

A ÓTICA DO PEDESTRE DURANTE SUA MARCHA EM UM AMBIENTE CONSTRUÍDO: APLICAÇÃO CONJUNTA DO NÍVEL DE SERVIÇO E DO DIAGRAMA FUNDAMENTAL PEDESTRE

THE PEDESTRIAN'S PERSPECTIVE DURING THEIR WALK IN A BUILT ENVIRONMENT: JOINT APPLICATION OF LEVEL OF SERVICE AND PEDESTRIAN FUNDAMENTAL DIAGRAM

Henrique Costa Braga, Dr.

bragaseg@yahoo.com.br e <https://orcid.org/0000-0001-9504-6156>

Gray Farias Moita, PhD.

gray@cefetmg.br e <https://orcid.org/0000-0002-6510-1019>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil

marcha humana, nível de serviço, diagrama fundamental pedestre, ambiente construído

O ato de caminhar é uma atividade cotidiana e aparentemente trivial, no entanto, sua execução pode impactar significativamente tanto a nossa qualidade de vida como a nossa segurança pessoal. Por isso, muitos estudos e vieses existem sobre a marcha, como o nível de serviço (NS) e o diagrama fundamental pedestre (DFP). Esses conceitos apresentam diferentes perspectivas sobre a fluidez da movimentação humana em relação à densidade populacional, onde o NS traz uma preocupação com a percepção das pessoas, enquanto no DFP o foco está na determinação da alteração da velocidade de deslocamento. São abordagens usualmente empregadas em separado. Neste trabalho, por uma metodologia essencialmente exploratória, estas perspectivas para uma situação específica serão combinadas, permitindo verificar em conjunto e comparativamente ambos os resultados. Observou-se que o ponto ótimo de maior fluidez indicado pelo DFP está, pela perspectiva do NS, em uma zona de percepção considerada muito ruim. Portanto, se os projetistas de ambientes construídos considerarem apenas o DFP em suas abordagens, irão ser concebidos ambientes mais estressantes para os ocupantes. Assim, este artigo contribui ao apresentar essa abordagem não convencional para a verificação da adequação do ergodesign do ambiente construído, trazendo à discussão alguns pontos éticos.

human movement, level of service, pedestrian fundamental diagram, built environment

Movement through walking is an everyday and even trivial activity, but its execution can significantly influence both our quality of life and personal safety. Hence, numerous studies and biases exist, including the Level of Service (LOS) and the Pedestrian Fundamental Diagram (PFD). These concepts present different perspectives on the fluidity of human movement concerning population density, with LOS focusing on people's perception, while PFD concentrates on determining changes in walking speed. These approaches are typically employed separately. In this work, using an essentially exploratory methodology, these two perspectives for a specific situation will be combined, allowing us to verify both results together and comparatively. It was observed that the optimal point of maximum fluidity indicated by the PFD is, from the perspective of LOS, in an area perceived as very bad. Therefore, if designers of built environments consider only the PFD in their approaches, more stressful environments will be designed for occupants. Thus, this paper contributes by presenting this unconventional approach to verify the adequacy of ergodesign in the built environment, bringing some ethical points to the discussion.

Recebido em: 21 / 08 / 2023

Aceito em: 01 / 12 / 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.22570/ergodesignhci.v11i1.2002>



1. Introdução

A movimentação de pessoas pela marcha é obviamente uma das atividades mais corriqueiras. Sua realização, apesar de parecer trivial, pode influenciar significativamente tanto nossa qualidade de vida como até mesmo nossa segurança pessoal. Infelizmente, não é rara a ocorrência de acidentes envolvendo a marcha humana, mesmo em situações cotidianas (STILL, 2000; BRAGA *et al.*, 2017). Assim, a atenção com a ocorrência de incidentes e acidentes na marcha deve ser considerada tanto pelo poder público, como pelos projetistas e responsáveis pela concepção e manutenção dos ambientes construídos. Ainda, além da questão da segurança, aspectos relacionados à satisfação pessoal durante a marcha também devem, por estes atores, ser considerados, pois podem afetar sobremaneira a qualidade de vida das pessoas.

Em relação à ocorrência de incidentes e acidentes, as consequências podem ser desde um desequilíbrio momentâneo, sem uma efetiva queda (efeito malabarista), a até mesmo situações mais graves que podem causar ferimentos, tanto leves como graves, e, em alguns casos, levar a morte. Acidentes podem acontecer com pessoas de qualquer idade, mas os mais idosos são o grupo de risco mais suscetível a sofrer graves acidentes e lesões durante a movimentação. Em movimentações que ocorrem em situações de grande densidade populacional, a situação é ainda mais crítica. Assim, pela sua importância, diversos são os estudos realizados sobre a marcha humana e de parâmetros relacionados à velocidade de movimentação (SCHADSCHNEIDER *et al.*, 2000; VIEL *et al.*, 2001; CHANDRA, BHARTI, 2013).

Pela pluralidade e complexidade das possíveis situações envolvendo a movimentação humana, diversas são as metodologias e enfoques já empregados para seu estudo. Neste trabalho, dois diferentes vieses de avaliação serão empregados: o nível de serviço (NS) e o diagrama fundamental pedestre (DFP). Estes conceitos apresentam, conforme suas perspectivas, algumas condições relativas à fluidez da movimentação humana em função da densidade populacional. Em grosso modo, pelo NS se tem uma preocupação com o sentimento e percepção das pessoas, enquanto pelo DFP se tem, quantitativamente, o estudo da variação da velocidade de deslocamento na marcha.

Estes dois parâmetros já foram e são empregados por responsáveis pelo planejamento de diversos ambientes construídos, sejam estes abertos ou fechados (ABLEY *et al.*, 2010a, 2010b; ZHANG, 2012; VANUMU *et al.*, 2017). O NS e o DFP são dois conceitos importantes, mas cuja aplicação usualmente se dá em separado, pois, apesar de ambos estarem relacionados com a marcha humana, têm objetivos diferentes.

Assim, neste trabalho, vai-se fazer a associação de ambos os vieses em uma situação específica, de modo que a questão da percepção da satisfação das pessoas em movimento em função da densidade populacional sobre um DFP possa ser mais bem visualizada. Considera-se a abordagem proposta relevante, pois como o DFP é utilizado no auxílio à concepção de ambientes construídos visando a otimização do fluxo humano com certa garantia de segurança geral, será possível, pelo NS, se verificar como se dá a percepção de satisfação das pessoas em marcha nestas situações. Este artigo, então, contribui ao apresentar esta abordagem não usual para a verificação da adequação do ambiente construído a sua ocupação. Alguns pontos éticos envolvidos serão também apontados e trazidos a discussão.

2. Fundamentação Teórica

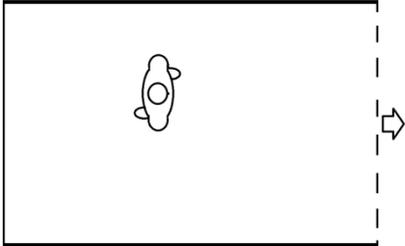
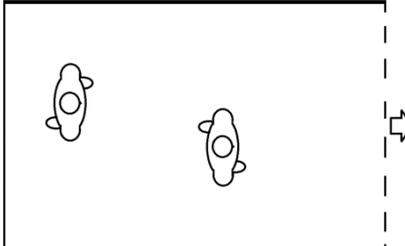
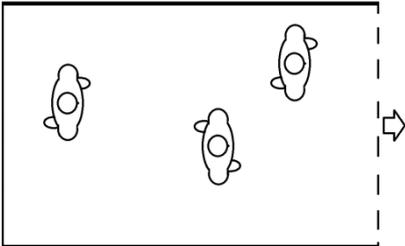
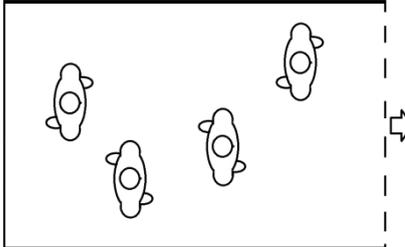
2.1. O Nível de Serviço

O NS é um parâmetro empregado para retratar as condições de fluidez, segurança e conforto, aplicável às mais diversas situações de mobilidade. Fruin adequou este conceito para a classificação da movimentação



humana em marcha (STILL, 2000). Atualmente, o NS é um parâmetro largamente empregado em diversos estudos de mobilidade urbana, inclusive utilizado como base para normas e guias de políticas públicas (TANABORIBOOM, GUYANO, 1989; CUCCI NETO, 1996; NYC, 2006; HÄNSELER *et al.*, 2015).

O NS determina que, além do espaço físico ocupado pelo corpo propriamente dito, existe a necessidade de uma maior área - um espaço pessoal - para que se possa realizar o deslocamento humano em certa condição de fluidez e conforto. O nível de serviço é classificado por letras, variando de “A” (menor densidade populacional) até “F” (maior densidade populacional). O NS varia com o ambiente e contexto tratado (se num passeio, numa fila, numa passagem, entre outros). Neste trabalho será tratado especificamente o NS para o deslocamento humano em um ambiente livre como um corredor largo ou área de passagem. A Figura 1 ilustra com exemplos e discrimina os parâmetros para cada um desses NS.

<p>Nível de Serviço: A (☺ ☺ ☺)</p>  <p>Área: > 5,6 m²/pessoa Fluxo: ≤ 16 pessoas/(m.min)</p> <p>Opinião das pessoas: Muito agradável</p>	<p>Nível de Serviço: B (☺ ☺)</p>  <p>Área: 3,7 – 5,6 m²/pessoa Fluxo: 16 – 23 pessoas/(m.min)</p> <p>Opinião das pessoas: Agradável</p>
<p>Nível de Serviço: C (☺)</p>  <p>Área: 2,2 – 3,7 m²/pessoa Fluxo: 23 - 33 pessoas/(m.min)</p> <p>Opinião das pessoas: Levemente agradável</p>	<p>Nível de Serviço: D (☹)</p>  <p>Área: 1,4 – 2,2 m²/pessoa Fluxo: 33 – 49 pessoas/(m.min)</p> <p>Opinião das pessoas: Levemente Ruim</p>
<p>Nível de Serviço: E (☹☹)</p>	<p>Nível de Serviço: F (☹☹☹)</p>

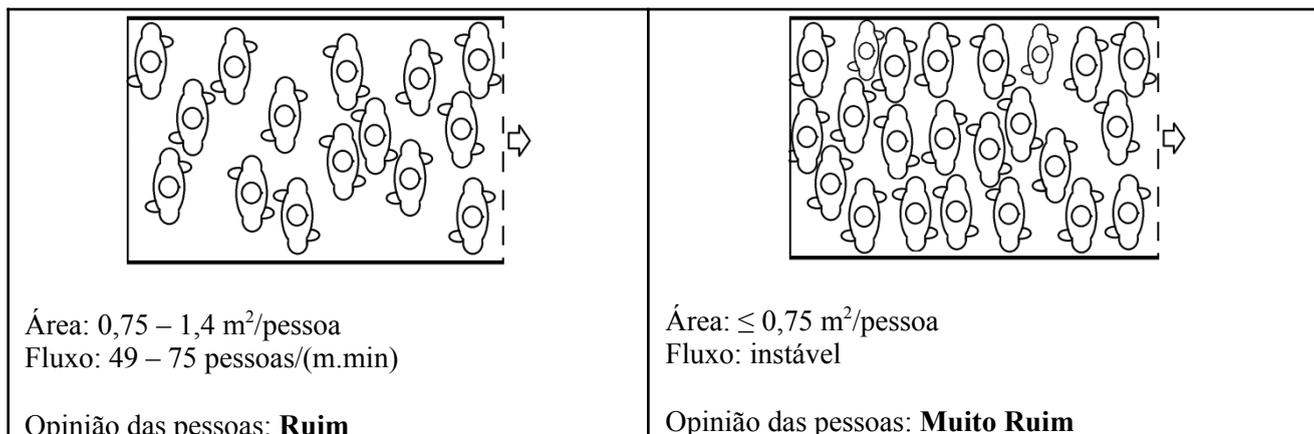


Figura 1. Classificação e representação esquemática dos vários NS.
 Fonte: dos autores, com dados retirados de Abley *et al.* (2010a, 2010b).

2.2. O Diagrama Fundamental Pedestre

O DFP é um gráfico, ou um conjunto de equações, que relaciona a velocidade de movimentação humana em marcha, ou fluxo específico, com a densidade populacional. Existem diferentes DFP já obtidos para as mais diversas situações (SEYFRIED *et al.*, 2008; VANUMU *et al.*, 2017). Um dos DFP mais relevantes, apesar de simplificado, é o apresentado pela SFPE – *Society of Fire Protection Engineers* (ZHANG, 2012), que influencia a normalização de diversos códigos de dimensionamento e planejamento de ambientes construídos.

O DFP da SFPE considera que, para uma densidade populacional de até 0,54 pessoas/m², as pessoas se movem em uma velocidade média constante de 1,25 m/s. Ainda, que a partir da densidade de 0,54 pessoas/m², a velocidade de movimentação reduz linearmente com o aumento da densidade populacional até as pessoas não mais conseguirem se locomover, o que acontece a uma densidade em torno 3,8 pessoas/m². A Figura 2 apresenta este DFP da SFPE.

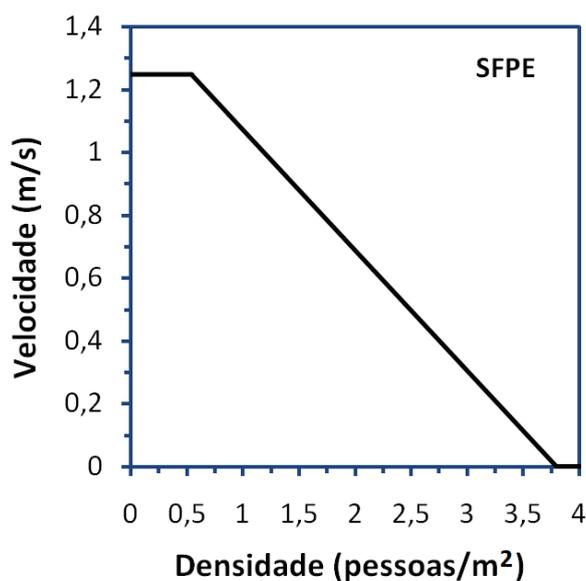


Figura 2. Diagrama fundamental pedestre.
 Fonte: dos autores.



A respectiva curva de fluxo específico pode ser obtida pela seguinte equação:

$$J = v \times \rho \quad (1)$$

Onde: J é o fluxo específico, v é a velocidade de movimentação das pessoas e ρ é a densidade populacional. Assim, aplicando-se a Equação (1) sobre o DFP da SFPE (Figura 2), obtém-se a respectiva curva de fluxo (Figura 3).

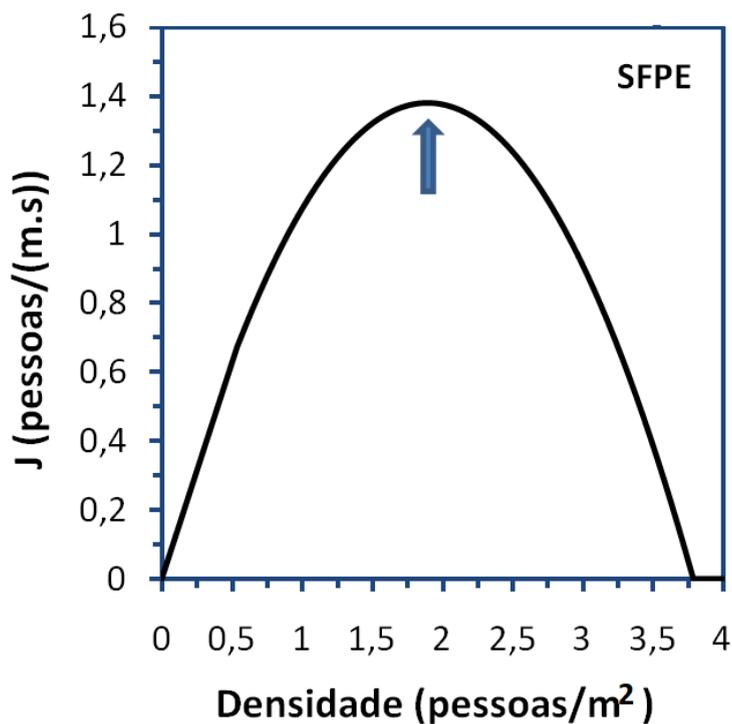


Figura 3. Curva de fluxo específico para a movimentação de pessoas em marcha.
Fonte: dos autores.

A curva de fluxo apresentada na Figura 3 possui grandes aplicações para o projeto arquitetônico, civil, de segurança ou organizacional de ambientes construídos, pois indica que o maior fluxo populacional que pode ser obtido com relativa segurança física é $J_{\max} = 1,38$ pessoas/(m.s) ou um fluxo de 82,8 pessoas por metro de largura da passagem por minuto.

Este considerado fluxo máximo acontece para uma densidade populacional de aproximadamente 1,95 pessoas/m² (valor de densidade populacional relativo a ponto de máximo na curva de fluxo indicado pela seta). Retornando com esta densidade populacional no DFP (Figura 2), a velocidade de movimentação das pessoas nessa situação “ótima” será de aproximadamente 0,71 m/s. Estes são parâmetros que possibilitam ser obtido o maior escoamento populacional em um ambiente construído como em um corredor plano.

O valor do fluxo máximo obtido pela análise do DFP da SFPE é similar do valor apresentado pelo *Green Guide* da Inglaterra, que estabelece um fluxo de 82 pessoas por metro de largura por minuto (DCMS, 2008,



p. 83). O *Green Guide* é um importante código tanto pela sua ampla utilização direta como também pela sua influência em códigos de outros países, inclusive do Brasil (CBMMG, 2021).

3. Resultados e Discussões

Com as informações apresentadas para a classificação dos NS relacionadas na Figura 1 em função da área disponível por pessoa, torna-se possível indicar estes mesmos níveis de serviço sobre a curva fluxo específico (Figura 3). O resultado está apresentado na Figura 4.

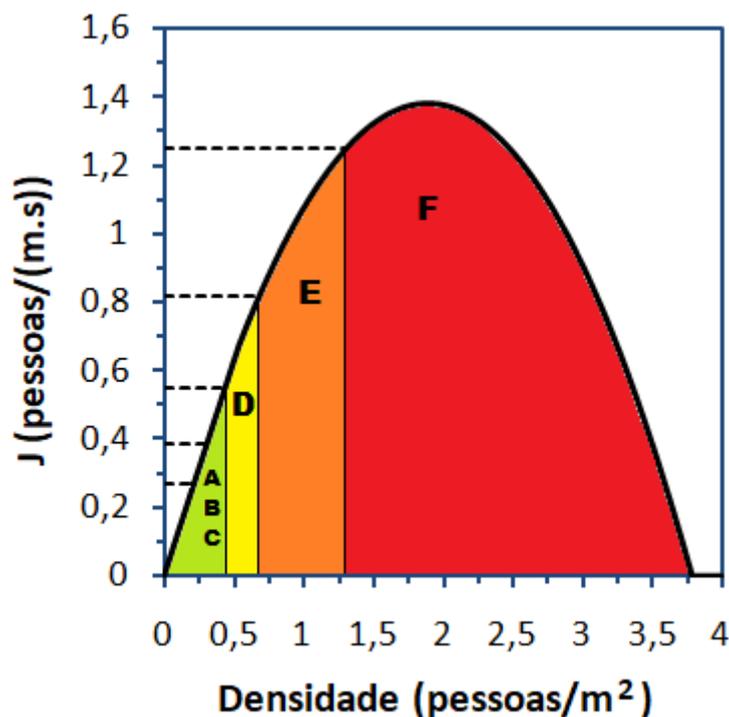


Figura 4. Curva de fluxo específico estilizada com a indicação do respectivo NS em função da densidade populacional. Fonte: dos autores.

Nesta Figura 4, apresentam-se quatro regiões indicadas pelas cores verde, amarela, laranja e vermelho. A região verde indica na curva de fluxo a densidade populacional que corresponde aos NS “A”, “B”, ou “C”, ou seja, a região de movimentação classificada pelas pessoas como sendo de muito agradável, agradável, ou levemente agradável. A região amarela corresponde ao nível de serviço “D” e indica a região de movimentação classificada pelo respectivo NS como sendo levemente ruim. Já a região laranja corresponde ao NS “E” e indica a região de movimentação classificada pelo respectivo nível de serviço como sendo ruim. Finalmente, a região vermelha corresponde ao NS “F” e indica a região de movimentação classificada pelas pessoas como sendo muito ruim.

Um importante resultado obtido pela análise da Figura 4 é que o ponto considerado como ótimo em relação ao critério da obtenção do maior fluxo populacional (ponto de máximo da curva de fluxo específico) está incluso dentro da região considerada pelo NS como sendo muito ruim (região vermelha), e bastante afastado da região considerada como de alguma forma agradável (verde). Está até mesmo afastado da região considerada como levemente ruim (amarela).

Isto indica que, no projeto arquitetônico, civil ou organizacional, ao se ter o foco somente na maximização do fluxo, considerando apenas restrições relativas com a segurança física das pessoas em movimentação, pode não estar se dando a devida atenção quanto ao respeito às questões e necessidades cognitivas e comportamentais das pessoas.

Obviamente que a segurança física é, e sempre será, de vital importância, mas o atendimento a questões mentais tem sua relevância e não deve ser totalmente desconsiderado, especialmente em locais de movimentação rotineira. Existem vários estudos relacionando o estresse causado pelo congestionamento ambiental (desconsideração da manutenção dos espaços pessoais) ao aparecimento de distúrbios à saúde (MIDDLEMIST *et al.*, 1976; EVANS, WENER, 2007).

Esta diferença entre a região ou ponto ótimo indicado pelo nível de serviço e pelo DFP pode trazer à discussão algumas questões de natureza ética. Por exemplo, o código de ética dos arquitetos e urbanistas (CAU/BR, 2013) estabelece que “o arquiteto e urbanista deve adotar soluções que garantam ... **o bem-estar e a segurança das pessoas**, nos serviços de sua autoria e responsabilidade” (grifo nosso). De modo similar, o código de ética da engenharia (CONFEA, 2020, p.35) estabelece como uma das condutas vedadas “...prestar de má-fé ... qualquer ato profissional que possa resultar em dano ... **à saúde humana** ...” (grifo nosso).

Já há bastante tempo reconhecemos que estamos também vivendo na chamada era das massas (LE BON, 1896), onde a ocorrência de ambientes com altas densidades populacionais é uma rotina diária para muitos. Soluções gerais plenamente adequadas e viáveis a estas questões, tanto em termos técnicos quanto econômicos, estão longe de serem facilmente encontradas e praticadas, ainda mais quando nem mesmo a própria segurança física muitas vezes é garantida. De qualquer maneira, esta é uma discussão necessária e não deve passar sem uma análise adequada pelos responsáveis.

Finalmente, realizando nesta situação um paralelo a uma abordagem ergológica (TRINQUET, 2010; VIEIRA JÚNIOR, SANTOS, 2012), mesmo que simplificada, pode-se sugerir que a indicação da melhor condição por meio do ponto de máximo da curva de fluxo equivale ao pólo dos conceitos ou saberes constituídos; o nível de satisfação indicado pelas pessoas em movimentação por meio do nível de serviço constitui o polo das forças de convocação (saberes investidos na atividade); e, como terceiro polo, toda a questão ética e política gerada, as quais os projetistas e gestores devem saber lidar.

4. Considerações Finais

Pela confrontação de alguns aspectos da movimentação humana em marcha em determinado tipo de ambiente, obtidos tanto pelo nível de serviço como pelo diagrama fundamental pedestre, se verifica que o ponto onde a maior taxa de fluxo pode ser atingida com relativa segurança física média (sem a ocorrência de início do processo de mútua obstrução pelas pessoas), que é considerado muitas vezes na elaboração de projetos, não se encontra na região de movimentação considerada pelas pessoas como sendo agradável. Assim projetos arquitetônicos, civis ou organizacionais que privilegiem somente o fluxo específico máximo irão propositalmente criar ambientes construídos que potencializam o estresse pessoal durante a marcha, o que pode eventualmente trazer consequências negativas para a saúde.

5. Referências Bibliográficas

ABLEY, S.; WADE-BROWN, C., THOMAS, L., LINTON, L., SHUTTLEWORTH, K. **Community Street Review How to Guide - Part 1: background, walkability and planning**, New Zealand Transport Agency, 34 p., 2010.



- ABLEY, S., WADE-BROWN, C., THOMAS, L., LINTON, L., SHUTTLEWORTH, K. **Community Street Review How to Guide - Part 3: results and publication**, New Zealand Transport Agency, 41 p., 2010.
- BRAGA, H. C.; MOITA, G. F.; ALMEIDA, P. E. M. Abordagem Ergonômica da Movimentação Humana, sua Natureza Complexa e Aspectos para sua Simulação. **Ergodesign & HCI**, v. 5, n. 5, p. 1-13, 2017.
- CAU/BR – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. **Código de Ética e Disciplina do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil**, CAU/BR, 16p., 2013. (Anexo da Resolução CAU/BR Nº 52, de 6 de setembro de 2013).
- CBMMG – Corpo de Bombeiro Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica 37 - Centros Esportivos e de Exibição: requisitos de segurança contra incêndio e pânico**. 2ª ed., 27 p., 2021.
- CHANDRA, S., BHARTI, A.K. Speed distribution curves for pedestrians during walking and crossing, **Procedia Social and Behavioral Sciences**, n. 104, p. 660-667, 2013.
- CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. **Código de Ética Profissional da Engenharia, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia**. CONFEA, 13ª ed., 94p, 2020.
- CUCCI NETO, J. **Aplicações da Engenharia de Tráfego na Segurança dos Pedestres**. São Paulo: Escola Politécnica (USP). 188 p., 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes).
- DCMS - Department for Culture, Media and Sport. **Guide to Safety at Sports Grounds**. 5ª ed., London: TSO, 228 p., 2008. The Green Guide.
- EVANS, G.W., WENER, R.E. Crowding and Personal Space Invasion on the Train: please don't make me sit in the middle. **Journal of Environmental Psychology**, v. 27, n. 1, p. 90-94, 2007.
- HÄNSELER, F.S., BIERLAIRE, M., SCARINCI, R., 2015. **Assessing the Usage and Level-of-Service of Pedestrian Facilities in Train Stations: a Swiss case study**. École polytechnique Fédérale de Lausanne, 38p., 2015. Report TRANSP-OR 151008.
- LE BON, G. **The Crowd: a study of the popular mind**. London: Fisher Unwin. 1896. Reprint by Batoche Books, 129 p., 2001.
- MIDDLEMIST, R.D., KNOWLES, E.S., MATTER, C.F. Personal space invasions in the lavatory: suggestive evidence for arousal. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 33, n. 5, p. 541-546, 1976.
- NYC - New York City. **New York City Pedestrian Level of Service Study: phase I**. New York: NYC DCP, 155p., 2006.
- SEYFRIED, A.; BOLTES, M.; KLINGSCH, W.; PORTZ, A.; RUPPRECHT, T.; SCHADSCHNEIDER, A.; STEFFEN, B.; WINKENS, A. Enhanced empirical data for the fundamental diagram and the flow through bottlenecks. In: **Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008**. Berlin: Springer, p. 145-156, 2008.
- STILL, G.K. **Crowd Dynamics**. Warwick: Department of Mathematics of University of Warwick. 280 p. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy in Mathematics).



TANABORIBOOM, Y.; GUYANO, J. A. Level-Of-Service Standards for Pedestrian Facilities in Bangkok: A case study. **ITE Journal**, v. 59, n. 11, p. 39-41, 1989.

TRINQUET, P. Trabalho e Educação: o método ergológico. **Revista HISTEDBR On-line**, v. 10, número especial, p. 93-113, 2010.

VANUMU, L. D., RAO, K. R., TIWARI, G. Fundamental Diagrams of Pedestrian Flow Characteristics: A review. **Eur. Transp. Res. Rev.**, n. v. 9, n. 49, 13 p., 2017.

VIEIRA JÚNIOR, P. R., SANTOS, E. H. A gênese da perspectiva ergológica: cenário de construção e conceitos derivados. **Trabalho & Educação**, v. 21, n. 1, p. 83-100, 2012.

VIEL, É.; ASECIO, G.; BLANC, Y.; CASILLAS, J.M.; ESNAULT, M.; LAASSEL, el-M.; MESURE, S.; PÉLISSIER, J.; PENNEÇOT, G. F.; PLAS, F.; TARDIEU, C. **A Marcha Humana, a Corrida e o Salto: Biomecânica, investigações, normas e disfunções**. Barueri: Manole, 2001.

ZHANG, J. **Pedestrian Fundamental Diagrams**: comparative analysis of experiments in different geometries. Jülich: Forschungszentrums Jülich, 103 p. 2012. IAS Series (v. 14).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Maciel de Almeida (*in memoriam*) pelas profícuas discussões sobre este trabalho e por toda a amizade dispensada. Os autores agradecem ao CEFET-MG e a CAPES pelo suporte recebido durante parte dos estudos que resultaram deste trabalho.

