientes dos pisos com os existentes nas escadas.

A realização, registo e análise de diversos simulacros de evacuação, previstos para breve no País, pode constituir uma nova fonte de dados para a consolidação destes conhecimentos.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Fruin, J., *Pedestrian Planning and Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
- [2] Templer, J., *Stair Shape and Human Movement*, Ph.D. Dissertation, Columbia University, New York, 1974.
- [3] G. Proulx. (2002), *Movement of People: The Evacuation Timing*, chapter 3-13, pages 3-341 – 3-366. In *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, third edition, 2002.
- [4] Pauls, J.L., *Suggestions on Evacuation Models and Research*, Human Behaviour in Fire, 3rd International Symposium Interscience, Belfast, 2004, pp.23-33
- [5] Takeichi, N., et al., *Characteristics of merging occupants in a staircase*, In *Fire Safety Science, Proceedings of the Eighth International Symposium*, Gottuk, D.T and Latimer, B.Y. (Eds), International Association of Fire Safety Science, London, pp 591-598.
- [6] Coelho, A. L., *Modelação Matemática da Evacuação de Edifícios Sujeitos à Acção de um Incêndio*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1997, Volumes I e II.
- [7] Peacock, R., et al., *Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don't Know*, NIST Technical Note 1624, 2009.

*Investigações Recentes do Movimento em Vias Verticais de Evacuação*

- [8] Peacock, R., et al. (2010), *Overall and Local Movement Speeds During Fire Drill Evacuations in Buildings Up to 31 Stories*, NIST Technical Note 1675, 2010.
- [9] Choi, J., et al., *Analysis on occupants' escape speed and reason of bottle-neck occurrence through the trial evacuation experiment at a high-rise apartment housing*, Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire, Robinson College, Cambridge, UK, 13-15 July 2009, pp. 123-134, ISBN 978-0-9556548-3-1.
- [10] Purser, D., Boyce, K., *Implications of modelling and experimental studies of evacuation behaviour on stairs for multistorey building design*, Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire, Robinson College, Cambridge, UK, 13-15 July 2009, pp. 147-160, ISBN 978-0-9556548-3-1.
- [11] Kratchman, J. A., *An Investigation on the Effects of Firefighter Counterflow and Human Behavior in a Six-Story Building Evacuation*, Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, Masters of Science, 2007.
- [12] Pinto, N., *Novos Contributos para a Modelação da Evacuação de Edifícios em Situação de Emergência*, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra / Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008.