



A DISTÂNCIA MÉDIA A SER PERCORRIDA PELOS OCUPANTES ATÉ A SAÍDA DE EMERGÊNCIA COMO UM PARÂMETRO COMPLEMENTAR DE SEGURANÇA DE EDIFICAÇÕES

Henrique Costa Braga

Gray Farias Moita

Paulo Eduardo Maciel de Almeida

bragaseg@yahoo.com.br

gray@dppg.cefetmg.br

pema@lsi.cefetmg.br

Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG

Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, CEP 30510-000, Brasil

Resumo. A utilização de índices que possam valorar a situação de uma edificação em relação a sua segurança contra incêndio e pânico é de relevante valor. Neste trabalho, é demonstrado que o valor da distância média a ser percorrida pelos ocupantes até a saída de emergência mais próxima em caso de uma evacuação (d_{med}) pode ser um valioso índice complementar de indicação de segurança. Para isto, foram realizadas simulações computacionais de evacuações em um ambiente quadrado de 400 m^2 de área, mas com diversas larguras e posicionamentos de saídas, de forma se obter uma ampla gama de valores de d_{med} . Os valores de d_{med} para cada ambiente foram obtidos pelo algoritmo de busca referenciada usando o programa FUGA Path v. 0.1. As simulações em cada ambiente foram realizadas com populações entre 1 e 1000 pessoas utilizando o programa FUGA v. 0.7. Em cada simulação, foram verificados os valores do tempo total de evacuação (t_e) e do número de possibilidade de ocorrência de colisões (POC 01). A geometria do ambiente e os respectivos valores de d_{med} , t_e e POC 01 são confrontados e discutidos. Ao final, é comprovado que o d_{med} é um importante índice complementar de segurança, servindo para auxiliar na valoração da segurança de um ambiente. Também pode ser usado para auxílio da concepção do mesmo, já que o projetista pode verificar o impacto que algumas medidas arquitetônicas, muitas vezes simples, podem causar sobre o valor de d_{med} .

Palavras-chave: Índice de segurança, Evacuação, Incêndio, Segurança, Movimentação de pessoas

INTRODUÇÃO

O projeto de um ambiente construído qualquer deve atender a códigos específicos relacionados à proteção contra incêndio e pânico. No Brasil, apesar de não existir judicialmente uma área específica de segurança contra incêndio, os corpos de bombeiros de cada estado, de modo geral, promulgam a legislação no que tange a proteção contra incêndio. Entretanto, o atendimento mínimo quanto às exigências legais cabíveis, apesar de fundamental, nem sempre é garantia de segurança. Além disso, pode haver ambientes distintos e similares em vários aspectos e que atendem à legislação (possuindo até mesmo o devido alvará - ou equivalente - endossado pelo Corpo de Bombeiros local), mas tendo níveis diferentes quanto à segurança contra incêndio e pânico. Assim, este alvará por si só serve apenas como um documento que tipifica a edificação como estando conforme às legislações locais, mas não indica o grau de segurança da mesma.

Índices e parâmetros de segurança também podem ser muito valiosos na fase de concepção de um projeto. O projetista pode, além de atender os parâmetros prescritivos da legislação, verificar o impacto que medidas de projeto podem causar na segurança de um ambiente. A associação destes índices com ferramentas tecnológicas podem permitir maior versatilidade e liberdade ao projetista, ao mesmo tempo que se mantenha o foco na segurança. Projetos baseados em desempenho podem se beneficiar sobremaneira destes índices para que se possa, de certo modo, valorar a qualidade da solução adotada para a edificação e de suas variações.

Assim, surgiram índices numéricos que permitem a valoração da segurança contra incêndio e pânico de uma edificação. Um dos mais destacados é o Índice de Gretener, que se utiliza de parâmetros dos mais variados tais como a existência de alarmes, de hidrantes prediais e públicos ou das medidas construtivas (KAISER, 1980; SILVA, COELHO, 2007). Existem inclusive estudos, ainda em nível de proposta, para se levar formalmente tal índice (ou índice similar) para dentro das legislações estaduais, isso apesar da maioria dos pontos abordados pelo método de Gretener, mesmo que indiretamente, já estejam de certo modo incorporados na maioria das legislações estaduais (CARNEIRO, XAVIER, 2011).

Foi proposto (BRAGA *et al.*, 2015a) como parâmetro complementar para verificação do nível de segurança contra incêndio e pânico de uma edificação o valor da distância média a ser percorrida pelos ocupantes até a saída de emergência mais próxima (d_{med}). Em alguns códigos (ABNT, 2001; CBMMG, 2014), a utilização da distância máxima a ser percorrida até a saída (d_{max}) é utilizada como referência, mas não a d_{med} . Este trabalho tem como objetivo demonstrar que a d_{med} é efetivamente um relevante parâmetro complementar de segurança, servindo tanto para auxiliar na valoração da segurança de um ambiente, como também pode ser usado para auxílio da concepção do ambiente, já que possibilita ao projetista verificar o impacto que algumas medidas arquitetônicas, muitas vezes simples, podem causar sobre o valor de d_{med} .

Para esta demonstração, serão realizadas simulações computacionais de vários cenários de abandono de ambientes, onde parâmetros como o tempo total de escape e a possibilidade da ocorrência de colisões internas serão relacionadas à configuração das saídas do ambiente e ao respectivo valor de d_{med} .

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A distância média a ser percorrida

A distância a ser percorrida por uma pessoa até a saída mais próxima irá obviamente depender da localização desta pessoa no ambiente, ou seja, o quão afastado se encontra esta pessoa da saída. Assim, esta não é uma característica relacionada exclusivamente com o projeto do ambiente.

Para se eliminar o efeito do posicionamento inicial das pessoas, uma única distância a ser percorrida até a saída mais próxima será considerada para cada ambiente considerando todas as possíveis posições ocupáveis por uma pessoa. Esta única distância será chamada de distância média (d_{med}). Assim, elimina-se o efeito da densidade populacional e do posicionamento das pessoas no ambiente, que passa então a depender exclusivamente da geometria do ambiente.

O valor de d_{med} para um ambiente específico pode ser obtido por um algoritmo de busca que determina a distância que cada elemento do ambiente discretizado se encontra da saída mais próxima, sendo a d_{med} a média destes valores de distância pontuais (d_p) obtidos. São vários os algoritmos gerais de busca existentes como o Dijkstra e o A-Star (SOLTANI *et al.*, 2002; RUSSELL, NORVIG, 2004), entretanto o problema deste trabalho tem suas peculiaridades tornando necessário utilizar um algoritmo específico. Assim, um algoritmo de busca de alta qualidade de resultados, denominado de algoritmo de busca referenciada (BR), foi desenvolvido para o cálculo do valor de d_{med} e implementado computacionalmente (o programa FUGA Path v. 0.1) especificamente para este tipo de aplicação (BRAGA *et al.*, 2015b). O programa FUGA Path também gera um mapa de distâncias para cada ambiente. Este mapa apresenta visualmente de forma estilizada a variação do valor de d_p no ambiente.

1.2 Simulação da movimentação humana

Para a simulação do movimento das pessoas, foi utilizado um programa computacional específico para a simulação do escape de pessoas em ambientes construídos, denominado FUGA v. 0.7 (BRAGA *et al.*, 2014). O programa FUGA se baseia em uma modelagem celular por autômatos discretos, considerando como paradigmas a ergonomia e a lógica *Fuzzy*. Algumas das principais características e grandezas consideradas pelo programa FUGA são:

- a representação da população e do ambiente é realizada por uma vista de topo;
- o ambiente construído a ser simulado é representado na forma de uma matriz retangular, onde cada elemento desta matriz representa um espaço quadrado de 9 cm de lado no ambiente real;
- não existe restrição para a geometria do ambiente, , desde que possua um único pavimento;
- a dimensão média da população (ou área de influência) é considerada como sendo de aproximadamente $0,20 \text{ m}^2$ (um quadrado de $0,45 \times 0,45 \text{ m}$);
- a velocidade efetiva de deslocamento das pessoas varia em função da distância a uma eventual obstrução à frente (THOMPSON, MARCHANT, 1995a), sendo a velocidade máxima de deslocamento de $1,5 \text{ m/s}$;

- são considerados diversos efeitos, como o RP, DA, EP, NE, EI e EA, onde: RP é a rota preferencial (perfil de rotas gerado pelo algoritmo de busca referenciada, visando fornecer um percurso inicial idealizado rumo à saída, não considerando o efeito das pessoas, mas somente o leiaute do ambiente); DA é a distância aparente (independente da rota preferencial, considera-se a percepção empírica da distância em relação à saída); EP é o efeito parede (a existência de uma parede restringe a movimentação na sua área de influência); NE é o nível de estresse (o nível de estresse dos ocupantes do ambiente influencia na qualidade das decisões tomadas); EI é o efeito inércia (a tendência de se manter a mesma direção de movimentação) e EA é o efeito autômato (a influência causada pelos demais ocupantes do ambiente);

- o fornecimento do valor de QR (qualidade da rota), que é uma função *Fuzzy* dinâmica de todas as variáveis apresentadas ($QR = f(RP, DA, EP, NE, EI \text{ e } EA)$);

- a realização de um processo decisório de tomada de decisões baseado no valor de QR para cada uma das opções de movimentação e fazendo a opção de qual rota seguir;

- a geração do perfil com o tempo de escape para cada pessoa, assim como a representação gráfica das pessoas em função deste tempo;

- a obtenção dos valores e do mapa de possibilidade de ocorrência de colisões diretas entre pessoas durante uma evacuação. São fornecidos quatro tipos de possibilidades: POC 01 (quantas vezes as pessoas tiveram o caminho preferencial obstruído por outra pessoa); POC 02 (quando além do caminho preferencial a segunda opção de caminho também foi obstruída); POC 03 (quando além da opção preferencial de caminho, tanto a segunda opção quanto a terceira opção também estão obstruídas); e POC 04 (quando todas as opções de movimentação estão obstruídas);

- a visualização do processo de abandono do ambiente.

2 METODOLOGIA

Em todos os casos, o ambiente a ser simulado terá um formato quadrado de 20 m de lado e sem divisões internas (400 m² de área). A primeira série de simulações será realizada considerando uma única saída de largura variável posicionada no centro de um dos lados do ambiente. A segunda série de simulações será realizada considerando duas saídas de largura variável, mas de mesmo valor, posicionadas no centro de lados opostos no ambiente. As larguras individuais das saídas a serem consideradas são de 1, 2, 3, 4, 6 e 10 m.

Para cada configuração de saídas do ambiente, as simulações serão realizadas considerando uma população de 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200, 300, 500, 800 e 1000 pessoas aleatoriamente distribuídas no ambiente (ou seja, com uma respectiva densidade populacional de 0,0025, 0,025, 0,05, 0,075, 0,1, 0,125, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,375, 0,5, 0,75, 1,25, 2, e 2,5 pessoas/m² ou apenas p/m²). Apesar da distribuição aleatória das pessoas no ambiente, pelo menos uma pessoa a cada simulação estará sempre inicialmente posicionada o mais distante possível da saída.

Em cada simulação, será verificado o tempo total de escape da população (t_e) e o valor do número de possibilidade de ocorrência de colisões (POC 01) fornecidos pelo programa FUGA v. 0.7. Para cada ambiente será também calculado o valor de d_{med} e da distância máxima (d_{max}) pelo algoritmo BR implementado pelo programa FUGA Path v 0.1. Os valores de d_{med} serão então comparados com os valores de t_e e POC 01 obtidos nas simulações para

cada ambiente e população.

3 RESULTADOS

Na Fig. 1 é apresentada uma imagem do ambiente (vista de topo) ilustrando o posicionamento inicial de uma única pessoa localizada inicialmente o mais distante possível da saída nos ambientes com uma e com duas saídas (paredes em preto, saída em laranja e rota seguida até a saída em amarelo). Como exemplo da distribuição das pessoas sobre o ambiente, na Fig. 2 se apresenta uma visão do ambiente com uma única saída de 1 m com 300 pessoas e com 1000 pessoas aleatoriamente distribuídas.

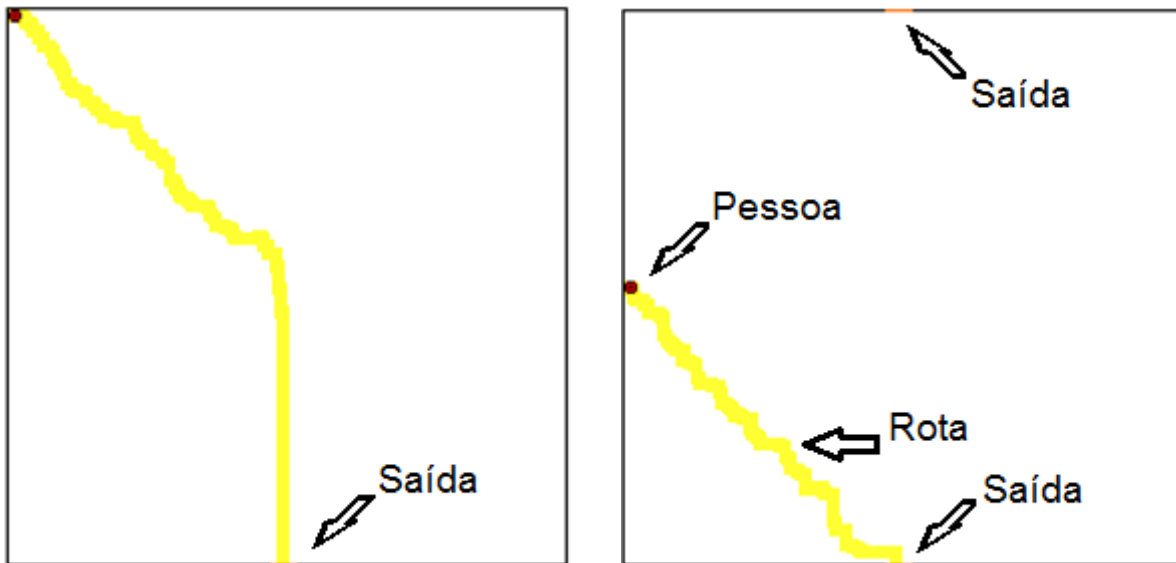


Figura 1. Vista de topo do ambiente com uma única saída de 1 m (a esquerda) e do ambiente com duas saídas de 1 m em lados opostos (a direita), ambos com a indicação do posicionamento de uma pessoa inicialmente localizada o mais distante possível da saída (em laranja) e da sua rota tomada (em amarelo)

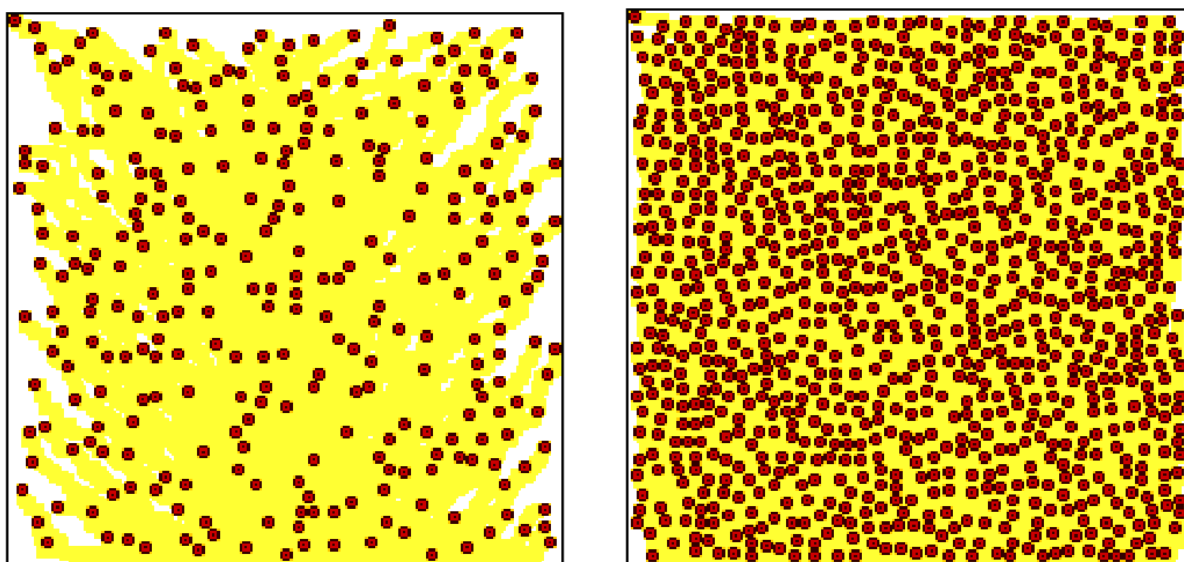


Figura 2. Vista de topo do ambiente com uma única saída de 1 m com 300 pessoas (a esquerda) e com 1000 pessoas (a direita) aleatoriamente posicionadas (saída em laranja e rotas tomadas em amarelo)

Também, como exemplo na Fig. 3, estão apresentados para os ambientes da Fig. 1 os respectivos mapas de distância, onde cada faixa de cor representa um distanciamento de 1 m

em relação à saída. Adicionalmente, na Tab. 1, estão indicadas para todas as configurações de saídas os valores de d_{med} e d_{max} calculados.

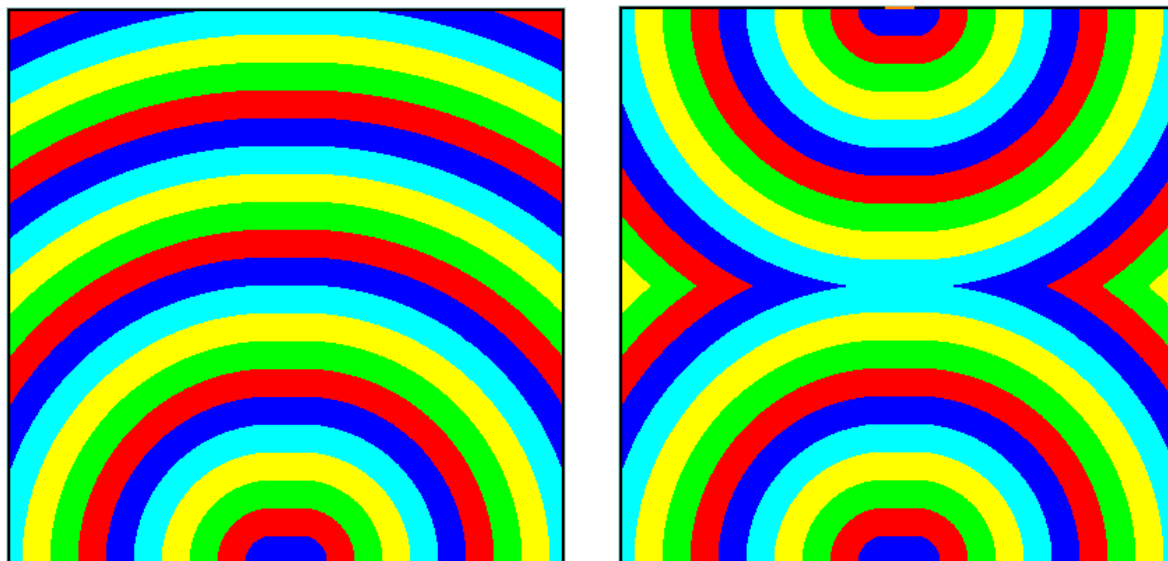


Figura 3. Mapas de distância obtidos para os ambientes com uma única saída de 1 m (a esquerda) e com duas saídas de 1 m em lados opostos (a direita)

Tabela 1. Valores de d_{med} e d_{max} para todas as configurações de saídas dos ambientes

Quantidade de saídas	Largura saída (m)		d_{med} (m)	d_{max} (m)
	individual	Total		
1 saída	1	1	11,54	21,92
	2	2	11,33	21,71
	3	3	11,13	21,51
	4	4	10,96	21,32
	6	6	10,65	20,97
	10	10	10,22	20,40
2 saídas	1	2	7,29	13,65
	2	4	7,00	13,31
	3	6	6,73	12,98
	4	8	6,48	12,67
	6	12	6,05	12,07
	10	20	5,42	11,05

Na Fig. 4 se apresenta a variação do valor de t_e em função do valor de d_{med} para todas as simulações com 40 ou mais pessoas. A região de linhas tracejadas na Fig. 4 foi obtida por interpolação já que não há dados para valores de d_{med} entre 7,3 m e 10,2 m (Tab. 1). Por fim, na Fig. 5 se apresenta a evolução do valor da possibilidade da ocorrência de colisões entre pessoas (POC 01) em função da densidade populacional (ρ) para os diversos ambientes de saída única.

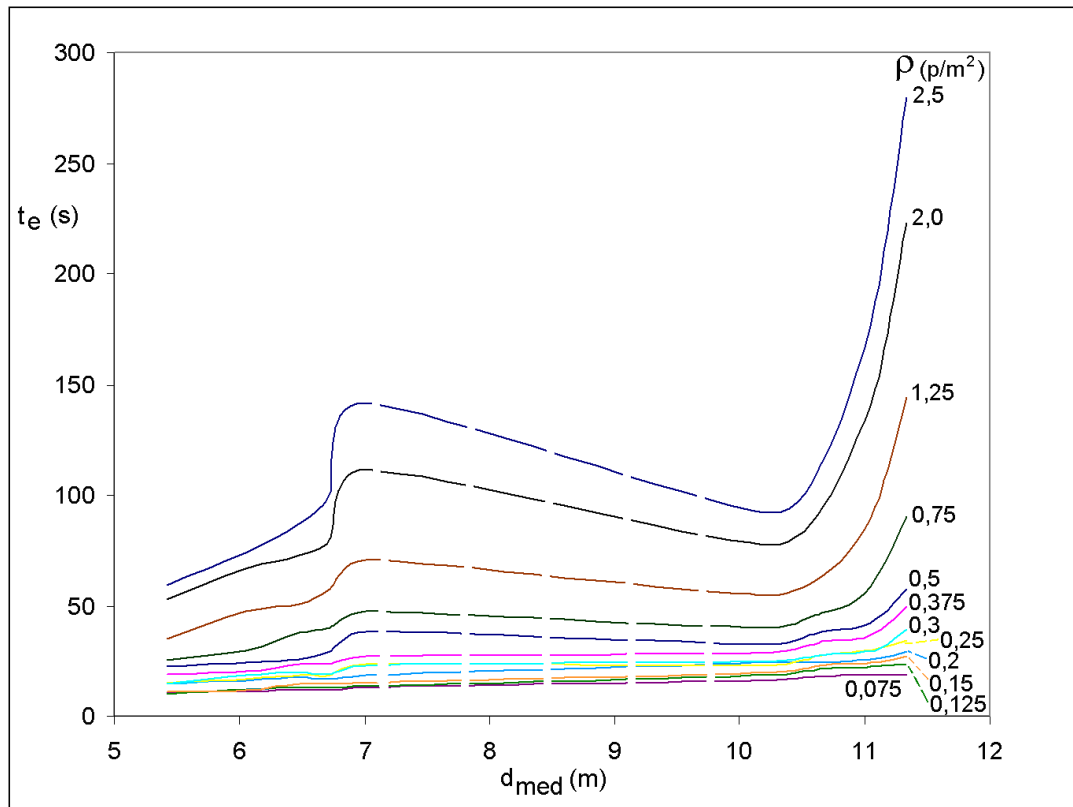


Figura 4. Variação dos valores de t_e obtidos para as simulações com 40 ou mais pessoas

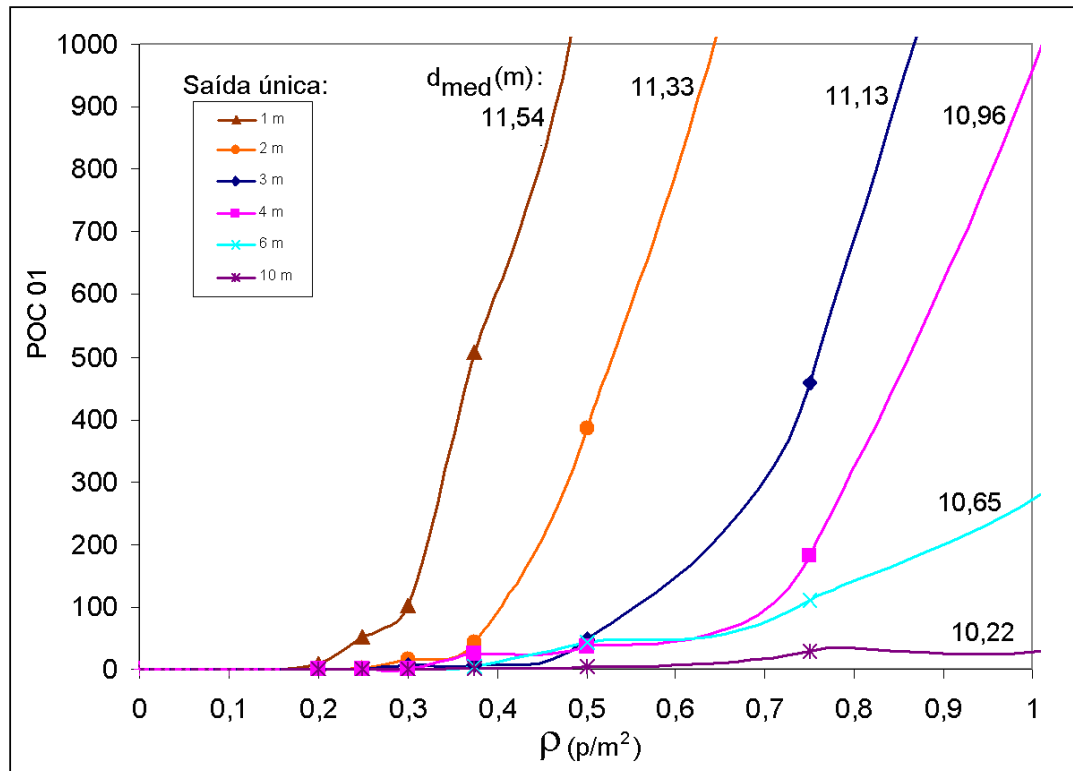


Figura 5. Variação da possibilidade de ocorrência de colisões (POC 01) em função da densidade populacional (ρ) para os diversos ambientes com saída única

4 DISCUSSÕES

Em todas as simulações, a manutenção de uma pessoa inicialmente sempre posicionada o mais distante possível da saída ocorreu para se minimizar o efeito do posicionamento inicial das pessoas. Se não fosse assim, em algumas simulações, especificamente as de menor densidade populacional, poderiam ser gerados valores totalmente espúrios para o tempo total de escape influenciado somente pelo posicionamento inicial das pessoas sobre o ambiente e não pela geometria do ambiente.

Assim, devido a este cuidado tomado, para as simulações com pequena densidade populacional o t_e foi influenciado basicamente pela distância percorrida da pessoa mais distante da saída, que no caso foi a $d_{\max}$. Isto ocorreu porque esta única pessoa inicialmente posicionada o mais distante da saída controlou o processo (praticamente não houve outras influências como colisões, desvios de percurso ou congestionamentos).

Como nestes ambientes relativamente simétricos e sem subdivisões internas, a $d_{\max}$ varia de forma aproximadamente linear com a d_{med} (Tab. 1), pode-se então afirmar que o t_e é linearmente relacionado com a d_{med} para as simulações realizadas com apenas uma ou muito poucas pessoas. Entretanto, em se aumentando o número de pessoas outras influências surgem.

Pela Fig. 5 observa-se que, para simulações com até 60 pessoas (densidade populacional até $0,15 \text{ p/m}^2$), não há o registro da possibilidade da ocorrência de colisões durante a evacuação (POC 01 nulo). Entretanto, ainda na Fig. 5, nota-se que para uma densidade de $0,2 \text{ p/m}^2$ começam a ser percebidos as primeiras possibilidades de colisões internas, cuja ocorrência aumenta com a elevação da densidade populacional e mais vigorosamente para os ambientes com menores larguras de saídas. Este fenômeno justifica a ocorrência dos picos nos valores obtidos para t_e observados na Fig. 4 para uma d_{med} de aproximadamente 7,3 m e novamente para uma d_{med} de aproximadamente 11,6 m, principalmente para densidades populacionais acima de $0,3 \text{ p/m}^2$.

Para se poder verificar somente o efeito de d_{med} sobre o valor de t_e , a Fig. 6 apresenta a evolução do valor de t_e em função do valor de d_{med} , sem considerar os ambientes com uma ou duas saídas de apenas 1 m (ambientes críticos em termos de colisões internas) nem as simulações com densidade populacional acima de $0,2 \text{ p/m}^2$ (condição geradora de muitos conflitos internos). Assim, na Fig. 6 pode-se observar uma tendência do t_e se elevar com o aumento da d_{med} , para todos os ambientes e condições selecionadas. Na Fig. 6, foram adicionadas, para comparação, retas de tendência média considerando uma relação linear. Percebe-se uma clara relação crescente entre os valores do t_e e da distância d_{med} , independente do ambiente ser com uma ou duas saídas.

Um ponto que merece ser colocado é que, se $d_{\max}$ e d_{med} são proporcionais, qual seria a vantagem de se usar a distância d_{med} e não apenas se referenciar $d_{\max}$? Isso porque $d_{\max}$ já está mais bem estabelecida sendo inclusive usada como referência em alguns códigos (ABNT, 2001; CBMMG, 2014). O motivo é que esta proporcionalidade ocorrida entre ambas distâncias somente ocorreu pelas características simples dos ambientes simulados neste trabalho. Em ambientes externamente ou internamente não simétricos, como ocorre na maioria dos casos, a distância $d_{\max}$ pode simplesmente não possuir quase nenhum significado em relação a segurança da média do ambiente. Ou seja, na prática $d_{\max}$ é relevante para identificar um ponto crítico desfavorável, mas sem necessariamente, mesmo que indiretamente, como no caso da distância d_{med} , ser uma indicação da segurança média de todo o ambiente.

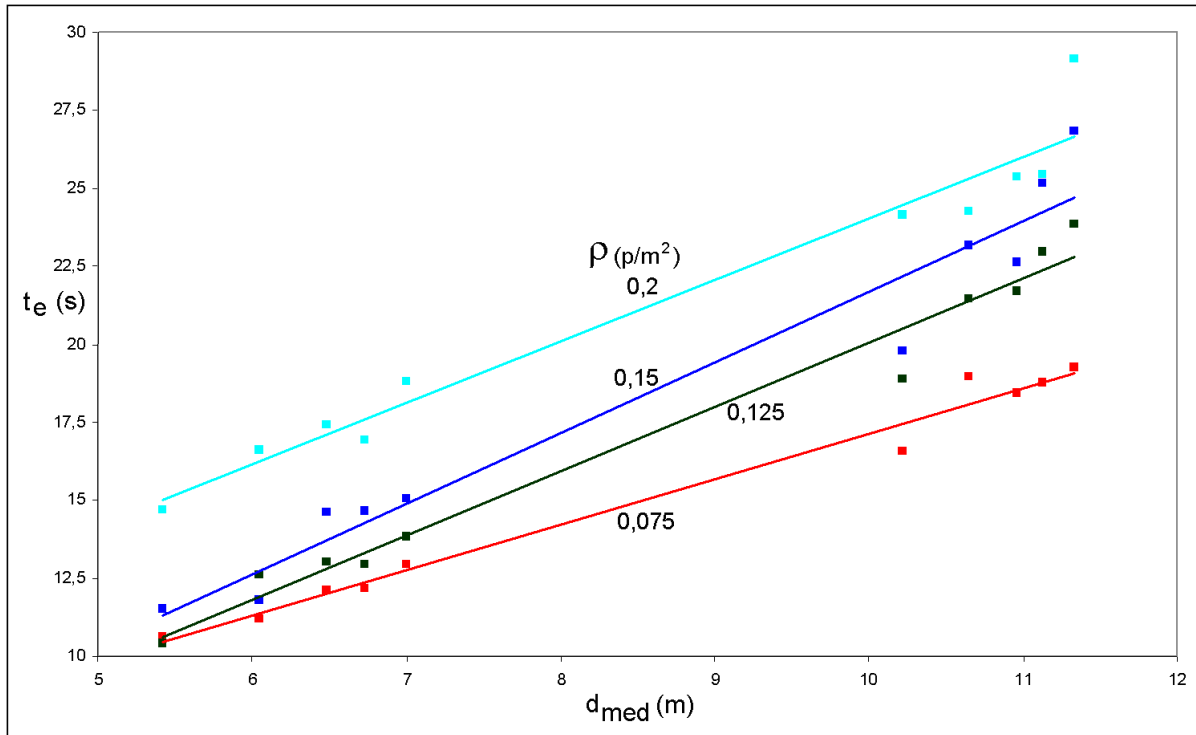


Figura 6. Variação dos valores de t_e em função da d_{med} obtidos para as simulações com 30 a 80 pessoas

Por fim, na Fig. 7 é mostrada uma comparação entre resultados obtidos para ambientes que, apesar de possuírem a mesma largura total de saída, apresentam distintos valores de d_{med} . Estes são os ambientes com uma única saída de 4 m e com duas saídas individuais de 2 m cada em lados opostos, e os ambientes com uma única saída de 6 m e com duas saídas individuais de 3 m cada em lados opostos.

Os valores de d_{med} para estes ambientes são diferentes (Tab. 1), apesar da manutenção da igualdade da largura total da saída. O valor da diferença indicada na Fig. 7 para os valores do t_e entre estes distintos ambientes com o mesmo valor da largura total da saída foi obtida pela seguinte expressão:

$$Diferença = \frac{t_{e_01_saída} - t_{e_02_saídas}}{t_{e_02_saídas}} * 100\% \quad (1)$$

Os valores das diferenças calculadas pela Eq. (1) apresentadas na Fig. 7 indicam que os valores de t_e obtidos para os ambientes com a mesma largura total de saída, para todas as densidades populacionais avaliadas, são menores para os ambientes que apresentam o menor valor de d_{med} .

Para as simulações em ambientes com densidade populacional de até 0,2 p/m^2 , a diferença foi muito expressiva, na maioria dos casos superior a 40 %, nos valores obtidos de t_e , sendo em alguns casos superior a 60% nos valores obtidos.

Para ambientes com densidade populacional igual ou superior a 0,75 p/m^2 , a diferença foi menor, variando aproximadamente entre 10 % e 20 % nos valores obtidos de t_e , mas sempre também indicando um menor valor de t_e para os ambientes com a mesma largura de saída de menor d_{med} .

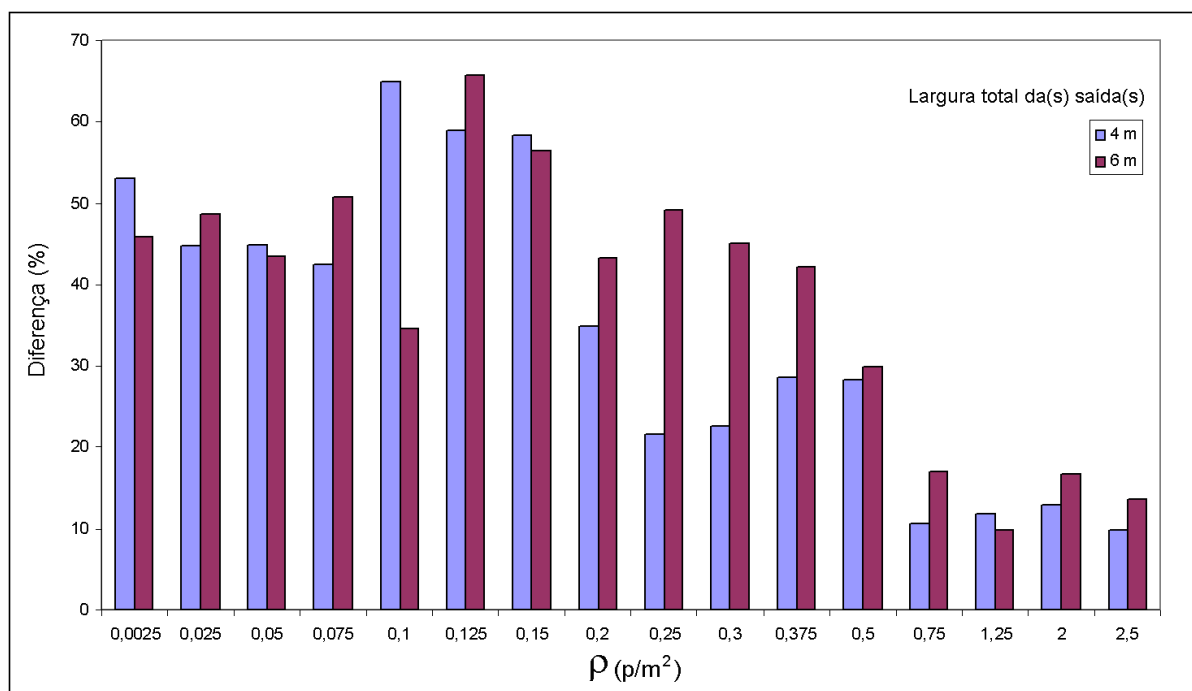


Figura 7. Diferença entre os valores de d_{med} para os ambientes com a mesma largura total de saída de 4 e 6 m em função da densidade populacional

Outro aspecto que merece atenção é que, em diversos estudos teóricos e experimentais já realizados (THOMPSON, MARCHANT, 1995b), verifica-se que o fluxo de pessoas junto a saída se eleva de forma diretamente proporcional ao aumento da largura total da saída, e, conseqüentemente, o t_e obtido se reduziria também diretamente proporcional ao aumento da largura total da saída. Este é um ponto muito importante, portanto considerado em diversos códigos que regulam o dimensionamento das saídas de emergência (DCMS, 2008).

Entretanto, observa-se na Fig. 7 que mesmo mantendo a largura total de saída constante, mas reduzindo o valor da d_{med} , são obtidos significativos ganhos na segurança do ambiente devido a redução do valor de t_e . Esta é uma informação relevante que também deve ser levada em consideração. Ou seja, apesar da importância dos ganhos obtidos com o aumento da largura da saída, o melhor posicionamento (ou distribuição) no ambiente das saídas (reduzindo a d_{med} do ambiente) também pode causar ganhos na segurança do ambiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de simulações computacionais em um ambiente quadrado de 20 m de lado sem repartições internas foi mostrado que o valor do tempo de escape em uma evacuação (t_e) se relaciona diretamente com a média das distâncias a serem percorridas até a saída (d_{med}), e que esta d_{med} tem estreita ligação com o posicionamento e largura das saídas de emergência. Assim, d_{med} pode efetivamente ser usada como sendo um parâmetro auxiliar na verificação da segurança de um ambiente em relação à proteção contra incêndio e pânico. Por sua estreita ligação com a geometria do ambiente, a distância d_{med} também pode ser usada como um instrumento a ser usado pelos projetistas para, ainda na fase de concepção de um ambiente construído, verificar alternativas arquitetônicas, eventualmente simples, mas que podem ter grande impacto na segurança.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-MG e a CAPES pelo suporte recebido.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. ABNT NBR 9077:2001 – Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 40p.
- Braga, H.C., Moita, G.F., Camargo, F. e Almeida, P.E.M., 2014. Simulação da movimentação de pessoas em situações de emergência: aspectos ergonômicos e computacionais com autômatos Fuzzy e sua aplicação ao projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, v. 14, pp. 61-77.
- Braga, H.C., Moita, G.F. e Almeida, P.E.M., 2015. Redução dos riscos de acidentes na movimentação humana: efeito do distanciamento das saídas de emergência. In: EINEPRO 2015 – Encontro Interestadual de Engenharia de Produção, 1. *Anais ...*, São João da Barra: UCAM, 11p.
- Braga, H.C., Moita, G.F. e Almeida, P.E.M., 2015. Algoritmo para geração do menor caminho discreto suave a ser percorrido até a saída de um ambiente. In: CILAMCE 2015 – XXXVI Iberian-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 36. *Anais ...*, Rio de Janeiro: ABMEC, 16p. (submetido para publicação)
- Carneiro, G.L. e Xavier, A.A.P., 2011. Adaptação do método de Gretener a legislação de prevenção contra incêndio – proposta para o código do Estado do Paraná. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 3, n. 3, p. 11-23.
- CBMMG - Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2014. IT 08 – Saídas de emergência em edificações. 2ª ed., Belo Horizonte: CBMMG, 25p.
- DCMS - Department for Culture, Media and Sport, 2008. *Guide to safety at sports grounds*. 5ª ed., London: TSO, 228p. The Green Guide.
- Kaiser, J., 1980. Experiences of the Gretener method. *Fire Safety Journal*, v. 2, n. 3, pp. 213-222.
- Russell, S. e Norvig, P., 2004. Busca com informação e exploração, In: *Inteligência Artificial*, Cap. 4, Elsevier, 11ª reimpressão, Rio de Janeiro, pp. 94-133.
- Silva, V. e Coelho Filho, H.S., 2007. Índice de segurança contra incêndio para edificações. *Ambiente Construído*, v. 7, n. 4, p. 103-121.
- Soltani, A.R., Tawfik, H., Goulernas, J.Y. e Fernando, T., 2002. Path planning in construction sites: performance evaluation of the Dijkstra, A*, and GA search algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, v. 16, n. 4, pp. 291-303.
- Thompson, P.A. e Marchant, E.W., 1995. A computer model for the evacuation of large building populations, *Fire Safety Journal*, v. 24, pp. 131-148.
- Thompson, P.A. e Marchant, E.W., 1995. Testing and application of the computer model “SIMULEX”. *Fire Safety Journal*, v. 24, pp. 149-166.