AVALIAÇÃO DE PERCURSOS DE PEDESTRES: PROPOSTA DE UM ÍNDICE A PARTIR DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE CAMINHABILIDADE E CONFORTO AMBIENTAL

Paula Lelis Rabelo Albala (1); Roberta Consentino Kronka Mülfarth (2)
(1) PhD, Pós-doutoranda, paula.rabelo@unb.br, Universidade de Brasília, +55 11 948601316
Universidade de Brasília - UnB - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Instituto Central de Ciências - ICC Norte - Gleba A, Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília - DF
(2) PhD, Professora Titular, rkronka@usp.br, Universidade de São Paulo, +55 11991782322
Universidade de São Paulo - USP - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo - SP

RESUMO

A pesquisa busca explorar a caminhabilidade nos percursos de pedestres e sua relação com o conforto ambiental, propondo uma abordagem sistematizada para sua aplicação no planejamento estratégico das cidades. Propõe-se, assim, a construção de um Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre (ICCP) composto por três índices parciais que levam em consideração aspectos térmicos, acústicos e ergonômicos dos percursos de pedestres. A metodologia utilizada é baseada no uso de ferramentas de visualização de ruas e ferramentas SIG para espacializar e sistematizar as interações entre caminhabilidade e conforto ambiental. A pesquisa conclui que o ICCP se constitui como ferramenta válida para aferição da caminhabilidade na meso e microescalas.

Palavras-chave: caminhabilidade, conforto ambiental, pedestres, SIG

ABSTRACT

This study seeks to explore walkability in pedestrian routes and its relationship with environmental comfort, proposing a more systematized approach for its application in the strategic planning of cities. We proposed, therefore, the construction of a Pedestrian Walkability and Comfort Index (ICCP) composed of three partial indices that take into account thermal, acoustic, and ergonomic aspects of pedestrian paths. The methodology used is based on the use of street visualization tools and GIS tools to spatialize and systematize the interactions between walkability and environmental comfort. The research concludes that ICCP is a valid tool for measuring walkability at meso and micro scales.

Keywords: walkability, environmental comfort, pedestrians, GIS

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa explora a caminhabilidade nos percursos de pedestres e suas inter-relações com aspectos de conforto ambiental, com uma proposta de inclusão destas temáticas de forma mais sistematizada, com vista a uma aplicação no planejamento estratégico das cidades.

A caminhabilidade é um conceito em construção, ressaltando-se o grande número de indicadores criados para aferi-la. Neste sentido, adota-se aqui o termo caminhabilidade como "o grau em que o ambiente construído, em determinado espaço de tempo, suporta e incentiva o caminhar, com conforto e segurança, conectando pessoas com destinos variáveis dentro de um razoável espaço de tempo e esforço, oferecendo interesse visual ao longo da rede (ALBALA, 2022). Com relação ao conforto ambiental das cidades, Steemers e Steane (2004) empregam o conceito de "diversidade ambiental" com vistas a considerar as diferentes condições ambientais - térmicas, visuais e auditivas etc. - que possam melhorar a experiência de arquitetura e do urbanismo. Assim, quando se analisa a inserção de aspectos de conforto ambiental nos índices de caminhabilidade, verifica-se que muitos estudos reconhecem sua importância para o bem-estar do pedestre. No entanto, na prática, são poucos os índices que consideram o assunto de forma explícita na composição dos seus indicadores (ABLEY e TURNER, 2011; CAMBRA, 2012; CARVALHO, 2018; PIRES, 2018; ITDP, 2018a; ITDP, 2018b; AL SHAMMAS e ESCOBAR, 2019).

Procura-se aqui, portanto, criar um sistema de aferição de caminhabilidade e conforto ambiental sistematizado, considerando aspectos do desenho urbano, com facilidade de replicação. Conforme visto na literatura, essa abordagem sistemática é necessária para se avaliar de fato a caminhabilidade perceptível na escala do pedestre (EVANS, 2009; RODRIGUES, 2014).

A principal contribuição desta pesquisa consiste, desta forma, na construção e replicabilidade de um Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre (ICCP). Este índice é composto por três índices parciais, relacionados a aspectos térmicos, acústicos e ergonômicos dos percursos de pedestres. A pesquisa mostra, de fato, como as interações entre caminhabilidade e conforto ambiental podem ser e espacializadas, sistematizadas e replicadas, por meio de ferramentas de visualização de ruas e o auxílio de ferramentas SIG (Sistema de Informação Geográfica).

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é apresentar a construção e aplicação do índice ICCP – Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre, criado a partir da análise de inter-relações entre caminhabilidade e conforto ambiental nos percursos de pedestres. O ICCP é resultante da combinação de índices parciais de três áreas de conforto ambiental – térmica, acústica e ergonômica.

3. MÉTODO

A pesquisa baseou-se em distintas ferramentas computacionais de simulação para aferição da caminhabilidade e conforto ambiental nos percursos de pedestres. A compatibilidade com Sistema de Informação Geográfica – SIG foi premissa na seleção de índices, indicadores e ferramentas. Além de se apresentar como fundamental para a espacialização da caminhabilidade, a ampla aplicação do SIG no campo do urbanismo e pelos mais diversos setores – públicos e privados – contribui à facilidade de disseminação das análises. Desta forma, todas as análises e métricas adotadas no trabalho tiveram por pressuposto a possibilidade de adotar dados disponíveis em SIG e de plotar os resultados em SIG.

Antes de apresentar o processo de construção dos índices, cabe ressaltar aqui o critério de seleção de indicadores. Muitos estudos em caminhabilidade denotam a dificuldade de se levantar todas as variáveis em campo, tornando a aplicação dos índices mais difícil e subjetiva (KRAMBECK, 2006). Neste sentido, ferramentas de visualização de ruas, como *Google Street View* ou *Open Street Map*, mostram-se extremamente válidas para análise de muitos aspectos da caminhabilidade, com vantagens em termos de tempo de aferição e de recursos humanos e econômicos para determinados levantamentos (CARR, et. al., 2011, ITDP, 2018b). Considerando esses aspectos, e o objetivo de se criar um índice viável e de fácil aplicação, todos os indicadores selecionados são de fácil obtenção, e dispensam visita *in loco*, podendo ser obtidos a partir de dados disponibilizados previamente pelo setor público ou a partir de visualização de ruas por meio de ferramentas *on line* gratuitas e de acesso público.

Na sequência, apresenta-se o passo-a-passo de construção do Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre – ICCP, um sistema de aferição de caminhabilidade e conforto ambiental sistematizado, com facilidade de replicação. De fato, essa abordagem sistemática é necessária para se avaliar a caminhabilidade perceptível na escala do pedestre (EVANS, 2009; RODRIGUES, 2014). Todos os resultados aqui expostos foram analisados a partir de uma malha de pontos que inclui todos os ambientes em que pode haver percursos de pedestres: calçadas, ruas, praças, canteiros, passarelas e viadutos.

3.1. Avaliação do Conforto Térmico do Pedestre

Adotou-se o método preditivo simulacional para a análise de conforto térmico do pedestre. Desta forma, o trabalho foi estruturado em quatro etapas principais: i. levantamento de dados de entrada e atualização de bases no QGIS; ii. simulação computacional em duas etapas; iv. exportação e tratamento dos dados em SIG, excel e R; e v. análise dos resultados.

O parâmetro de referência adotado para as análises foi o UTCI – *Universal Thermal Comfort Index*, nos solstícios de inverno e verão. O UTCI foi adotado por ser um indicador que pretende ser válido e aplicável em todos os climas, estações e escalas, a nível global, permitindo a replicabilidade do método (PSIKUTA et al., 2011; BRÖDE et al., 2013). As análises foram realizadas no programa *Urban Multi-Scale Environmental Predictor* (UMEP, sigla em inglês), uma ferramenta de análise climática com foco na análise de cidades, dentro da plataforma QGIS (LINDBERH et al., 2019)1210. As escalas interpretativas de sensação térmica tomaram por base a calibração do UTCI proposta por Monteiro (2018) para o município de São Paulo. Com os dados obtidos, criou-se o Índice de Conforto Térmico do Pedestre - ICTP, adimensional, que varia de 0 a 1 (Figura

1). Valores próximos a “0” indicam condições desconfortáveis e valores próximos a “1” indicam condições satisfatórias de conforto térmico. As escalas do ICTP basearam-se na calibração do UTCI realizada por Monteiro (2018) para o município de São Paulo.

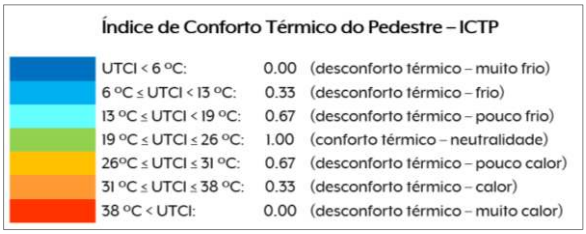


Figura 1 – Índice de Conforto Térmico do Pedestre – ICTP. Fonte: Elaboração própria.

3.2. Avaliação do Conforto Acústico do Pedestre

O método preditivo simulacional também foi adotado para a aferição do conforto acústico, com a elaboração de mapas sonoros de predição acústica os casos de estudo, por meio do *software* CadnaA (*Computer Aided Noise Abatement*). O CadnaA é um programa de simulação computacional voltado ao cálculo, apresentação, avaliação e predição do ruído ambiental (DATAKUSTIK.COM, 2022), destinado, entre outras funções, a avaliar cidades e áreas urbanizadas. Apresenta interface com plataformas em SIG, permitindo a integração dos dados obtidos com as demais análises realizadas. De forma análoga à avaliação térmica, esta etapa do trabalho percorreu cinco etapas principais: i. levantamento e atualização de bases no QGIS; ii. levantamento de dados de entrada para a simulação; iii. construção do modelo e simulação computacional; iv. exportação e tratamento dos dados em SIG; e v. análise dos resultados.

Como parâmetro de referência, adotou-se o indicador LAeq (Nível de pressão sonora Contínuo Equivalente Ponderada em A), descritor sonoro amplamente empregado em mapas sonoros (LIMA e CARVALHO, 2010; HIRASHIMA, 2014). Neste contexto, a OMS estabelece, para fins de saúde e conforto, o limite de 55dB no meio urbano (OMS, 1999). Por outro lado, estudos apontam que o limite máximo aceitável de LAeq é 80dB, a fim de evitar danos mais graves à saúde (OMS, 1999; Zajarkiewicch, 2010). Com base nesses valores limítrofes, criou-se o ICAP – Índice de Conforto Acústico do Pedestre, subdividido em sete escalas (Figura 2). As simulações realizadas consideraram o ruído de tráfego rodoviário e ferroviário no meio urbano, por serem considerados a principal fonte de poluição sonora dos meios urbanos (OMS, 1999). Avaliou-se, nesta primeira aplicação do índice, o período diurno, por ser o período do dia em que há maior volume de pedestres circulando no meio urbano.

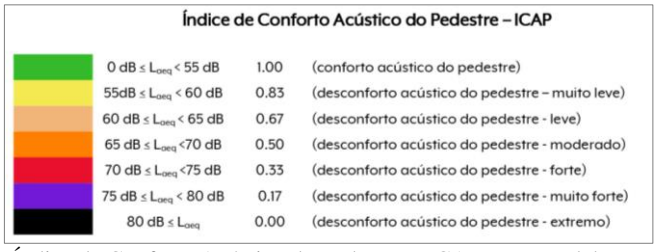


Figura 2 – Índice de Conforto Acústico do Pedestre – ICAP. Fonte: Elaboração própria.

3.3. Avaliação do Conforto Ergonômico do Pedestre

O conforto ergonômico é aquele que mais abarca as questões de desenho urbano, sendo, portanto, o mais complexo e o mais crucial na caminhabilidade de um local (APPOLLONI et al., 2020). Os critérios prevalentes nesta esfera de análise são relacionados à segurança viária, qualidade da calçada e sua infraestrutura, segurança pública, atratividade e diversidade e, por fim, mobilidade e acessibilidade (SATO, 2021; APPOLLONI et al., 2020; DUNCAN et al., 2005).

Diante desta complexidade - diferentemente dos índices ICTP e ICAP previamente expostos - o Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre (ICEP) não partiu de um único indicador: foi composto por dezessete indicadores, organizados nestas cinco categorias (Figuras 3 a 7). Sucintamente, tem-se:

- Categoria 1 – Segurança Viária: ênfase em aspectos relacionados à circulação segura de pedestres, com a finalidade de prevenir e reduzir o risco de acidentes;

- Categoria 2 – Segurança Pública: análise de elementos que contribuem à garantia da proteção aos direitos individuais de cada cidadão, de modo que possam exercer seu direito de cidadania em segurança, como trabalhar, conviver em sociedade e se divertir;
- Categoria 3 – Qualidade do Percurso: avaliação da presença de elementos físicos mínimos que garantem o bem-estar e acessibilidade física dos pedestres nos seus trajetos;
- Categoria 4 – Atratividade e Diversidade: análise de atributos que influenciam na capacidade, de um determinado local, em atrair pedestres;
- Categoria 5 – Mobilidade e Acessibilidade: aferição de aspectos da região que potencializam ou facilitam a chegada a um destino específico.

Como mencionado previamente, a seleção dos indicadores foi pautada na prevalência na literatura, aplicabilidade na mesoescala e microescala, possibilidade de análise por ferramentas de visualização de vias *on line* – como *Google Street View* ou *Open Street Maps*, a compatibilidade com a análise em SIG, e, por fim, o seu potencial de replicabilidade. Vale ressaltar, ainda, que os indicadores combinam não apenas aspectos físicos – como a largura de calçadas, presença de iluminação etc. – mas também atributos que podem afetar o comportamento do pedestre, como, por exemplo, a presença de fachadas ativas, permeabilidade visual do percurso, índice de crimes na região, dentre outros.

CATEGORIA	INDICADOR	CRITÉRIO	ZONA DE APLICAÇÃO			PONTUAÇÃO	OPERACIONALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
			segmento de rua	via completa	zona OD		
1. SEGURANÇA VIÁRIA	1.1. Tipologia da Via	segmento de rua com trânsito de veículos	x			0	Análise da via segundo a classificação viária da CET e visualização do segmento de rua no Google Street View.
		segmento de rua destinado esxclusivamente a pedestres e ciclistas, ou via compartilhada				1	
	1.2. Velocidade da via	velocidade máxima maior que 40km/h no segmento de rua	x			0	Análise da via segundo a classificação viária da CET somado à superposição dos perímetros de zonas 30 e 40 do município no QGIS.
		velocidade máxima menor ou igual a 40 km/h no segmento de rua				1	
	1.3. Presença de faixa de pedestre	ausência de faixa de pedestre no segmento de rua	x			0	Visualização do segmento de rua no *Google Street View.*
		presença de uma ou mais faixas de pedestre no segmento de rua				1	
	1.4. Índice de acidentes	presença de atropelamentos registrados no segmento de rua ou na via	x	x		0	Análise da camada "Sistema Viário - Acidentes" disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa. Filtragem dos acidentes, identificando todos os atropelamentos (fatais e não fatais). Sobreposição da camada à região analisada no QGIS.
		ausência de atropelamentos registrados no segmento de rua ou na via				1	

Figura 3 – Síntese com os indicadores analisados na Categoria 1 – Segurança Viária. Fonte: Elaboração própria.

CATEGORIA	INDICADOR	CRITÉRIO	ZONA DE APLICAÇÃO			PONTUAÇÃO	OPERACIONALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
			segmento de rua	via completa	zona OD		
2. SEGURANÇA PÚBLICA	2.1. Presença de postes de iluminação	ausência de postes de iluminação pública no segmento de rua	x			0	Análise da camada "Infraestrutura Urbana - Iluminação Pública" disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa. Sobreposição da camada à região analisada no QGIS. (nas regiões em que o arquivo indicava ausência de iluminação, procedeu-se à confirmação do dado via Google Street View)
		presença de postes de iluminação pública no segmento de rua				1	
	2.2. Número de inquéritos policiais (em decis)	0 a 10			x	0	Análise do Número Total de Ocorrências Policiais Instauradas por Delegacia Policial (DP) (dados de 2020). Classificação dos resultados por meio de Z scores. Intersecção espacial dos resultados, a partir do cruzamento da zona de abrangência de cada DP com as zonas OD do município.
		10 a 20				0.11	
		20 a 30				0.22	
		30 a 40				0.33	
		40 a 50				0.44	
		50 a 60				0.55	
		60 a 70				0.66	
		70 a 80				0.77	
		80 a 90				0.88	
		90 a 100				1	

Figura 4 – Síntese com os indicadores analisados na Categoria 2 – Segurança Pública. Fonte: Elaboração própria.

CATEGORIA	INDICADOR	CRITÉRIO	ZONA DE APLICAÇÃO			PONTUAÇÃO	OPERACIONALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
			segmento de rua	via completa	zona OD		
3. QUALIDADE DO PERCURSO	3.1. Presença de calçada	ausência de calçadas no segmento de rua	x			0	Análise da camada "Sistema Viário - Calçadas" disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa. Sobreposição da camada à região analisada no QGIS.(nas regiões em que o arquivo indicava ausência de calçada, procedeu-se à confirmação do dado via Google Street View)
		presença de calçada em ao menos um dos lados do segmento de rua				1	
	3.2. Continuidade da calçada	presença de descontinuidade em algum trecho do segmento de rua (obstruções, degraus, ou interrupções)	x			0	Visualização da via no Google Street View.
		presença de continuidade em ambos os lados do segmento de rua (sem obstruções, degraus, interrupções)				1	
	3.3. Largura da calçada	segmento de rua com largura de calçada mínima inferior ao mínimo necessário de acordo ao zoneamento local, em ambos os lados	x			0	Análise da largura mínima da calçada na camada "Sistema Viário - Calçadas" disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa. Dimensionamento conforme NBR9050:2020, considerando os distintos fatores de impedância (de acordo ao zoneamento da quadra fiscal em que se encontra o segmento de rua).
		segmento de rua com largura mínima igual ou maior ao mínimo necessário de acordo ao zoneamento local, em ao menos um dos lados				1	
	3.4. Declividade da calçada	segmento de rua com declividade máxima superior a 8,33 %	x			0	Análise da declividade máxima das calçadas na camada "Sistema Viário - Calçadas" disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa.
		segmento de rua com declividade máxima igual ou inferior a 8,33 %				1	
	3.5. Presença de arborização	presença de arborização em menos de 50% do segmento de rua	x			0	Visualização da via no Google Street View (metros lineares de copa de árvores/metros lineares de segmento de rua)
		presença de arborização em menos de 50% do segmento de rua ou ausência de arborização				1	

Figura 5 – Síntese com os indicadores analisados na Categoria 3 – Qualidade do Percurso. Fonte: Elaboração própria.

CATEGORIA	INDICADOR	CRITÉRIO	ZONA DE APLICAÇÃO			PONTUAÇÃO	OPERACIONALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
			segmento de rua	via completa	zona OD		
4. ATRATIVIDADE E DIVERSIDADE	4.1. Presença de fachada ativa	presença de fachada ativa em menos de 50% do segmento de rua	x			0	Visualização da via no Google Street View (metros lineares de fachada ativa/metros lineares de segmento de rua)
		presença de fachada ativa em mais de 50% do segmento de rua				1	
	4.2. Presença de Pontos de interesse (educação, saúde, culturais, institucionais)	ausência de pontos de interesse no segmento de rua	x			0	Análise dos pontos de interesse disponibilizados em shapefile pela plataforma Geosampa. Sobreposição das camadas à região analisada no QGIS.
		presença de ao menos um ponto de interesse no segmento de rua				1	
	4.3. Permeabilidade visual das fachadas adjacentes	presença de fachada permeável visualmente em mais de 50% do segmento de rua	x			0	Visualização da via no Google Street View (metros lineares de fachada permeável visualmente/metros lineares de segmento de rua)
		presença de fachada permeável visualmente em mais de 50% do segmento de rua				1	

Figura 6 – Síntese com os indicadores analisados na Categoria 4 – Atratividade e Diversidade. Fonte: Elaboração própria.

CATEGORIA	INDICADOR	CRITÉRIO	ZONA DE APLICAÇÃO			PONTUAÇÃO	OPERACIONALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
			segmento de rua	via completa	zona OD		
5. MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE	5.1. Presença de infraestrutura cicloviária	ausência de ciclovia no segmento de rua	x			0	Análise da rede cicloviária disponibilizada em shapefile pela plataforma Geosampa.
		presença de ciclovia no segmento de rua				1	
	5.2. Acesso a transporte coletivo de média e alta capacidade (15 min a pé)	distância ao ponto de ônibus ou estação de metrô ou trem superior a 1km	x			0	Análise dos pontos de ônibus e estações de metrô e trem disponibilizados em shapefile pela plataforma Geosampa. Sobreposição das camadas à região analisada no QGIS.
		distância ao ponto de ônibus ou estação de metrô ou trem igual ou inferior a 1km				1	
	5.3. Tamanho das quadras adjacentes	segmento de rua adjacente a quadra com mais de 200 metros de extensão	x			0	Análise do tamanho das quadras no QGIS.
		segmento de rua adjacente a quadra com mais de 200 metros de extensão				1	

Figura 7 – Síntese com os indicadores analisados na Categoria 5 – Mobilidade e Acessibilidade. Fonte: Elaboração própria.

A partir da operacionalização proposta, procedeu-se à análise espacial de cada indicador, por separado, no QGIS. Na sequência, calculou-se a média dos indicadores dentro de cada categoria, e, por fim, realizou-se o cálculo das médias de cada categoria, culminando, assim, no índice ICEP – Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre (Equação 1). Da mesma forma que os índices expostos previamente, o ICEP é um índice adimensional, que varia de 0 a 1, subdivido em sete escalas (Figura 8).

$$ICEP = ((CAT1 + CAT2 + CAT3 + CAT4 + CAT5))/5 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
ICEP é o Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre [adimensional];
CAT1 é a média da pontuação dos indicadores da Categoria 1 – Segurança Viária;
CAT2 é a média da pontuação dos indicadores da Categoria 2 – Segurança Pública;
CAT3 é a média da pontuação dos indicadores da Categoria 3 – Qualidade do Percurso;
CAT4 é a média da pontuação dos indicadores da Categoria 4 – Atratividade e Diversidade;
CAT5 é a média da pontuação dos indicadores da Categoria 5 – Mobilidade e Acessibilidade;

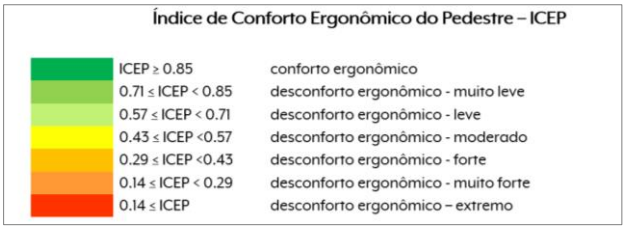


Figura 8 – Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre – ICEP. Fonte: Elaboração própria.

3.4. Avaliação do Conforto na Caminhabilidade do Pedestre

Após analisar estas três dimensões do conforto ambiental nos percursos de pedestres – térmica, acústica e ergonômica, procedeu-se ao cálculo do ICCP – Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre.

Dentre os aspectos de conforto ambiental avaliados, verificou-se que há sobreposição entre indicadores de conforto ergonômico e indicadores tradicionais de caminhabilidade. Atribuiu-se, portanto, qualitativamente, um maior peso à avaliação ergonômica. Desta forma, o índice ICCP proposto é regido pela seguinte equação (Equação 2).

Para cada região analisada, é necessário, portanto, calcular os três índices parciais para obtenção do ICCP. O ICCP resulta em um índice adimensional, classificado em sete níveis, como os demais índices (Figura 9). Em todas as análises – parciais e totais - os resultados foram espacializados em uma malha de pontos previamente elaborada para as zonas analisadas.

$$ICCP = (ICTP + ICAP + 2\ X\ ICEP)/4$$ Equação 2

Onde:
ICCP é o Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre;
ICTP é o Índice de Conforto Térmico do Pedestre;
ICAP é o Índice de Conforto Acústico do Pedestre;
ICEP é o Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre.

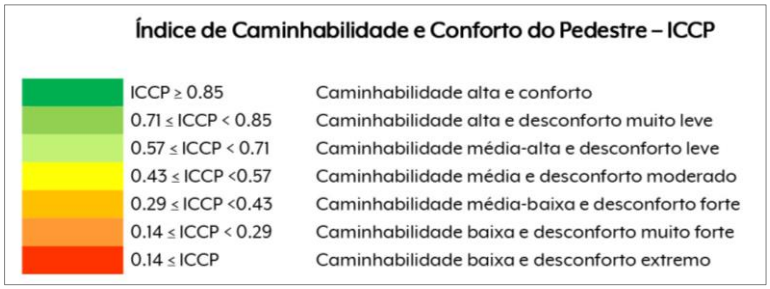


Figura 9 – Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre – ICCP. Fonte: Elaboração própria.

4. Aplicação do ICCP: o caso da Zona OD Barra Funda

Para elucidar a aplicação do índice proposto, expõe-se neste artigo os resultados obtidos em um dos casos de estudo analisados, a zona OD Barra Funda, localizada no município de São Paulo.

4.1. Aplicação do Índice de Conforto Térmico do Pedestre - ICTP

Para a análise do ICTP, simulou-se o solstício de verão (21 de dezembro). A figura 10 apresenta a variação do UTCI ao longo do dia. A primeira observação com relação aos resultados obtidos é a constatação de que o UTCI se encontra fora da faixa de conforto na maior parte do dia. Isso se observa em toda a zona, no intervalo entre 8h00 e 18h00, principal período em que há pedestres circulando no meio urbano. No horário crítico (15 horas), o UTCI médio chega ao patamar de 37ºC (Figuras 10 e 11). Parte destes resultados é explicada pela baixa presença de vegetação na região e alto índice de impermeabilização dos percursos de pedestres.

A zona OD Barra Funda apresentou 35% da malha analisada em zonas de calor e 65% em zonas de muito calor.

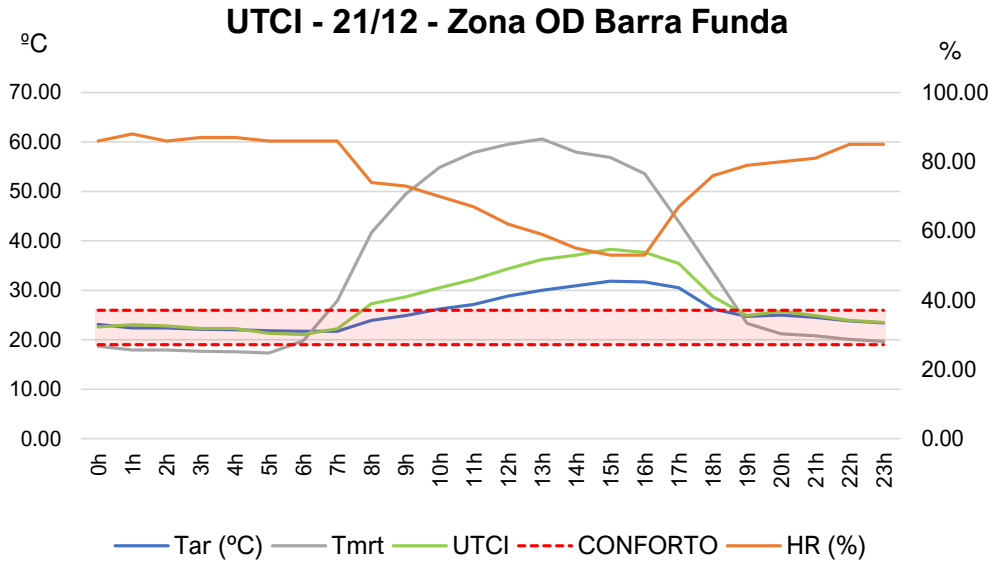


Figura 10 – UTCI diário, Zona OD Barra Funda, solstício de verão. Fonte: Elaboração Própria.



Figura 11 – ICTP – Zona OD Barra Funda, solstício de verão, 15h. Fonte: Elaboração Própria.

4.2. Aplicação do Índice de Conforto Acústico do Pedestre - ICAP

No caso da zona OD Barra Funda, não se encontraram zonas destinadas a percursos de pedestres com valores de Laeq dentro da faixa de conforto (Figura 12). É notável o impacto dos grandes eixos de circulação de veículos no conforto acústico do pedestre. Há extensas áreas com níveis que excedem 80 dB, principalmente junto à VTR (marginal Tietê) e à linha férrea.

Em suma, verifica-se que quase 70% da área tem ruído acima de 70dB, indicando que o pedestre, nesta região, sente intenso desconforto acústico. Desta forma, recomenda-se que a zona OD Barra Funda seja palco de intervenções que possibilitem a permanência do pedestre. Caso contrário, a exposição prolongada do pedestre a esta situação urbana pode trazer consequências à sua saúde.

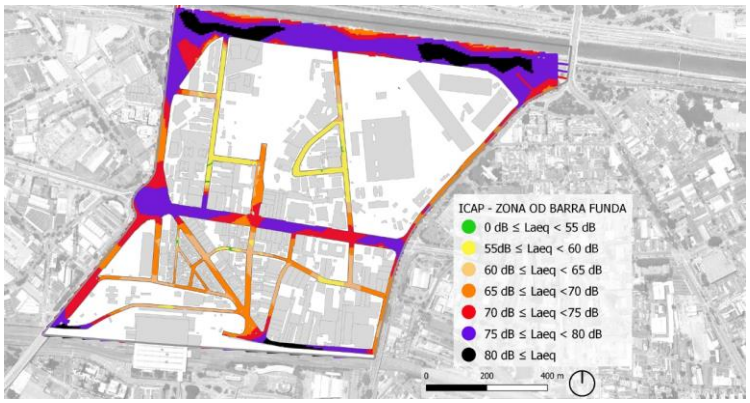


Figura 12 – ICAP – Zona OD Barra Funda, período diurno. Fonte: Elaboração Própria.

4.3. Aplicação do Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre - ICEP

A aplicação do índice ICEP na Zona OD Barra Funda aponta as principais deficiências da região, do ponto de vista ergonômico, e, consequentemente, as oportunidades para revitalização da área com foco no pedestre. De um modo geral, observa-se que a atratividade e diversidade e a segurança pública são itens críticos, sendo fatores cruciais a serem desenvolvidos para melhoria da caminhabilidade da região (Figuras 13 e 14).



Figura 13 (à esquerda) – ICEP – Zona OD Barra Funda. Fonte: Elaboração Própria.

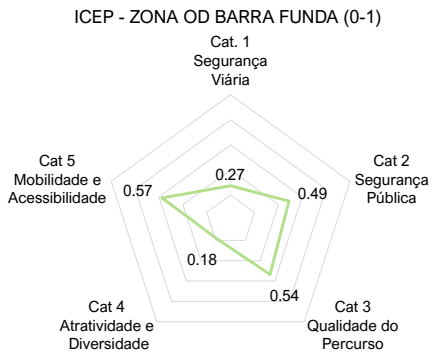


Figura 14 (à direita) – Desempenho do índice ICEP nas cinco categorias avaliadas. Fonte: Elaboração Própria.

CATEGORIA	INDICADOR	PONTUAÇÃO INDICADOR	PONTUAÇÃO CATEGORIA	ICEP
1. SEGURANÇA VIÁRIA	1.1. Tipologia da via	0.000	0.276	0.41
	1.2. Velocidade da via	0.380		
	1.3. Presença de faixa de pedestre	0.546		
	1.4. Índice de acidentes	0.179		
2. SEGURANÇA PÚBLICA	2.1. Presença de postes de iluminação	0.987	0.493	
	2.2. Número de inquéritos policiais (em decis)	0.000		
3. QUALIDADE DO PERCURSO	3.1. Presença de calçada	0.791	0.540	
	3.2. Continuidade da calçada	0.332		
	3.3. Largura da calçada	0.450		
	3.4. Declividade da calçada	0.786		
	3.5. Presença de arborização	0.339		
4. ATRATIVIDADE E DIVERSIDADE	4.1. Presença de fachada ativa	0.046	0.186	
	4.2. Presença de Pontos de interesse	0.041		
	4.3. Permeabilidade visual das fachadas adjacentes	0.470		
5. MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE	5.1. Presença de infraestrutura cicloviária	0.228	0.579	
	5.2. Acesso a transporte coletivo de média e alta capacidade (15 min a pé)	1.000		
	5.3. Tamanho das quadras adjacentes	0.508		

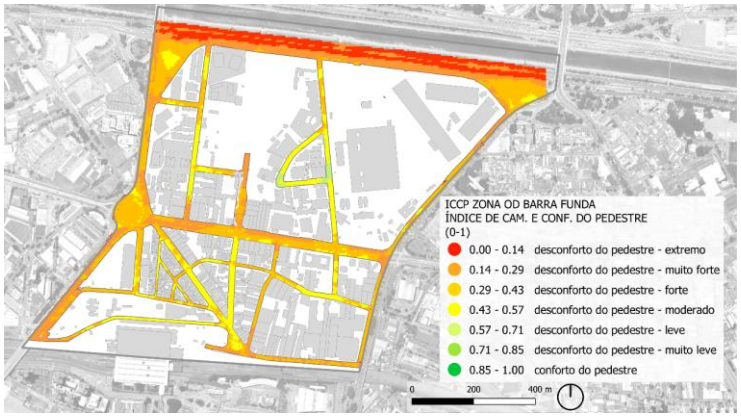
Figura 15 – ICEP – Zona OD Barra Funda, avaliação geral. Fonte: Elaboração Própria.

Adicionalmente, observa-se que há poucas fachadas ativas na zona, bem como poucos pontos de interesse na região. Por fim, nota-se que não possui nenhuma via destinada ao trânsito exclusivo de pedestres. Verifica-se, ainda, que a região carece de calçadas e percursos de pedestres dotados de continuidade (Figura 15).

4.4. Aplicação do Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre – ICCP

Após os cálculos dos índices parciais de conforto térmico, acústico e ergonômico, procedeu-se ao cálculo do ICCP – Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre para o solstício de verão. Nota-se que o índice permite a aplicação da caminhabilidade desde uma perspectiva dinâmica, permitindo compreender as variações que ocorrem nos percursos de pedestres ao longo dia e das estações do ano (Figuras 16 e 17).

No caso analisado, é notável o impacto negativo que os grandes eixos de circulação de veículos têm no resultado do índice. De fato, as vias arteriais contemplam diversos requisitos hostis ao pedestre: são ruidosas, impermeabilizadas, menos seguras, e, muitas vezes, desprovidas de vegetação.



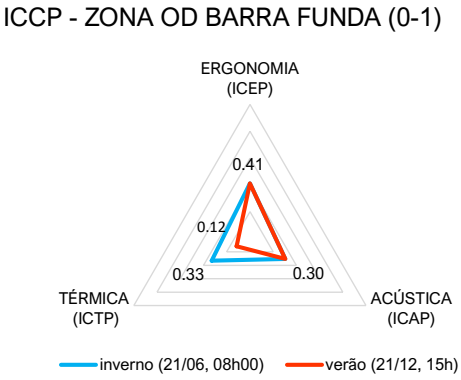


Figura 16 (à esquerda) – ICCP – Zona OD Barra Funda (21/12, 15hrs). Fonte: Elaboração Própria.
Figura 17 (à direita) – Desempenho do índice ICCP sob a ótica dos índices parciais. Fonte: Elaboração Própria.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que o ICCP se apresenta como ferramenta útil e eficaz para avaliar em maior detalhe as configurações da caminhabilidade na paisagem da rua, abarcando, aspectos de conforto ambiental. O índice configura-se como um sistema de aferição sistematizado e replicável, e de fácil implementação, e que dispensa visitas *in loco.* Além de um diagnóstico local com relação aos aspectos avaliados, as análises apontaram deficiências e possibilidades de intervenções de curto e longo prazos na região analisada. Assim, permite também a realização de diagnósticos prévios e comparativos, que podem conduzir à seleção de prioridades de intervenções no meio urbano e ações posteriores mais detalhadas. A construção e aplicação do ICCP evidenciam, ainda, que repensar a caminhabilidade com conforto ambiental no meio urbano requerem uma abordagem integrada de todo o sistema de mobilidade e de infraestrutura urbana das cidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLEY, S.; TURNER, S. **Predicting Walkability**. Wellington: NZ Transport Agency, 2011.

ALBALA, P. L. R; Percursos de Pedestres: caminhabilidade, conforto ambiental e planejamento estratégico. Tese (Doutorado), 250f: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

AL SHAMMAS, T.; ESCOBAR, F. Comfort and Time-Based Walkability Index Design: A GIS-Based Proposal. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 16, n. 2850, pp. 1-22, 2019.

APPOLLONI et al. Walkable Urban Environments: An Ergonomic Approach of Evaluation. **Sustainability**. v. 12, n. 20, p. 8347, 2020.

BRÖDE, P. et al., The Universal Thermal Climate Index UTCI Compared to Ergonomics Standards for Assessing the Thermal Environment. **Industrial Health,** v. 51, n. 1, p. 16-24, 2013.

CAMBRA, P. **Pedestrian Accessibility and Attractiveness Indicators for Walkability Assessment.** Dissertação (Mestrado em Urbanismo e Ordenamento do Território), Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa, 2012.

CARR, L.J., et al. Validation of Walk Score for estimating access to walkable amenities. **British Journal of Sports Medicine,** v. 45, n. 4, p.1144–1148, 2011.

CARVALHO, I. **Caminhabilidade como instrumento de mobilidade urbana: um estudo de caso em Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em geotecnia e Transportes), UFMG, 2018.

DUNCAN et al. Perceived environment and physical activity: a meta-analysis of selected environmental characteristics. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, v. 2, n. 11, 2005.

EVANS, G. Accessibility, Urban Design and the Whole Journey Environment. **Built Environment**, v. 35, n. 3, p. 366-385, 2009.

HIRASHIMA, S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte – MG, Brasil**. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), 246 f., FAUUSP, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2014.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY (ITDP). I**ndice de Caminhabilidade**. 2ed. Rio de Janeiro: ITDP, 2018a.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY (ITDP). **Pedestrians First, Tools for a Walkable City.** 1 ed., New York: ITDP, 2018b

KRAMBECK, H.V. **The Global Walkability Index.** Dissertação (Mestrado em Cidade e Transporte) – Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2006.

LINDBERG et al., Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. **Environmental Modelling & Software**, v. 99, n. 1, p. 70-87, 2019.

MONTEIRO, L. **Conforto térmico em espaços urbanos abertos: verificações modelares como aportes à exploração de abordagens**. Tese (Livre Docência). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Guidelines for Community Noise**. 1999. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2020.

PIRES, I. **Índice para Avaliação da Caminhabilidade no Entorno de Estações de Transporte Público**. Dissertação (Mestrado) UNESP, Bauru, 2018.

PSIKUTA, A., et al., Validation of the Fiala multi-node thermophysiological model for UTCI application. **International Journal of Biometeorology**. v. 56, n. 3, p. 443-60, 2011.

RODRIGUES, A. R. et. al. Indicadores do desenho urbano e sua relação com a propensão a caminhada. **Journal of Transport Literature**, v. 8, n. 3, p. 62-88, 2014.

STEEMERS, K.; e STEANE, M.A. (Eds.) ***Environmental Diversity in Architecture.*** Londres e Nova Iorque: Spoon Press, 2004.

ZAJARKIEWICCH, D., Poluição sonora urbana: principais fontes. Aspectos jurídicos e técnicos. Dissertação (Mestrado Em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa produtividade em pesquisa concedida a Roberta C. Kronka Mülfarth (309739/2022-5).