

ÍNDICE GLOBAL DE MOBILIDADE URBANA

Carlos Eduardo N. de Castro

Débora de P. Guerreiro

José Teixeira de A. Neto Santos

Instituto de Pesquisa em Transporte – INTRA

Nelson Kuwahara

Universidade Federal do Amazonas

Orlando F. Lima Junior

Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes – LALT

Waltair V. Machado

Universidade Federal do Amazonas

RESUMO

O objetivo do presente artigo é a elaboração do Índice Global de Mobilidade Urbana (IGMU), utilizando-se do método de apoio à tomada de decisão PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*). Constatou-se nos trabalhos sobre indicadores de mobilidade Urbana uma abordagem muito específica ou com um volume de variáveis difícil de orientar a tomada de decisão. Propõe-se assim a criação do IGMU, que é o indicador global para hierarquizar cenários de mobilidade urbana de diferentes cidades através de um conjunto *k-dimensional* de através de um índice que varia de -1 a 1 e expressa o desempenho da mobilidade urbana. Na aplicação IGMU em 9 cidades, observou-se que 22,2% das cidades obtiveram resultado “bom”, 44,4% “regular” e 33,4% “ruim”. Conclui-se que as desigualdades observadas entre as cidades brasileiras alertam para a necessidade de ferramentas que auxiliem na reconstrução da realidade da mobilidade urbana e que o IGMU pode contribuir.

ABSTRACT

The purpose of this article is the development of the Global Urban Mobility Index (IGMU), using the method of support for decision-PROMETHEE II decision (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*). It can be seen in the work on Urban mobility indicators a very specific approach or with a volume of difficult variables to guide decision-making. It is therefore proposed the creation of IGMU, which is the global indicator to prioritize urban mobility scenarios from different cities through a set of *k-dimensional* through an index ranging from -1 to 1 and expresses the performance of urban mobility. In IGMU application for nine cities, it observed that 22.2% of cities have had results "good," 44.4% "regular" and 33.4% "bad." We conclude that the inequalities observed among Brazilian cities warn of the need for tools to assist in the reconstruction of the reality of urban mobility and the IGMU can contribute.

1.INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objetivo elaborar o Índice Global de Mobilidade Urbana (IGMU) utilizando o método de apoio à tomada de decisão PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), que será aplicado na avaliação de desempenho da mobilidade urbana das principais metrópoles brasileiras.

O incentivo ao transporte individual da década de 1950 mudou o perfil da mobilidade urbana no Brasil (IPEA, 2011), resultando em problemas que hoje podem ser sintetizados em três grandes fatores: engarrafamento do trânsito, baixa aderência ao uso de transporte público e baixa qualidade das vias urbanas (TCU, 2010). Dessa forma, faz-se necessário utilizar metodologias e recursos tecnológicos voltados à mobilidade urbana (Scaringella, 2001). Costa *et al.* (2007), Felipe e Macário (2011) e Azevedo Filho e Silva (2013) afirmam que um recurso útil para mensurar a qualidade da mobilidade urbana são os indicadores e os índices.

Índices relacionados à mobilidade urbana são um grande desafio para o Brasil, uma vez que estes são precários, ou mesmo inexistentes (TCU, 2010; IPEA, 2011). Nesse sentido, alguns autores propuseram indicadores e índices (Campos e Ramos, 2005; Frei, 2006; Costa *et al.*,

2007; Magagnin e Silva, 2008; Silva, 2010; Peterson *et al.*, 2014; Moeinaddini *et al.*, 2015) a fim de suprir essa deficiência no planejamento urbano.

Porém, a maioria dos trabalhos tem uma abordagem muito específica e pouco abrangente, não representando a mobilidade urbana de maneira ampla. Já os que propõem uma abordagem macro contam com um grande número de variáveis. Dessa forma, propôs-se a criação do IGMU a fim de avaliar a mobilidade urbana em sua mais ampla dimensão.

O IGMU é um *score* global concebido para um cenário de mobilidade urbana através de uma análise que integra a distribuição espacial, o aspecto social, o econômico e o operacional. O objetivo do IGMU é fornecer, de acordo com o conjunto de critérios, uma pontuação que expresse o desempenho da mobilidade urbana para um conjunto de cidades. O conjunto de alternativas (cidades) escolhidas para serem avaliadas por intermédio do índice levou em conta a importância econômica e histórica de cada uma delas. Num total de nove cidades das principais regiões metropolitanas brasileiras.

A principal contribuição do IGMU para o estado da arte da mobilidade urbana é a possibilidade de avaliar a mobilidade urbana do ponto de vista macro, sem a necessidade de dados de difícil levantamento, nem cálculos demasiado complexos. Podendo ser aplicado periodicamente a fim de analisar o desenvolvimento da mobilidade urbana das cidades umas em relação às outras, bem como para avaliar, através da análise de sensibilidade, em que aspectos cada cidade evoluiu ou regrediu.

Este artigo está organizado em oito seções. A primeira é a presente introdução. A segunda, terceira e quarta compõem a revisão da literatura. A quinta e sexta descrevem a metodologia. A sétima apresenta os resultados. Por fim, a oitava traz a conclusão.

2. MOBILIDADE URBANA NO BRASIL

Os primeiros impactos na mobilidade urbana brasileira surgem a partir da década de 1950 quando o intenso processo de urbanização se associa ao aumento do uso de veículos motorizados, o que foi resultado de uma política de Estado que priorizara o investimento na indústria automobilística. Esta política fez com que o sistema viário das cidades se tornasse cada vez mais ineficiente por não acompanhar a taxa de crescimento dos carros, o que comprometeu a mobilidade urbana (IPEA, 2011).

Essas mudanças no perfil da mobilidade propagaram seus efeitos para os anos subsequentes, e isso pode ser observado no aumento do uso de automóveis nas áreas metropolitanas, que passou de 32% em 1977, para 49% em 2005. Já o uso do transporte público diminuiu de 68% para 51% para o mesmo período (IPEA, 2011).

Para o cenário atual, num primeiro instante, para um período de dez anos (2003 – 2013) houve progresso no uso do transporte coletivo e do não-motorizado, representado por um aumento de 26,3% para ambos (ANTP, 2015). Esse resultado, no entanto, não é tão representativo em termos reais se for considerado que a população cresceu 15,5 % nesse período (IBGE, 2004, 2014). Além disso, o número de viagens realizadas por transporte individual cresceu 38,7%, mais que o dobro do crescimento populacional para esse intervalo de tempo (ANTP, 2015).

Devida a essa situação, o Governo apresentou recentemente a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012) para tentar suplantando o modelo ultrapassado de planejamento de transportes e infraestrutura viária apenas em função do crescimento do número de viagens, uma vez que, com a configuração atual e as novas características do espaço urbano, este modelo não mais se aplica (Scaringella, 2001; Santos e Freitas, 2014), e insistir nele poderá agravar os problemas já existentes na mobilidade urbana do país.

Os problemas centrais da mobilidade urbana no Brasil podem ser sintetizados em três fatores principais: engarrafamento do trânsito, baixa aderência ao uso de transporte público e baixa qualidade das vias urbanas (TCU, 2010). Tem-se assim que os principais desafios para o país são: transformar o transporte público em serviço essencial, inverter prioridades de uso do solo e escolha de modal, ampliar o processo de educação no trânsito e garantir segurança aos usuários historicamente mais vulneráveis – pedestres e ciclistas (IPEA, 2011).

Outro grande desafio é a obtenção de informações técnicas de qualidade da mobilidade urbana (IPEA, 2011). Dados e indicadores concernentes às condições da mobilidade nas principais aglomerações urbanas não existem ou são precários (TCU, 2010). É necessário se utilizar de metodologias e recursos tecnológicos voltados à mobilidade urbana, dispondo de dados e informações consistentes, pois só com o conhecimento adequado da realidade será possível transformá-la (Scaringella, 2001).

3. INDICADORES

Para que se proponham intervenções é necessário identificar onde estão os postos-chave da problemática e determinar como será feita essa identificação. No que tange a essa questão, segundo Costa *et al.* (2007), Felipe e Macário (2011) e Azevedo Filho e Silva (2013), os indicadores trazem consigo a capacidade de avaliar a mobilidade urbana de maneira mais prática, devida a sua facilidade de análise e capacidade sintética.

Os indicadores são elementos de informação que sintetizam as características de um sistema ou destacam o que nele está ocorrendo (Saisana e Tarantola, 2002). São variáveis selecionadas e definidas para mensurar o progresso em direção a um objetivo (Litman, 2009). Um indicador pode apontar a direção das mudanças que ocorreram através do tempo entre as diferentes unidades de um sistema (OECD, 2008).

Um único indicador, no entanto, não é capaz de medir conceitos multidimensionais como competitividade, industrialização, sustentabilidade, integração de mercado, dentre outros, por exemplo (OECD, 2008). Surge então a necessidade de um indicador composto – ou índice, que é a combinação (ou agregação) matemática de um conjunto de indicadores que não possui unidade de medida comum, nem forma óbvia através da qual esses subindicadores possam ser mensurados (Saisana e Tarantola, 2002).

A obtenção de informações técnicas sobre mobilidade urbana é desafiadora para o Brasil, dada a escassez de dados e indicadores (TCU, 2010; IPEA, 2011), isso somado às heranças da década de 1950 – engarrafamento, baixa aderência do transporte público e má qualidade das vias urbanas – faz necessária a utilização de metodologias e recursos tecnológicos voltadas à mobilidade urbana (Scaringella, 2001; TCU, 2010). Nesse sentido, alguns trabalhos já foram desenvolvidos no Brasil, e em outros países, a fim de suprir a demanda por ferramentas de análise e apoio à tomada decisão.

Peterson *et al.* (2014) analisam a mobilidade residencial de um grupo específico das regiões metropolitanas do Canadá: os idosos. O índice proposto pelos autores, o *Urban Core Index*, se sobressai por avaliar como ocorreram os deslocamentos desse grupo ao longo dos anos e estimar as tendências desse deslocamento. No entanto, baseiam-se apenas em três variáveis, o que torna a análise específica.

Frei (2006) criou o Índice de Mobilidade Amostral (IMA) para avaliar a cidade de Assis (SP), os indicadores selecionados para compor o índice – calçadas, caminhos de passeio, semáforo para pedestre, ciclovias, dentre outros – representam bem o pedestre e os usuários do transporte não-motorizado, mas tece uma análise em nível micro e não representa a mobilidade urbana em toda sua amplitude.

Já o IMUS (Índice de Mobilidade Urbana Sustentável) de Costa *et al.* (2007) tem como vantagem a capacidade de atender os níveis macro e micro, porém, conta com um número de variáveis que nem sempre são possíveis de serem levantadas, como mostram Oliveira e Silva (2015), que sugerem que o método de cálculo do índice talvez precise ser revisto, seja pela quantidade de indicadores, que pode ser excessiva, seja pela complexidade de alguns cálculos.

Silva (2010) elaborou o Índice de Mobilidade Urbana do Plano Diretor (IMUPD) que tem como diferencial a capacidade de avaliar a eficácia das medidas contidas nos planos diretores, por outro lado, o índice não oferece a possibilidade analisar a efetividade dessas medidas ao longo do tempo.

Magagnin e Silva (2008) propõem um Sistema de Indicadores de Mobilidade Urbana que, por um lado, destaca-se por ser baseado na percepção de especialistas, mas, por outro, tem como limitação uma amostra pouco representativa, que só atende às características da cidade estudada, além de não proporem uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Moeinaddini *et al.* (2015) também propôs um índice que analisa a problemática do ponto de vista macro, através de variáveis comuns a todas as cidades. A versatilidade do índice dá ao autor a possibilidade de analisar e comparar a mobilidade urbana de cidades como Chicago (EUA) e Hong Kong (CHN). Porém, a definição das variáveis propostas não perpassa pela apreciação de um grupo de especialistas no tema.

A maior parte dos trabalhos analisados apresenta uma abordagem específica da mobilidade urbana, não a representando de maneira mais ampla. Os autores que propõem uma abordagem macro apresentam um grande número de variáveis e cálculos complexos, ou não perpassam a definição dos critérios pela apreciação de especialistas. Dessa forma, propôs-se a criação do IGMU a fim de avaliar a mobilidade urbana em sua mais ampla dimensão, o que torna a análise específica.

4. MULTICRITÉRIO

A Análise de Decisão Multicritério (ADM) consiste na composição de um conjunto de técnicas que têm a finalidade de investigar um número de alternativas, e surge quando a tomada de decisão envolve múltiplos critérios e objetivos em conflito (Mello *et al.*, 2005). Segundo Bouyssou (1990), o método se sobressai, primeiro, pelo fato de permitir que o analista construa vários critérios levando em conta os diversos pontos de vista dos atores envolvidos no

processo de tomada de decisão, os quais justificam, transformam e defendem suas preferências conforme seus interesses. Segundo, por permitir que as comparações deduzidas a partir de cada um dos critérios sejam interpretadas como preferências parciais, ou seja, preferências restritas aos aspectos levados em conta no ponto de vista subjacente a cada critério (Bouyssou, 1990). Por fim, devido à preferência parcial, há ainda a possibilidade de se fazerem comparações *ceteris paribus* sobre os aspectos que não foram tidos em conta na definição do critério (Bouyssou, 1990).

Na literatura, os principais métodos de apoio multicritério à tomada de decisão são frequentemente classificados conforme a escola de origem (Lieggio Junior *et al.*, 2012). Da escola americana, os métodos mais divulgados são a MAUT – Teoria da Utilidade Multiatributo (Fishburn, 1970; Keeney e Raifa, 1976) e o Método AHP (Saaty, 1980) – Análise Hierárquica de Processos (Lieggio Junior *et al.*, 2012). Já a escola francesa tem como principais métodos os ELECTRE – ELimination and (Et) Choice Translating REality (Roy, 1989; Roy e Bouyssou, 1993) e os métodos PROMETHEE – PReference Ranking Organisation METHod of Enrichment Evaluation (BRANS *et al.*, 1984; Le Téo e Mareschal, 1998).

Os métodos da escola americana geralmente têm como objetivo principal agregar valor às preferências dos decisores em cada critério, dando suporte, de forma quantitativa, à decisão final do decisor (Liggiero Junior *et al.*, 2012). Enquanto que os métodos associados à escola francesa, denominados métodos não compensatórios, têm como objetivo construir uma relação de ordenação que permita a relação de incomparabilidade entre as ações de decisão (Lieggio Junior *et al.*, 2012). Esse processo dá ao decisor suporte para concluir se uma decisão é -boall (Lieggio Junior *et al.*, 2012).

Neste trabalho, o método de ADM utilizado será os Promethee, que consiste em um método de ordenação envolvendo conceitos e parâmetros, e o Promethee II, uma extensão da família Promethee que permite escalas por intervalos. Ambos serão mais bem discutidos adiante.

5. ÍNDICE GLOBAL DE MOBILIDADE URBANA

O IGMU, Índice Global de mobilidade urbana, é o escore global obtido para um cenário de mobilidade urbana através da análise integrada do seu desempenho na distribuição espacial, social, econômico e operacional. O objetivo do IGMU é fornecer, de acordo o conjunto de critérios, uma pontuação que expresse o desempenho da mobilidade urbano para um conjunto de cidades.

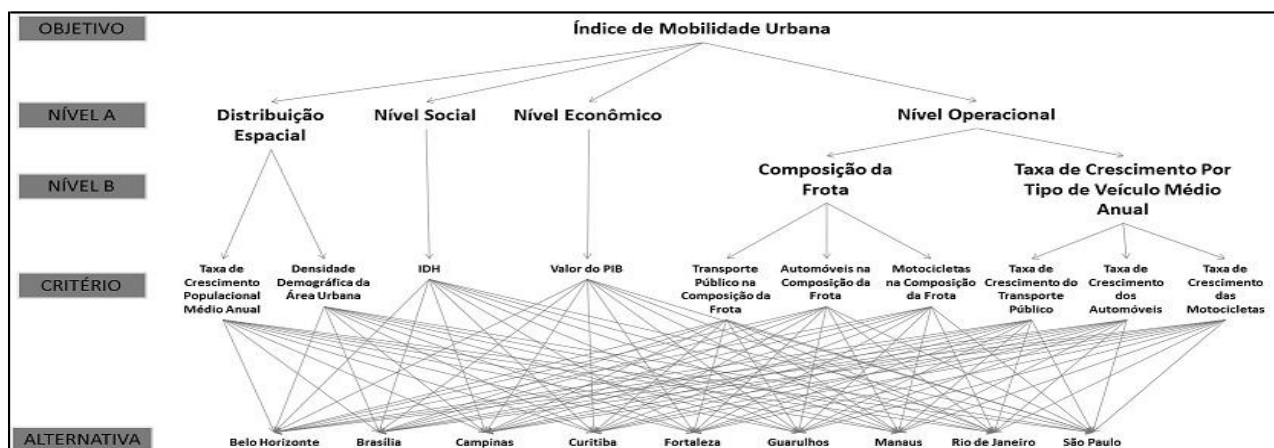


Figura 1 - Estrutura hierárquica conceitual do IGMU.

O índice está estruturado em cinco níveis hierárquicos (Figura. 1). O primeiro é o Objetivo. O segundo são os componentes do sistema: Distribuição Espacial, Nível Social, Nível Econômico e Nível Operacional. O terceiro e quarto são os critérios e subcritérios que estão relacionadas a cada um dos componentes. Por fim, o quinto é o conjunto de alternativas.

5.1. Critérios

Os critérios foram selecionados tendo em vista a relação que tecem com a Mobilidade Urbana. Assim, para a análise do critério da Distribuição Espacial, a escolha dos subcritérios foi baseada naqueles que possuem uma relação clara entre população e mobilidade, como o inchaço populacional. No critério do Nível Social, foram nomeados subcritérios que relacionam o ser humano ao transporte propriamente dito, uma vez que o homem é o agente principal da mobilidade. Portanto, educação, IDH, respeito às leis e regras, dentre outros, influenciam diretamente nas operações. Quanto ao critério do Nível Econômico, propôs-se a utilização de variáveis capazes de retratar a situação econômica vigente nas regiões analisadas, de forma a traçar um paralelo entre a economia do país e seu retorno econômico para o setor de transportes. Por fim, no critério Nível Operacional, foram selecionados dados que refletem a mobilidade urbana em si, como frota, frota por habitante, crescimento da frota, número de vias pavimentadas, dentre outros.

Os critérios usados para avaliar essas alternativas, por serem muitos, foram estudados através da Análise Multicritério, por simplificar a análise e tornar a conclusão dos resultados mais imediata.

Os pesos dos critérios foram determinados com base no procedimento de comparações par a par, por meio da matriz de julgamento $K = [k_{ij}]$, onde k_{ij} representa a importância do critério k_i em relação ao critério k_j . A matriz de julgamento é positiva ($k_{ij} > 0$), quadrada recíproca $n \times n$, tal que $k_{ij} = 1/k_{ji}$ e com 1 na diagonal principal. O k_{ij} assume valores de 1 a 9, (SAATY, 2004).

5.1. Alternativas

O conjunto de alternativa foi selecionado com base nos relatórios do Centro de Logística Urbana do Brasil (CLUB, 2013, 2014), e levou em conta sua importância econômica e histórica, num total de nove cidades das principais regiões metropolitanas brasileiras: Guarulhos (SP), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Belo Horizonte (MG), Fortaleza (CE), Campinas (SP), Brasília (DF), Curitiba (PR) e Manaus (AM).

5.2. Método Promethee

Neste trabalho, a agregação dos critérios utiliza o método de outranking Promethée. A metodologia trata matrizes semelhantes, onde a_1, a_2, \dots, a_n são n alternativas (Cidades) potenciais e f_1, f_2, \dots, f_k são k critérios de avaliação. Cada avaliação $f_j(A_i)$ deve ser um número real.

O Promethée, segundo Mareschal *et al.* (1988), baseia-se na comparação de pares e envolve a definição de vários parâmetros que permitem ajustar a abordagem para modelar o problema o mais corretamente possível. Este método permite a avaliação quantitativa e qualitativa, uma vantagem não negligenciável, no caso de uso da escala linguística, como é feito no domínio de logística.

O Prométhée exige informações adicionais para cada critério, assim uma função específica de preferência deve ser definida. Esta função é usada para calcular o grau de preferência associado à melhor ação em caso de comparações pareadas. Seis formas possíveis de funções de preferência estão disponíveis e estas são descritas, por exemplo, em Brans *et al.* (2005). Segundo Brans *et al.* (2005) o índice de preferência multicritério (1) é computado como segue:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j P_j(a, b) \quad (1)$$

Onde P_j é a função de preferência associada ao critério f_j e w_j é o peso do critério. $P(a, b)$ é um número entre 0 e 1 que mede o grau de preferência de uma ação a sobre uma ação b , leva em conta todos os critérios. O $\pi(a, b)$ expressa com que grau a é o preferido para b e $\pi(b, a)$ como b é preferível a a . Na maioria dos casos, existem critérios que a é melhor do que b , e critérios para os quais b é melhor do que a , conseqüentemente, $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ são geralmente positivas.

De acordo com Brans *et al.* (2005) cada alternativa a enfrenta $(n - 1)$ alternativas em A , onde são definidos dois fluxos de outranking, sendo eles:

Fluxo Positivo $\phi^+(a)$ expressa como uma alternativa a sobreclassifica todas as outras e quanto maior $\phi^+(a)$ melhor é a alternativa.

$$\phi^+ = \frac{1}{(n - 1)} \sum_b \pi(a, b) \quad (2)$$

Fluxo Negativa $\phi^-(a)$ expressa o quanto uma alternativa a é superada por todas as outras e quanto menor $\phi^-(a)$ melhor é a alternativa.

$$\phi^- = \frac{1}{(n - 1)} \sum_b \pi(b, a) \quad (3)$$

Com base nos dois fluxos, é obtido ranking parcial do PROMETHÉE I e com base no fluxo de preferência líquido (4), que é o equilíbrio entre os dois fluxos de preferência e encontrado o ranking completo do PROMETHÉE II (Brans *et al.*, 2005).

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (4)$$

Dessa forma, de acordo com Brans *et al.* (2005), obtém-se a ordenação das alternativas, de acordo com os valores encontrados para o fluxo líquido. O fluxo líquido de critério único $\phi_j(a)$ obtido quando um único critério $g_j(\cdot)$ é considerado. Ele expressa como uma alternativa a é outranking ($\phi_j(a) > 0$) ou é desclassificada ($\phi_j(a) < 0$) por todas as alternativas no critério $g_j(\cdot)$. O perfil de uma alternativa consiste no conjunto de toda a rede do critério único de fluxos: $\phi_j(a), j = 1, 2, \dots, k$.

Os dois métodos, Prométhée I e II, ajudam o tomador de decisão a finalizar a seleção de um melhor compromisso, pois é obtida uma visão clara das relações entre os outranking alternativos.

6. ESTUDO DE CASO

O IGMU integra em sua composição o desempenho das alternativas na distribuição espacial, no âmbito social e nos aspectos econômico e operacional. O objetivo é fornecer, de acordo com um conjunto de critérios, uma pontuação que expresse o desempenho da mobilidade urbano para um conjunto de alternativas.

A importância econômica e histórica foram fatores determinantes para a escolha do conjunto de alternativas: Guarulhos (SP) está localizada na confluência das rodovias que ligam os dois maiores mercados consumidores do país – São Paulo e Rio de Janeiro (CLUB, 2013). Belo Horizonte (MG) possui 2,4 milhões de habitantes e o 4º maior PIB do país (CLUB, 2013). Fortaleza (CE) é um polo de turismo nacional e um importante centro comercial e industrial do país (CLUB, 2013). Campinas (SP) está localizada no interior do Estado mais populoso, rico e industrializado do país (CLUB, 2013). São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília, que são as principais cidades brasileiras, respondendo por um sexto do PIB do país (IBGE, 2012; The World Bank, 2012). Curitiba (PR) é considerada, segundo o IBGE, a segunda mais populosa do sul do país (CLUB, 2013) e Manaus, que é detentora de um importante polo industrial (Zona Franca de Manaus – ZFM), é a 7ª cidade brasileira mais populosa e a 6ª mais rica (CLUB, 2014).

6.2. Ponderação dos critérios

Os pesos de cada um dos critérios do IGMU foram definidos para cinco cenários: A, B, C, D e E. O cenário A atribui importância igual a todos os critérios e representa a configuração real dos pesos. Os demais cenários foram concebidos com o intuito de testar a sensibilidade do modelo. O cenário B privilegia o critério do Nível Social, ao passo que o C dá maior peso ao critério da Distribuição Espacial. Já o cenário D dá maior destaque ao Nível Econômico. Por fim, o Cenário E prioriza o critério do Nível Operacional. A distribuição dos pesos está presente no Quadro 1.

Quadro 1 - Variação de pesos conforme o cenário

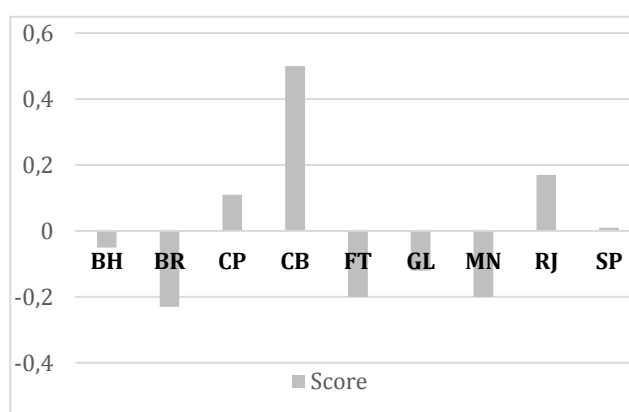
		Cenários				
		A	B	C	D	E
Critérios	Taxa de Crescimento Populacional Médio	10%	7,78%	30%	7,78%	2%
	Densidade Demográfica da Área Urbana	10%	7,78%	30%	7,78%	2%
	IDH	10%	30%	5%	7,78%	2%
	Valor do PIB	10%	7,78%	5%	30%	2%
	Automóveis na Composição da Frota	10%	7,78%	5%	7,78%	17%
	Motocicletas na Composição da Frota	10%	7,78%	5%	7,78%	12%
	Transporte Público na Composição da Frota	10%	7,78%	5%	7,78%	17%
	Taxa de Crescimento da Quantidade de	10%	7,78%	5%	7,78%	17%
	Taxa de Crescimento da Quantidade de	10%	7,78%	5%	7,78%	12%
	Taxa de Crescimento do Transporte Público	10%	7,78%	5%	7,78%	17%

Fonte: Os autores

A atribuição dos pesos, em cada cenário, foi sugerida por especialistas da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, através de comparações par a par, por meio de uma matriz de julgamento, e os dados referentes aos critérios foram obtidos a partir do observatório do CLUB, o que possibilitou identificar em que aspecto as cidades apresentam maior sensibilidade. Para este caso, as funções utilizadas foram todas do tipo linear.

7. Resultados

O IGMU é representado pelo cenário real (A), no qual os critérios considerados têm a mesma importância, ou seja, o mesmo peso, e expressam a situação real das cidades. Os índices obtidos a partir do Promethee foram: -0,05 para Belo Horizonte; -0,23 para Brasília; 0,11 para Campinas; 0,5 para Curitiba; -0,2 para Fortaleza; -0,12 para Guarulhos; -0,2 para Manaus; 0,17 para o Rio de Janeiro e 0,01 para São Paulo (Figura 2).



BH = Belo Horizonte, **BR** = Brasília, **CP** = Campinas, **CB** = Curitiba, **FT** = Fortaleza, **GL** = Gurulhos, **MN** = Manaus, **RJ** = Rio de Janeiro, **SP** = São Paulo

Figura 2 – Índice Global de Mobilidade Urbana

Curitiba (PR), com índice 0,5, foi classificada como o *benchmark* entre as cidades. Excetuando o Cenário da Distribuição Espacial, mostrou ser a melhor em todos os cenários alternativos. Um resultado que, por hipótese, era esperado, devido, dentre outras razões, às políticas voltadas para a mobilidade urbana dessa cidade, o que mostra a coerência do método.

Porém, mesmo sendo a melhor colocada, ela ainda pode ter seu desempenho potencializado, uma vez que apresenta um *gap* de 0,5 em relação ao limite superior do ranking do Promethee, que é 1. Em contrapartida, Brasília (DF), que é considerada modelo de planejamento urbano, surpreendeu com o pior índice de -0,23, um *gap* de 1,23 em relação ao limite superior. Comparando-a ainda com a primeira colocada, seu índice ainda se encontra a uma distância de 0,7 desta. Há uma dispersão numérica tal que, mesmo a cidade do Rio de Janeiro (RJ), que aparece com o segundo melhor índice, teria de quase triplicar seu desempenho para se igualar à Curitiba (PR).

7.1. Sensibilidade do IGMU

O Quadro 3 apresenta um resumo geral dos resultados obtidos para os cenários considerados alternativo. A seguir, faz-se uma análise mais detalhada das respostas que estes resultados trouxeram.

Quadro 3 – Resumo Geral de Desempenho da Mobilidade Urbana

Cidades	Cenário Real		Cenário Social		Cenário Dist. Espacial		Cenário Econômico		Cenário Operacional	
	Pontuação	Colocação	Pontuação	Colocação	Pontuação	Colocação	Pontuação	Colocação	Pontuação	Colocação
Belo Horizonte	-0.05	5º	-0.09	6º	0.1	4º	-0.04	4º	-0.11	8º
Brasília	-0.23	9º	-0.06	5º	-0.11	6º	-0.06	5º	-0.48	9º
Campinas	0.11	3º	0.25	2º	0.37	1º	-0.13	6º	0.03	3º
Curitiba	0.5	1º	0.61	1º	0.19	3º	0.44	1º	0.66	1º
Fortaleza	-0.2	7º	-0.27	8º	-0.29	9º	-0.32	9º	-0.05	5º
Guarulhos	-0.12	6º	-0.26	7º	0.00	5º	-0.21	7º	-0.06	6º
Manaus	-0.2	7º	-0.38	9º	-0.22	7º	-0.21	7º	-0.07	7º
Rio de Janeiro	0.17	2º	0.19	3º	0.21	2º	0.3	2º	0.07	2º
São Paulo	0.01	4º	0.01	4º	-0.24	8º	0.23	3º	0.02	4º

No Cenário Social, Curitiba (PR) aparece como a primeira colocada e tem um *gap* positivo de 0,16 em relação ao Cenário Real. Enquanto isso, Manaus é a que obteve o pior desempenho, com um índice de -0,38. Já no Cenário da Distribuição Espacial, o pior resultado é atribuído a Fortaleza que, com um índice de -0,29, teve um *gap* negativo de 0,09 em relação ao cenário real. Já a mais bem avaliada foi Campinas, que superou Curitiba com um índice de 0,37. No Cenário Econômico, Curitiba é novamente a cidade com melhor desempenho. A última colocação é ocupada pela cidade de Fortaleza, que teve um *gap* negativo de 0,19 em relação ao cenário real. Enquanto isso, no Cenário Operacional, Curitiba foi novamente a mais bem avaliada, já Brasília obteve o pior índice tanto no Cenário Operacional, quanto no Cenário Real. Isso mostra que a questão da distribuição espacial é determinante para que Brasília seja a última cidade no ranking do cenário real uma vez que, nos outros cenários alternativos, Brasília está entre as seis melhores cidades. Com isso, vê-se o quanto a questão operacional influencia o índice da capital do Brasil.

8. Considerações finais

A proposta deste trabalho de elaborar um índice utilizando o PROMETHEE resultou no Índice Global de Mobilidade Urbana (IGMU), cuja aplicação possibilitou avaliar, de maneira macro, a mobilidade urbana das principais metrópoles brasileiras, comparando o desempenho de uma em relação às outras e identificando suas principais deficiências.

O índice mostrou que, das nove cidades brasileiras pesquisadas, apenas 22,2% obtiveram um resultado considerado “bom”. Já o maior percentual das cidades, 44,4%, foi classificado como “regular”, sendo Campinas (SP) a melhor do grupo, com um índice de 0,11 e Guarulhos (SP) a pior, com uma diferença de 0,23 entre elas. Além disso, as cidades consideradas “ruins” superaram as melhores e aparecem com 33,4%. A cidade de Curitiba (PR) foi classificada como o *benchmark*. Um resultado que, por hipótese, era esperado, devido, dentre outras razões, às políticas voltadas para a mobilidade urbana dessa cidade.

O fato de Curitiba ter concebido seu plano diretor no início do crescimento urbano, enquanto outras cidades o fizeram quando a cidade já havia crescido, foi decisivo para um desenvolvimento ordenado e, acima de tudo, planejado (Zirkl, 2003), o que foi evidenciado pelo IGMU.

O índice conta com uma disponibilidade de dados que representam a mobilidade urbana da maneira mais ampla possível. Para futuros trabalhos, esses dados poderiam ser ampliados e incrementados por variáveis que aumentassem a objetividade dos resultados. Além disso, por se tratar de um problema multicritério e de multidecisores, a ponderação dos pesos dos critérios poderia considerar a percepção de outros atores que não foram levados em conta na formulação do índice. Por fim, além de se considerarem os níveis social, econômico, operacional e de distribuição espacial, pode ser acrescentado o nível ambiental, a fim de tornar o modelo ainda mais abrangente.

As desigualdades observadas entre as cidades de brasileiras alertam para a necessidade de medidas que possam auxiliar na reconstrução a realidade da mobilidade urbana. Nesse sentido, o IGMU como um mecanismo de planejamento, uma vez que através de uma ferramenta computacional, o IGMU transforma indicadores coerentemente selecionados em respostas palpáveis que podem auxiliar os tomadores de decisão nas intervenções necessárias

à melhoraria da mobilidade urbana no país, sendo, portanto, ferramenta imprescindível no planejamento urbano.

Agradecimentos

Este artigo agradece o Manaustrans, INTRA, CLUB, Laboratório Transportar e UFAM pelo suporte aos membros envolvidos no desenvolvimento do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP (2015) *Sistema de Informação da Mobilidade Urbana*. Relatório Comparativo 2003 – 2013. Associação Nacional de Transportes Públicos.
- Azevedo Filho, M. A. N. e Silva, A. N. R. (2013) Uma Avaliação Retrospectiva de Belém do Pará sob a Ótica da Mobilidade Sustentável. *Transportes*, v. 21, n. 2, p. 13-20.
- Bouyssou, D. (1990) *Building Criteria: a prerequisite for MCDA*. In: *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Edited by C.A. Bana e Costa, Spring Verlag, Berlin.
- Brans J.P.; Mareschal, B. e Vincke, P. (1984) Promethee: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. *Operational Research*, p. 477 – 490.
- Brans, J.P. & Mareschal, B. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*. Springer's International Series. PROMETHEE METHODS, Chapter 5.
- Brasil (2012). *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, n.3, 3 jan. 2012. Seção I, p. 1-3.
- Campos, V. B. G. e Ramos, R. A. R. (2005) *Proposta de Índice de Mobilidade Sustentável para Áreas Urbanas*. In: Antonio Nelson R. da Silva, Léa Cristina L.do Souza e José F. G. Mende. (Org.). *Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*. 1ª ed. v. 1, p. 71-86. São Carlos – SP.
- CLUB (2013) Observatório. *Debate Sobre Logística Urbana, Grupos focais 2013*. Centro de Logística Urbana do Brasil.
- CLUB (2014) - Observatório. *Debate Sobre Logística Urbana, Grupos focais 2013-2014*. Centro de Logística Urbana do Brasil.
- Costa, M. S.; Ramos, R. A. R. e Silva, A. N. R. (2007) Índice de Mobilidade Urbana Sustentável para Cidades Brasileiras. In: *XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro - RJ.
- Filipe, L. N. e Macário, R. (2011) Elementos para a configuração de um sistema de informação para a gestão da mobilidade urbana. *Transportes*, v. 19, n. 3, p. 42-48.
- Frei, F.(2006) Sampling mobility index: Case study in Assis—Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 40, n. 9, p. 792-799.
- Fushburn, P.C (1970) *Utility Theory for decision making*. In: Jhon Wiley & Sons. New York, USA.
- IBGE (2004) Síntese de Indicadores Sociais, nº 15. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro – RJ*.
- IBGE (2012). Contas Nacionais, nº 43. Produto Interno Bruto dos Municípios. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*.
- IBGE (2014) Síntese de Indicadores Sociais. Uma análise das condições de Vida da População Brasileira, nº 34. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro – RJ*.
- IPEA (2011) Comunicados do IPEA, A mobilidade Urbana no Brasil. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro*, nº 94.
- Keeney, R. L. e RAIFA, H (1976) *Decisions With Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Jhon Wiley & Sons. USA.
- Le Téno, J.F e Mareschal, B (1998) An interval version of PROMETHEE for the comparasion of building products design with ill-defined data on environmental quality. *European Journal of Operational Research* 109, p. 522 – 529.
- Lieggio Junior, M.; Granemann, S. R. e Souza, O. A. (2012) Aplicabilidades da Análise multicritério às problemáticas de decisão no transporte rodoviário de produtos perigosos: uma perspectiva teórica. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 2, p. 197 – 217.
- Litman, T. A. (2009) Sustainable transportation indicators: a recommended research program for developing sustainable transportation indicators and data. In: *Transportation Research Board 88th Annual Meeting, Washington, USA*.
- Magagnin, R.C e Silva, A. N. R (2008) A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana. *Transportes*, v. 31, n. 1, p. 25-35.

- Mareschal, B. & Brans, J.P. (1988). Geometrical representations for MCDA. The GAIA module. *European Journal of Operational Research*, 34:69-77.
- Mello, J. C. C. B. S.; Gomes, E. G.; Gomes, L. F. A. M.; Neto L. B. e Meza, L. A (2005) Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 313-330.
- Moeinaddini, M.; ASADI-SHEKARI, Z. e SHAH, M. Z.(2015) An urban mobility index for evaluating and reducing private motorized trips. *Measurement*, v. 63, p. 30-40.
- OECD (2008) Handbook on Constructing Composite Indicators Methodology and User Guide. *Organisation for Economic Cooperation and Development*, Ispra (VA), Italy.
- Oliveira, G. M. e Silva, A.N.R (2015) Desafios e perspectivas para avaliação e melhoria da mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo de municípios brasileiros. *Transportes*, v.23, n. 1, p. 59-68.
- Patterson, Z.; Saddier, S.; Rezaei A. e Manaugh, K. (2014) Use of the Urban Core Index to Analyze residential mobility: The case of senior in Canadian metropolitan regions. *Journal of Transport Geography*, v. 41, p. 116-125.
- Roy, B e Bouyssou, D. (1993) *Aide Multicritère à la Décision*. Méthods et Cas. Paris.
- Roy, B. (1989) *The outranking Approach and the foundations of ELECTRE Methods*. LAMSADE. Université de Paris-Dauphine(53):40.
- Saaty, T. L. (2004). Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. Vol. 13, No. 1.
- Saisana, M. e Tarantola, S. (2002) *State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and the Security of the Citizen, Technological and Economic Risk Management Unit. Ispra (VA), Italy.
- Santos, D. V. C. e Freitas, I. M. D. P. (2014) Medidas de Mobilidade Urbana Sustentável (MMUS): propostas para o licenciamento de Polos Geradores de Viagens. *Transportes*, v. 22, n. 2, p. 11-22.
- Satty, T. L (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. New York, USA.
- Scaringella, R. S. (2001) A crise da mobilidade urbana em São Paulo. *São Paulo Em Perspectiva*, v. 15, n. 1, p. 55-59.
- Silva, C.O. (2010) Mobilidade urbana nos planos diretores posteriores ao Estatuto da Cidade. *Transportes Públicos*, v. 124, p. 111-124.
- TCU (2010) Relatório e Parecer Prévio Sobre as Contas do Governo da República. Exercício de 2010, *Tribunal de Contas da União*, Brasília.
- The World Bank (2012). *Gross Domestic Product – GDP*.
- Zirkl, F. (2003). Desenvolvimento Urbano de Curitiba (Brasil): Cidade Modelo ou uma exceção?. In: *Actas latinoamericanas de Varsovia*, v. 26.

Carlos Eduardo Neves de Castro (carloscastro@ymail.com)
Débora de Paula Guerreiro (deboradpguerreiro@gmail.com)
José Teixeira de A. Neto Santos (teixeira.santos@intra.org.br)
Instituto de Pesquisa em Transporte – INTRA
Rua Ferreira Pena, nº 1144-A, sala 106. Centro, Manaus – AM
Nelson Kuwahara (nelsonk@ufam.edu.br)
Universidade Federal do Amazonas
Av. General Rodrigo Octávio, 6200 - Coroado I, Manaus – AM
Orlando Fontes Lima Junior (oflimaj@fec.unicamp.br)
LALT - Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes
Faculdade de Engenharia Civil - Departamento de Geotecnia e Transportes
R. Albert Einstein, 951, Sala 02. Cidade Universitária Zeferino Vaz. Barão Geraldo, Campinas – SP
Waltair Vieira Machado (waltairmachado@ufam.edu.br)
Universidade Federal do Amazonas
Av. General Rodrigo Octávio, 6200 - Coroado I, Manaus – AM