

PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA EM MOBILIDADE URBANA COM BASE NA CONFIGURAÇÃO URBANA E NO ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL

ADRIANO C. PARANAIBA¹

 <https://orcid.org/0000-0001-8159-3589>

ELIEZÉ B. CARVALHO²

 <http://orcid.org/0000-0002-3420-3012>

Para citar este artigo: Paranaiba, A. C., & Bulhões, E. C. (2021). Priorização de projetos de infraestrutura em mobilidade urbana com base na configuração urbana e no escalonamento multidimensional. *Revista de Administração Mackenzie*, 22(5), 1–34. doi:10.1590/1678-6971/eRAMF210196

Submissão: 2 dez. 2019. **Aceite:** 17 nov. 2020.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Goiânia, GO, Brasil.

² Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Brasília, DF, Brasil.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

This paper may be copied, distributed, displayed, transmitted or adapted for any purpose, even commercially, if provided, in a clear and explicit way, the name of the journal, the edition, the year and the pages on which the paper was originally published, but not suggesting that RAM endorses paper reuse. This licensing term should be made explicit in cases of reuse or distribution to third parties.

Este artigo pode ser copiado, distribuído, exibido, transmitido ou adaptado para qualquer fim, mesmo que comercial, desde que citados, de forma clara e explícita, o nome da revista, a edição, o ano e as páginas nas quais o artigo foi publicado originalmente, mas sem sugerir que a RAM endosse a reutilização do artigo. Esse termo de licenciamento deve ser explicitado para os casos de reutilização ou distribuição para terceiros.

RESUMO

Objetivo: Este artigo tem como objetivo propor uma metodologia alternativa de análise, avaliação e priorização de projetos de mobilidade urbana capaz de auxiliar a tomada de decisão de investimento, considerando variáveis financeiras, econômicas e espaciais.

Originalidade/valor: A ausência de critérios claros para selecionar propostas de projetos corrobora as críticas ao processo de seleção e priorização de projetos de mobilidade urbana do Ministério das Cidades. Metodologias recentes de investimentos e análises de projeto nivelam questões intrinsecamente econômicas difíceis de ser convertidas em benefícios financeiros para efetuar a avaliação financeira.

Design/metodologia/abordagem: A metodologia utilizada é o escalonamento multidimensional, como ferramenta de avaliação multivariada para analisar e priorizar projetos usando as variáveis econômicas e espaciais do planejamento urbano e os modelos financeiros de cada projeto. As variáveis econômicas resultam de análises econômicas disponíveis nos projetos, bem como dos modelos de financiamento dos projetos. As variáveis espaciais obtidas da lógica social da teoria espacial ou sintaxe espacial permitem avaliar a capacidade de integração das cidades antes da implantação dos projetos e após o desenvolvimento deles, possibilitando identificar melhoria nas condições de mobilidade urbana.

Resultados: O uso do escalonamento multidimensional com a aplicação de variáveis financeiras, econômicas e espaciais se provou eficaz para promover a tomada de decisão, seja pela indicação do melhor projeto ou pela identificação da proximidade e/ou distância até o atingimento dos objetivos de uma determinada política pública.

PALAVRAS-CHAVE

Sintaxe espacial. Priorização de projetos. Infraestrutura. Mobilidade urbana. Escalonamento multidimensional.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de análise de viabilidade econômica dos projetos de mobilidade urbana são bastante criticados nacional e internacionalmente.

O Tribunal de Contas da União (TCU) (2015) realizou uma auditoria operacional com o objetivo de avaliar a governança em políticas públicas de mobilidade relativa ao exercício de 2014, conforme Relatório de Auditoria Operacional. Os achados dessa auditoria foram os seguintes:

- As metas e os indicadores utilizados pelo governo federal não são capazes de avaliar e medir o progresso e o alcance dos objetivos da política nacional.
- Os objetivos e as diretrizes definidos e declarados pela política nacional não estão sendo claramente considerados critérios de seleção das propostas de intervenção de mobilidade urbana apresentadas ao governo federal por estados e municípios.
- O esforço cooperativo entre as esferas de governo é insuficiente para a adequada implementação da política pública de mobilidade urbana.
- As ações do governo federal não estão alinhadas de modo a priorizar os modos de transporte não motorizados sobre os motorizados, bem como os serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.

Flyvbjerg (2013) sinaliza que as estimativas *ex ante* dos custos e benefícios de projetos, ou seja, análises de benefício-custo (*cost-benefit analysis* – CBA) e avaliações de impacto social e ambiental, são, em diversos casos, tipicamente diferentes dos custos e benefícios *ex post* reais. Os estudos de Flyvbjerg, Bruzelius e Rothengatter (2003), Flyvbjerg, Holm e Buhl (2002, 2005) e Flyvbjerg (2009) apontam como as previsões de custos e benefícios de grandes projetos são tendenciosas e muito imprecisas.

Apesar das críticas ao método, a inexistência de alternativas à avaliação econômica faz com que os pesquisadores aprimorem os critérios das análises, o que justifica o interesse pelo estudo e aprimoramento da metodologia de avaliação econômica para a priorização de projetos de infraestrutura em mobilidade urbana.

Confrontando essa perspectiva, Muldoon-Smith et al. (2015) apontam que as pesquisas tradicionais de economia urbana não têm considerado a importância da configuração urbana para construção de análises e, por isso, sugerem a incorporação da análise configuracional na tomada de decisão de projetos. A sintaxe espacial é uma teoria desenvolvida por Hillier e Hanson

(1984). Ela permite não só identificar problemas estruturais, mas também constatar tendências de ocupação, de modo a contextualizar o espaço físico pela sua ocupação (Bandeira, 2005).

Questões intrinsecamente econômicas apontadas nas atuais metodologias de análise de investimentos e projetos são variáveis de difícil conversão em benefícios financeiros para compor as avaliações financeiras. Nesse sentido, a busca por uma metodologia que consiga avaliar variáveis de dimensões distintas, sem incorrer na perda de informações durante o processo de dar valor pecuniário, corrobora a importância deste estudo. Ademais, pretende-se concatenar dimensões distintas, e o enlace entre elas requer uma metodologia que possua um instrumental multidimensional de análise multivariada para encontrar a dissimilaridade entre os projetos e então categorizá-los.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de aprimorar o processo de avaliação de projetos em mobilidade urbana e criar uma metodologia de priorização de projetos, busca-se nesta pesquisa, além da utilização das variáveis de avaliação econômica, que já constam nos projetos atuais, a inclusão de variáveis que apontem mudanças no espaço, por meio de sintaxes espaciais, e de variáveis que indiquem as origens de recursos financeiros, para a execução do projeto, observando o modelo de financiamento dos projetos.

A taxa interna de retorno (TIR) e a razão benefício/custo (B/C) são variáveis econômicas consideradas nos planos de mobilidade atuais. Para compor o grupo de variáveis financeiras, pretende-se identificar os tipos de fonte de recursos financeiros para a execução dos projetos, a fim de verificar se o projeto causará ou não impactos fiscais nas finanças municipais, verificando a existência ou não de sustentabilidade financeira dos projetos.

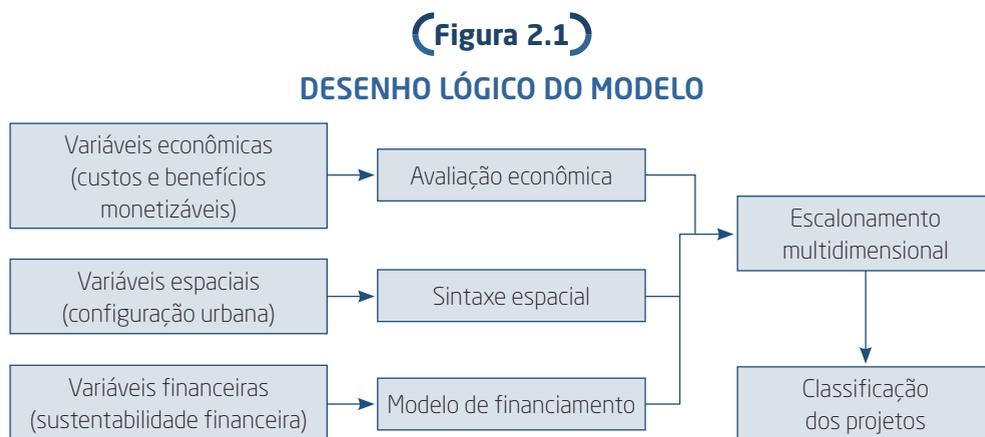
Para a utilização da sintaxe espacial, utilizou-se o *software* QGIS, que permite realizar a construção de mapas capazes de representar linearmente a rede de caminhos, conhecidos por mapas axiais e de segmentos, e gerar dados de saída das variáveis que se pretende mensurar: integração e profundidade média. Pretende-se medir o comportamento das variáveis espaciais *ex ante* (t-1) e *ex post* (t) de projetos já concluídos ou que foram selecionados no mesmo programa governamental, que, nesse caso, foi o Projeto “PAC 2 Mobilidade Grandes Cidades”, para identificar a oscilação dessas variáveis, que servirá como critério de avaliação do projeto na dimensão espacial.

Para promover o tratamento analítico deste trabalho, o uso de técnicas com diversas variáveis independentes, a análise multivariada, permite interpretar fenômenos analisados de forma simultânea de diversas medidas para

os objetos observados (Corrar, Paulo, & Dias, 2007). O escalonamento multidimensional (EMD) permite a criação de associações entre variáveis de diferentes valores dimensionais, permitindo comparar projetos distintos para realizar o seu escalonamento como ferramenta de priorização e decisões de investimento em mobilidade urbana. A melhor característica do escalonamento multidimensional é que ele pode ser usado com variáveis em qualquer escala (Souza, 2010).

Portanto, o EMD permite a criação de uma referência para comparação entre os projetos, conhecida como ponto ideal (PI). Mais do que indicar o quão diferentes os projetos são entre si, é possível identificar quais estão mais próximos das características consideradas ideais para serem alcançadas.

Seguindo o desenho lógico do modelo em questão, pretende-se identificar várias dimensões de análise para a tomada de decisão do investimento em projetos específicos (Figura 2.1).



Fonte: Elaborada pelos autores.

A ferramenta de solução estatística de análise de dados XLSTAT[®], usada como extensão no Microsoft Excel[®], permitirá que as variáveis obtidas nas análises econômico-financeiras e as variáveis de saída do *software* QGIS sejam submetidas ao EMD. Então, a análise dos resultados permitirá a seleção e priorização dos projetos da amostra determinada.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura sobre a análise e avaliação de infraestrutura urbana para auxiliar investimentos em políticas públicas resultou na identificação

de poucas ferramentas. Pujadas, Pardo-Bosch, Aguado-Renter e Aguado (2017) propuseram combinar a análise multicritério de tomada de decisão (*multi-criteria decision-making* – MCDM) e a teoria da utilidade multiatributo (*multi-attribute utility theory* – MAUT), incorporando o conceito de função de valor (*value function* – VF) e designando pesos por meio do processo de análise hierárquica (*analytic hierarchy process* – AHP) em um modelo integrado, chamado modelo integrado de valor para avaliação estrutural (Mives), para avaliar, priorizar e selecionar investimentos públicos em Barcelona. O modelo foi usado para avaliar as condições de calçadas em Barcelona (Pujadas, Cavalaro, & Aguado, 2018). Roigé, Pujadas, Cardús e Aguado (2019) apresentaram a metodologia Mives MCA para avaliar as estratégias de proposta de renovação de redes de distribuição de água em Barcelona.

3.1 Análise de viabilidade econômica de projetos

A modelagem econômico-financeira estratifica “os benefícios econômicos e os investimentos necessários relativos a cada ano horizonte” (Pereira & Silveira, 2013, p. 207), sendo possível a construção de fluxos de caixas, que, por sua vez, terão utilidade na construção de indicadores de eficiência econômica. Esses indicadores, que envolvem o processo de avaliação de investimento de capital, buscam atender à seguinte ordem: 1. dimensionamento dos resultados dos fluxos de caixa, 2. avaliação econômica desses fluxos, 3. definição de taxa de retorno e 4. identificação do risco (Assaf, 2011).

Quando o valor presente das entradas de caixa de um projeto, ou seja, os benefícios líquidos do caixa projetados, é descontado dos investimentos e de seus custos ao longo desse período, é possível identificar quanto o projeto é capaz de gerar riqueza aos seus investidores (Assaf, 2011; Brigham & Ehrhardt, 2012). Esse método é conhecido por valor presente líquido (VPL). Quando a taxa de juros gera um VPL nulo, fazendo com que as entradas anulem as saídas do projeto, essa taxa é denominada TIR. Outra ferramenta, amplamente utilizada em projetos de transportes, é o critério CBA, que “analisa alternativas de investimento via quantificação monetária do maior número possível de custos e benefícios e utiliza os conceitos anteriormente descritos de preços-sombra, benefícios líquidos” (Dalbem, Brandão, & Macedo-Soares, 2010, p. 92). Alguns autores, de forma mais apropriada, denominam esse método, como um critério de análise, de razão B/C, tal qual De Melo e Setti (2007, p. 21), que consideram “economicamente viável se a relação B/C for maior ou igual à unidade e, quanto maior a relação, mais atraente é o projeto”.

A razão B/C, ou coeficiente benefício-custo, fundamenta-se no esforço de dar valor pecuniário aos benefícios ao longo do projeto, descontada a taxa de retorno do investimento, ou seja, que retorno financeiro é esperado dos benefícios econômicos identificados nos projetos. Seja o critério CBA ou a análise da razão B/C, Paranaíba (2017) aponta sua ampla utilização em diversos países: Brasil, Reino Unido, Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, Suécia e Alemanha. O próprio World Bank Group “é um dos pioneiros em utilizar a metodologia de análise benefício/custo (CBA) [...] sendo um dos responsáveis pela disseminação global deste método de análise de projetos” (Paranaíba, 2017, p. 55).

De acordo com Mackie, Nellthorp e Laird (2005), Mackie, Worsley e Eliasson (2014) e Mackie e Worsley (2013), a análise CBA é restrita aos impactos cujos efeitos podem ser medidos e avaliados em termos financeiros. Muitos dos manuais omitem os impactos não financeiros, aumentando a subjetividade no julgamento do tomador de decisão, sem esclarecer o peso dado às variáveis. Além disso, há prioridade política dada aos potenciais impactos, e os tomadores de decisão não demonstram saber quanto os investimentos em sistemas de transportes conseguem contribuir para o aumento da produtividade e correção dos desequilíbrios regionais.

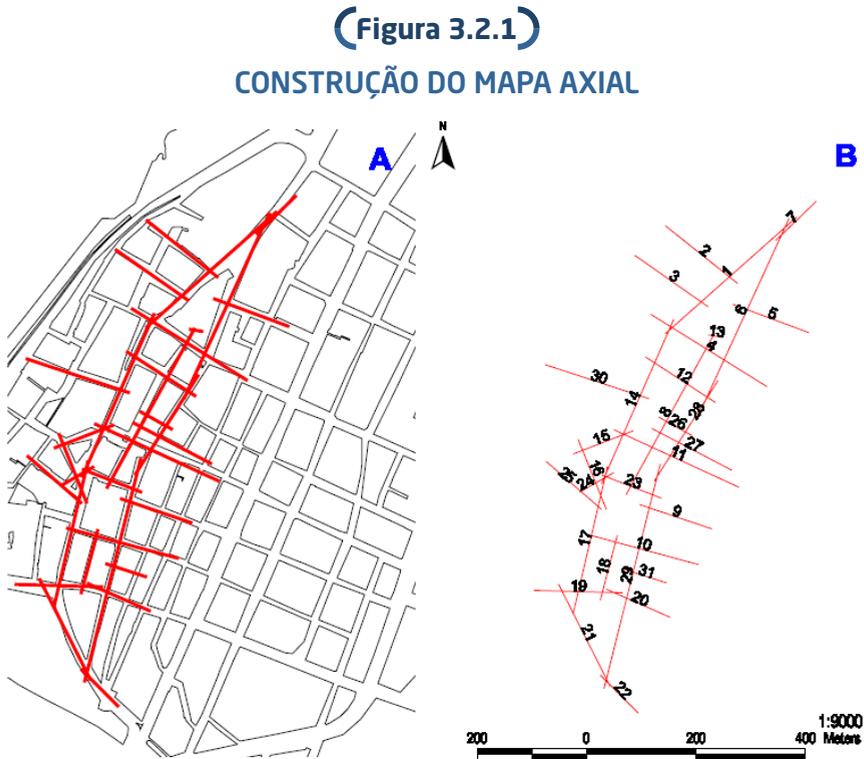
3.2 Sintaxe espacial

A sintaxe espacial pode ser utilizada como uma teoria científica da compreensão do espaço urbano e da identificação de sua capacidade de contribuir para a avaliação desses projetos de mobilidade urbana. A sintaxe espacial é importante no modelo construído neste artigo, pois tem um arcabouço teórico, metodológico e ferramental que permite criar uma relação entre espaço e sociedade a partir do vínculo entre configuração e funcionalidade, o que afeta a mobilidade urbana e questões econômicas afins (Holanda, 2007). Nesse sentido, a sintaxe espacial contribui com o fornecimento de variáveis topológicas, geométricas e morfológicas de análise dos sistemas urbanos. Este artigo visa identificar variáveis para uma investigação comparativa da configuração urbana *ex ante* e *ex post* dos projetos. A análise limita-se aos aspectos topológicos da sintaxe urbana por oferecerem a compreensão do impacto global das intervenções de infraestrutura dos projetos, especificamente a integração global e a profundidade média.

A técnica da análise espacial da sintaxe espacial permite identificar a potencialidade de fluxo dentro de um espaço urbano específico (Barros, Medeiros, Silva, & Holanda, 2008). Do Carmo, Raia e Nogueira (2014)

apontam o uso do espaço convexo e a linha axial. “As linhas apresentam as duas propriedades-chaves de serem tanto muito simples quanto globais. Tudo o que precisamos saber é o quanto conseguimos ver a partir de um ponto” (Hillier, 2001 como citado em Medeiros, 2013, p. 150). A análise dessa combinação ampara a construção dos mapas axiais que buscam ser a representação linear da rede de caminhos, ilustrando o potencial de geração de movimento em cada via (Medeiros, 2013).

Para Barros (2006), é possível retratar os fluxos de veículos e também de pedestres, revelando a capacidade dos eixos de movimentos mais ou menos intensos, em termos potenciais desses movimentos. Para tanto, a representação linear precisa ser traçada sobre uma base cartográfica, considerando o desenho do menor número possível das maiores linhas retas (Medeiros, 2013), conforme a Figura 3.2.1 (A). Cada fração da malha é identificada para a representação linear do mapa axial, conforme a Figura 3.2.1 (B).



Fonte: Medeiros (2013, p. 154).

Essa representação linear do mapa axial permite que seja construída uma matriz de conexões que, submetida à análise sintática do espaço, pode “medir,

quantificar e hierarquizar níveis diferenciados de conexões entre cada via e o complexo onde esta se insere” (Medeiros, 2013, p. 152). Essa hierarquização ocorre pela identificação de eixos com grande potencial de fluxo, quando comparada aos eixos de menor potencial de fluxo (Paranaíba, 2018).

A integração irá exercer um papel fundamental na escolha de eixos viários específicos dentro da malha urbana, uma vez que “eixos mais integrados são aqueles mais permeáveis e acessíveis no espaço urbano, de onde mais facilmente se alcançam os demais” (Medeiros, 2013, p. 126). Para Ugalde e Rigatti (2007), a integração desempenha um papel importante para a análise da sintaxe espacial, pois permite alcançar o entendimento sobre profundidade.

Depth is the most important concept in the quantitative analysis. The depth between two adjacent spaces is 1. Thus, the notion of depth is the minimum number of spaces that must be passed through to go from one space to the destination. Relations of depth involve the notion of asymmetry and the measure of relative asymmetry generalized. In the case of real urban systems, RA values are highly influenced by the total number of spaces in a system, and real relative asymmetry (RRA) is introduced to reduce the system size effect. RA is divided by the RA of a diamond shaped system with the same number of spaces³ (Kim & Sohn, 2002, p. 414).

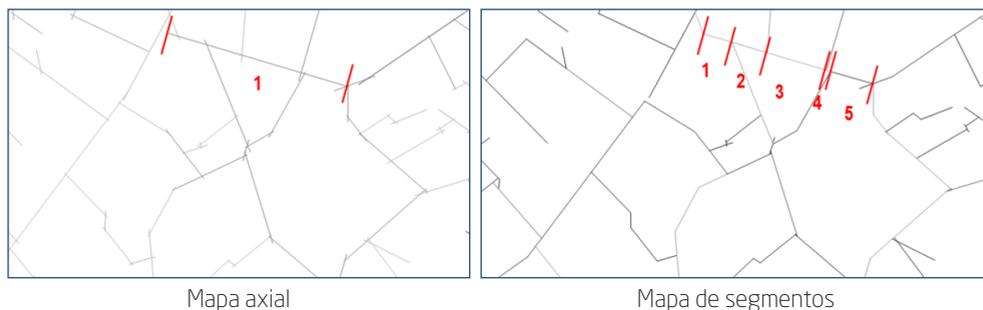
Quando se observa de forma sistêmica um mapa axial, por meio da relação de profundidade de cada eixo para alcançar todos os eixos do sistema, encontra-se a profundidade média desse sistema: quanto mais “raso” um sistema, menor é a profundidade média, enquanto profundidades médias maiores indicam sistemas de caráter labiríntico, com baixa integração (Medeiros, 2013; Loureiro, 2016).

Para um uso mais assertivo da técnica de sintaxe espacial em estudos na área de transportes, Barros (2006, 2014) aponta uma melhora analítica no uso de mapas de segmentos, porque, ao longo de um eixo, o potencial de movimento não é o mesmo, algo que o mapa axial não consegue medir. Para

³ “Profundidade é o conceito mais importante na análise quantitativa. A profundidade entre dois espaços adjacentes é 1. Assim, a noção de profundidade é o número mínimo de espaços que devem ser percorridos para ir de um espaço ao destino. As relações de profundidade envolvem a noção de assimetria e a medida de assimetria relativa generalizada. No caso de sistemas urbanos reais, os valores de RA são altamente influenciados pelo número total de espaços em um sistema, e assimetria relativa real (RRA) é introduzida para reduzir o efeito do tamanho do sistema. RA é dividido pelo RA de um sistema em forma de diamante com o mesmo número de espaços” (tradução nossa).

tanto, “o enfoque se dedica à transformação das linhas do mapa axial em segmentos de eixos, considerando como referência os cruzamentos de vias ou *links*, mais precisamente nos nós – como designação corrente na área de transportes” (Barros, 2006, p. 42), conforme Figura 3.2.2.

(Figura 3.2.2)
CONSTRUÇÃO DE MAPA DE SEGMENTOS



Fonte: Loureiro (2016, p. 81).

Portanto, aplicando-se a análise sintática por segmento, é possível identificar o potencial de movimento específico de cada segmento. Em regiões de estudo nas quais trajetos de linhas de transporte público e ciclovias não ocorrem ao longo de todo o eixo, mas apenas em determinados segmentos, o uso do mapa de segmentos permite uma avaliação mais assertiva do potencial específico de cada segmento.

3.3 Fontes de financiamento da mobilidade urbana

As fontes de recursos para a implantação de mobilidade urbana podem representar uma informação importante para identificar quão executável será o projeto. Nesse sentido, é importante que o modelo apresentado seja capaz de identificar projetos com propostas de financiamento para prover a sustentabilidade financeira. Por exemplo, se há garantia da execução e gestão da infraestrutura no escopo dos projetos que se pretende classificar e priorizar. Paranaíba (2016) caracteriza as fontes de financiamento da seguinte forma:

- *Empréstimos*: Não são necessariamente considerados modelos de financiamento, mas são utilizados com muita frequência para compor as origens de recursos para o financiamento da construção de infraestrutura

para mobilidade urbana. Dada sua relevância, serão inseridos no contexto da análise proposta.

- *Tributação adicional de combustível*: O mecanismo é uma tributação adicional em áreas de maior congestionamento sobre o consumo de combustíveis dos automóveis particulares, cujo objetivo é a busca da criação de fundos para investimentos em manutenção das vias urbanas. No Brasil existe a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide-Combustíveis), regulamentada pela Lei nº 10.336/2001 (Paranaíba, 2016).
- *Pedágio urbano*: A lógica do pedágio urbano é compensar o custo do transporte de um carro adicional, que, para os proprietários (custo marginal), é inferior ao custo marginal efetivo que eles causam no trânsito: tempo, custo do veículo, custo de manutenção marginal de outros usuários de automóveis, emissão de poluentes e influência de congestionamento.
- *Land value capture*: O objetivo central do ganho em valores das propriedades é recuperar o custo de capital do investimento no transporte, capturando o incremento no valor da terra resultante de investimentos em transportes (Medda, 2011). Esses investimentos são semelhantes aos impostos sobre a propriedade, mas são considerados os valores que derivam benefício financeiro com a oferta local de serviços públicos: melhora na acessibilidade por meio de condições de uma mobilidade ativa ou construção de uma linha de metrô (Olsen & Fearnley, 2014).
- *Operações urbanas consorciadas*: Nessa modalidade, o setor público, ao definir o zoneamento urbano, estabelece no plano diretor a relação entre área edificável e a área do terreno, sendo chamado de coeficiente de aproveitamento básico (CAB). Sobre o coeficiente de aproveitamento, é oferecida a possibilidade de edificar acima do CAB, constituindo um potencial adicional construtivo, mediante a contrapartida, que é a outorga onerosa do direito de construir. Com isso, o objetivo é “requalificar uma área da cidade ou para implantar e/ou ampliar infraestruturas urbanas, por meio de intervenções, em áreas da cidade onde haja interesse imobiliário com demanda acima dos limites estabelecidos pela legislação urbanística” (Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro, 2014, p. 28).

A Figura 3.3.1 apresenta um comparativo remissivo, pontuando vantagens e desvantagens de cada uma dessas modalidades.

(Figura 3.3.1)**SÍNTESE DAS MODALIDADES DE FINANCIAMENTO DA MOBILIDADE URBANA**

Modelo	Vantagens	Desvantagens
Empréstimos	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de bancos de desenvolvimento internos e externos com recursos para mobilidade urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de passivo para o contratante. • É comum que o orçamento do projeto seja subestimado, gerando mais dispêndios.
Tributação combustível (Cide-Combustíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição dos recursos para todos os entes federados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Com as diversas alterações e até a redução a zero, provocou insegurança institucional. Os municípios não sabem quando e até quando podem contar com o recurso.
Pedágio urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de receita extraorçamentária, possível capacidade de financiar investimentos e custos da mobilidade urbana. • Apresenta capacidade na redução de congestionamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • A oposição da opinião pública vem dificultando a implantação em diversas cidades do mundo. • Ainda não aplicado no Brasil.
Ganho em valores das propriedades	<ul style="list-style-type: none"> • Não representa aumento de dispêndio público – governo e cidadão: apenas ocorre a captura da valorização das propriedades provenientes da melhoria da mobilidade urbana. • Geração de receitas para diversas fases do projeto: financiamento, implantação, operação e expansão. • Forte relação entre transportes e uso do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No Brasil, ainda não está claro sua participação na arrecadação do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).
Operações urbanas consorciadas	<ul style="list-style-type: none"> • Alavancagem financeira para financiamento, sem necessidade de especulação imobiliária. • Revitalização e reordenamento de áreas específicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • O <i>rent-seeking</i> pode provocar gentrificação. • Mesmo com a alta capacidade de captar volumes vultosos de recursos na operação financeira dos Certificados de Potencial Adicional de Construção (Cepac), não há foco na geração de receitas na exploração econômica das operações urbanas consorciadas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

É possível identificar que, dentro do que a Lei nº 12.587/2012 define como fontes de financiamento não tarifárias, as formas de financiamento podem ser categorizadas e classificadas entre as que geram receitas sem dispêndio público.

Essa categorização dos projetos em variáveis dicotômicas (zero para projetos que geram dispêndios e um para os que geram receitas) permite verificar a sustentabilidade financeira dos projetos, independentemente do modelo adotado. O importante é que, transformados em dados de saída, como valores de uma variável que identifique o financiamento, seja possível diferenciar projetos em que há uma preocupação com financiamento por geração de receita daqueles que, de forma direta ou indireta, geram dispêndio público.

3.4 Escalonamento multidimensional

Conforme apontam Machado, Duarte e Duarte (2011), as técnicas de EMD são desenvolvidas para realizar representações espaciais de objetos e estímulos complexos sobre como as pessoas fazem julgamentos, que representam cada objeto, a exemplo de um ponto em um espaço dimensional. O EMD busca representar medidas de proximidade entre objetos de tal forma que seja possível uma inspeção visual, incorporando dimensões suficientemente capazes de representar a similaridade ou dissimilaridade entre os pares de objetos (Souza, 2010).

A medida de distância usualmente utilizada em EMD é a distância euclidiana. Conforme Esmalifalak, Ajirlou, Behrouz e Esmalifalak (2015), a métrica euclidiana é uma função $d: \mathbb{R}^M \times \mathbb{R}^M \rightarrow \mathbb{R}$, que designa a quaisquer dois vetores (objetos, indivíduos, projetos) $i = i_1, \dots, i_m$ e $j = j_1, \dots, j_m$ e $m = 1, \dots, M$ espaço dimensão, que dará a distância entre quaisquer dois vetores. Matematicamente, a distância euclidiana entre o vetor de i e j pode ser definida da seguinte forma:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{m=1}^M (i_m - j_m)^2} \quad (1)$$

em que:

$M = 1, 2, \dots, m$;

i_m = valor da variável m para o vetor i ;

j_m = valor da variável m para o vetor j .



Cardoso e Scarpel (2010, p. 6) apontam que o EMD produz uma matriz das distâncias d_{ij} e procura encontrar a disposição dos pontos no espaço com M -dimensões, “de tal forma que as coordenadas dos n pontos ao longo das dimensões produza uma matriz de distâncias Euclidianas cujos elementos estão tão próximos quanto possível aos elementos da matriz de distâncias”. A diferença entre essas duas matrizes representa um ruído dada a imprecisão na medida e, conforme Souza (2010), quantificável pela soma de todos os erros sobre os pares (i,j) , o que é definido por Kruskal (1964) como nível de estresse.

O nível de estresse representa a fidedignidade do modelo, “medida semelhante ao coeficiente de correlação, mensurando quanto seria ruim a diferença entre as medidas de proximidade e as correspondentes distâncias” (Bevilacqua, 2004, p. 48). Para medir o nível de estresse, existe o modelo de estresse, conforme Equação 2:

$$Stress = \frac{\sum_{ij} (\delta(ij) - d_{ij})^2}{\sum d_{ij}^2} \quad (2)$$

em que:

$\delta(ij)$ = dissimilaridade entre os i -ésimos e j -ésimos objetos;

d_{ij} = distância original entre os i -ésimos e j -ésimos objetos.

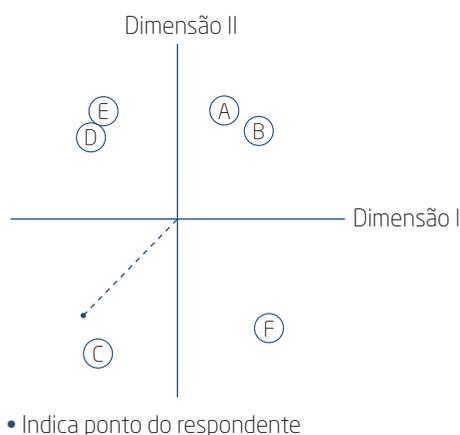
Na Equação 2, à medida que a dissimilaridade se aproxima da distância original entre os objetos i e j , menor é o estresse; e o oposto irá demonstrar que a quantidade de dimensões utilizadas para estimar a dissimilaridade é insuficiente, mesmo que duas dimensões facilitem a visualização para a análise. Contudo, o número de dimensões também depende do número de objetos avaliados, sendo interessante adotar “um número de objetos quatro vezes maior do que o de dimensões” (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2009, p. 496).

Para auxiliar a definição da quantidade de dimensões suficientes, os métodos *elbow criterion* e o diagrama de Shepard atendem aos testes adotados na bibliografia de EMD. O *elbow criterion*, ou teste do cotovelo, relaciona o estresse de Kruskal com a dimensionalidade. Após o cálculo das distâncias entre cada par de pontos, obtido o nível de estresse entre as distâncias e as disparidades, sendo esse estresse considerado alto, os pontos deverão ser movidos para minimizar o estresse; caso o estresse esteja baixo, o mapa perceptual poderá ser construído.

3.5 Ponto ideal

Os mapas perceptuais representam quão distantes os objetos estão uns dos outros, indicando a dissimilaridade entre eles. Entretanto, a disposição espacial não indica qual o melhor ponto ou qual deverá ser o critério de seleção e priorização. Para Hair et al. (2009), alcançar esse fim é possível com a inclusão de um ponto que represente a combinação perfeita entre os atributos, indicando um objeto ideal que sirva de referência para identificar quão distantes os objetos estão do PI (Figura 3.5.1).

(Figura 3.5.1)
PONTO IDEAL NO MAPA PERCEPTUAL



Fonte: Hair et al. (2009, p. 501).

Na Figura 3.5.1, existe um PI que foi construído a partir dos interesses de um ponto que representasse as melhores características esperadas. Observando esse mapa, a proximidade com o PI vai identificar a ordem de preferência entre os pontos do mapa. Nesse caso, a ordem seria C, F, D, E, A, B, sendo C o de maior preferência e B o de menor preferência. O método utilizado foi a representação pontual, que é o método mais facilmente compreendido, pois usa a distância euclidiana, ou seja, uma distância em linha reta para ordenar a preferência (Hair et al., 2009, p. 503).

Dessa forma, com a inserção de PI, é possível escalonar preferência, ao identificar os pontos que mais tenham prioridade que os outros, dado um determinado grupo de características para cada ponto. Outra característica que torna essencial a existência de um PI é que ele, dentro do modelo que

este estudo pretende desenvolver, representa o conjunto de características que um projeto de mobilidade urbana possa significar em relação ao desejo de soluções para aquele momento específico.

Nesse sentido, se, durante o processo de seleção dos projetos, o mapa perceptual representar que todos os projetos em questão, expressos como objetos, estão distantes do PI, isso permitirá ao gestor responsável pela seleção identificar que nenhum vai atender aos objetivos esperados. Assim, evita-se o risco de escolher o projeto menos pior entre um conjunto de projetos ruins ou distantes do que se pretende alcançar com o investimento.

4. METODOLOGIA PARA ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA

O modelo de avaliação proposto neste artigo pressupõe que os benefícios estimados em análises CBA podem ser compreendidos como efeitos de um processo de causa e consequência, e a configuração urbana contribui para a formação de congestionamentos, número de acidentes, população atendida, tempo de viagem e consumo de combustível, entre outros. Outro pressuposto que fundamenta a proposição do modelo está na necessidade de indicar a sustentabilidade financeira do projeto: é importante priorizar projetos que não causem impactos fiscais e tarifários.

Esses dois novos conceitos, somados a análises financeiras e econômicas utilizadas atualmente nos Planos Diretores de Transporte e Mobilidade (PDTM), servem como fonte dos dados de entrada para o tratamento estatístico. A estrutura do método de classificação e priorização a partir dos mapas perceptuais, que apontam a distância relativa dos projetos, considerando o conjunto de variáveis proposto, é dividida em oito etapas:

- Primeira etapa: seleção dos PDTM.
- Segunda etapa: identificação da avaliação financeira e econômica.
- Terceira etapa: elaboração dos mapas de segmentos.
- Quarta etapa: identificação dos métodos de financiamento.
- Quinta etapa: construção do PI.
- Sexta etapa: padronização dos dados de entrada.
- Sétima etapa: aplicação do EMD.
- Oitava etapa: classificação e priorização dos projetos.

O tratamento dos dados visa promover uma padronização entre eles, evitando discrepância entre as variáveis e que algumas se beneficiem em detrimento de outras devido ao gradiente de dados de entrada. Assim, para realizar o EMD, o uso das variáveis padronizadas pelo escore-z representa que as variáveis terão a mesma influência nas distâncias euclidianas das variáveis dos projetos.

5. APLICAÇÃO DO MODELO

Para a realização de um estudo de caso, foi selecionada uma amostra de cidades com PDMT apresentados ao Ministério das Cidades no Programa PAC2 Mobilidade Grandes Cidades, que possuem todas as variáveis desejadas para o modelo. As cidades escolhidas foram Belém/PA, Brasília/DF e Manaus/AM. Adicionou-se a cidade de Cuiabá/MT, que possui mapa axial e o projeto de mobilidade, mas não possui indicadores de viabilidade econômica. O motivo dessa inclusão é observar se o modelo conseguirá diferenciar Cuiabá de forma negativa em relação às outras três cidades que possuem todas as variáveis. O objetivo é identificar se o EMD transmite aos resultados a deficiência de indicadores de viabilidade econômica do projeto dessa cidade.

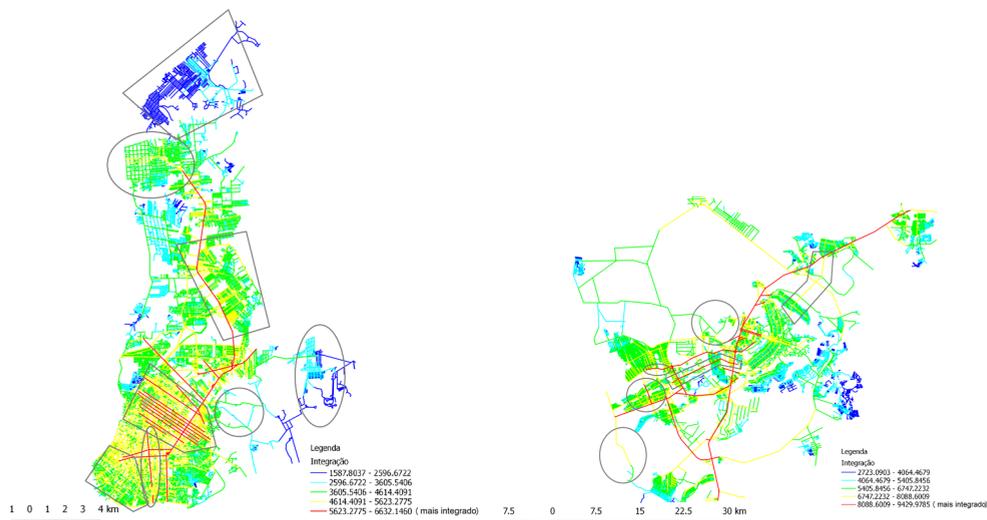
Para a construção do PI, serão utilizados os maiores valores de cada variável da amostra. Assim, haverá um referencial para verificar qual é o melhor projeto em relação aos demais, bem como suas dissimilaridades.

5.1 Elaboração dos mapas de segmentos

Todos os projetos que compõem a amostra apresentam detalhes das intervenções na infraestrutura urbana de suas cidades. Nesse caso, é possível, a partir de um mapa axial preexistente, projetar essas intervenções e construir um mapa de segmentos da malha viária antes da existência do projeto (Figura 5.1.1), bem como um segundo mapa com a existência do projeto, calculando a variação das variáveis topológicas.

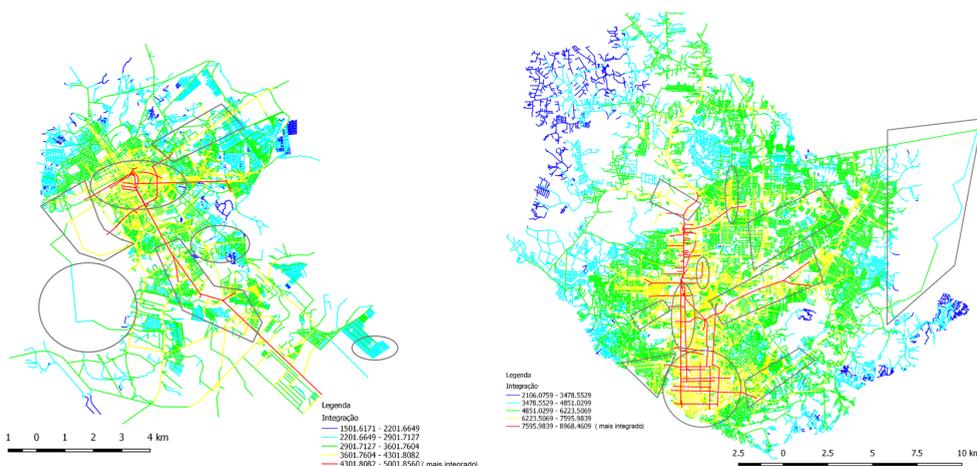
(Figura 5.1.1)

MAPAS DE SEGMENTOS DE SITUAÇÕES PROPOSTAS PARA BELÉM, BRASÍLIA, CUIABÁ E MANAUS



Mapa de segmentos de Belém

Mapa de segmentos de Brasília e entorno



Mapa de segmentos de Cuiabá

Mapa de segmentos de Manaus

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para compor os dados de entrada para o modelo nessa etapa, levantaram-se as variáveis da sintaxe espacial para essas cidades (Figura 5.1.2).

(Figura 5.1.2)

SÍNTESE DOS DADOS DE ENTRADA ORIGINADOS DAS VARIÁVEIS TOPOLÓGICAS

Cidade	Variação da integração média	Oposto da variação da profundidade média
Belém	6,31%	+7,50%
Brasília	1,60%	+1,04%
Cuiabá	-0,60%	-1,37%
Manaus	8,03%	+5,38%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Disponibilizar as variações dessa forma, trocando o sinal da variação da profundidade média, facilita, quando se realiza o EMD, que o modelo entenda que variações negativas da profundidade média são, na verdade, indicadores de melhoria. Quando a profundidade média apresentar variações positivas, o modelo irá identificá-las como retrocesso na mobilidade.

5.2 Métodos de financiamento

A quarta etapa para aplicação do modelo propõe o levantamento da estrutura de financiamento dos projetos, seja na captação de recursos, seja na operação e manutenção deles. Os métodos de financiamento dos projetos da amostra foram colhidos em seus respectivos projetos e classificados conforme o resultado observado na Figura 5.2.1.

(Figura 5.2.1)

SÍNTESE DOS DADOS DE ENTRADA ORIGINADOS DOS MÉTODOS DE FINANCIAMENTO DOS PROJETOS

Cidade	Receitas extratarifárias	Receitas alternativas	Subsídios orçamentários	Subsídios cruzados	Valor da variável dicotômica (1,0)
Belém			X	X	0
Brasília			X	X	0
Cuiabá			X		0
Manaus			X	X	0

Fonte: Elaborada pelos autores.



Além dos recursos federais solicitados dentro do Programa PAC2 Mobilidade Grandes Cidades, Belém prevê a utilização de um fundo consorciado com recursos do governo do estado do Pará. Brasília propõe uma melhoria na gestão tarifária para criação de fundo consorciado e empréstimo com Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), além da concessão de subsídios. Cuiabá sinaliza origem de recursos de convênios com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), linha de crédito da Caixa Econômica Federal e contrapartidas do governo do estado de Mato Grosso. Manaus aponta recursos tarifários. De fato, todos os projetos fazem recomendações para que as origens de financiamento sejam elaboradas, exceto o plano de Cuiabá que não faz menção à forma de captação dos recursos para cobrir os investimentos propostos no projeto.

5.3 Construção do ponto ideal

A principal contribuição do modelo aqui proposto é a ideia de PI, para servir de ponto de comparação relativa entre projetos. Além disso, a definição do PI é um grande desafio em si. Isso se dá porque as diretrizes e os objetivos das políticas públicas não deixam claro “quanto” se espera de melhora da mobilidade, nem “como”, evidenciando apenas “o que se espera”. Para tanto, serão construídos dois PIs, para que, de forma comparativa, possam suprir a subjetividade presente nos objetivos da política pública avaliada:

- *PI do tipo 1:* Para construção desse PI, serão utilizados os maiores valores de cada variável da amostra. Assim, servirá como referencial para verificar qual é o melhor projeto em relação aos demais e suas dissimilaridades.
- *PI do tipo 2:* Para construção desse PI, são utilizados valores que atendam à subjetividade dos objetivos da política pública, para verificar a distância relativa dos projetos com o que se espera. Nesse critério, é possível eliminar todos os projetos caso estejam a distâncias relativas muito grandes do PI e também aquelas muito próximas a ele. Os critérios serão:
 - 1) TIR: Conforme Portal PPP (2013), as concessões em transportes orbitam em torno de uma TIR de 11% ao ano.
 - 2) Razão B/C: Em um cenário em que os benefícios supram os custos minimamente, o valor adotado dessa variável é 1.
 - 3) Variáveis topológicas: As cidades que pertencem à amostra foram avaliadas por Medeiros (2013) dentro de um mesmo grupo composto

por 18 cidades, sendo 17 capitais. Assim, os valores das variáveis podem ser a maior variação das variáveis da amostra em relação à média do grupo construído por Medeiros (2013).

- 4) Financiamento: O valor a ser adotado será 1, que é o indicativo de sustentabilidade financeira, sem ônus direto ou indireto para a população.

5.4 Padronização dos dados de entrada

As figuras 5.4.1 e 5.4.2 apresentam os valores nominais – para o PI do tipo 1 e para o PI do tipo 2, respectivamente – levantados para a aplicação no EMD.

(Figura 5.4.1)

DADOS DE ENTRADA COM PI DO TIPO 1 (VALORES NOMINAIS)

Grupo	Variável	Cidade	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-1
Financiamento	Tipo de modelo		0	0	0	0	0
Econômica	TIR		41%	37,78%	0	21%	41%
	B/C		2,53	3,66	0	1,36	3,66
Topológica	Variação da integração média		6,31%	1,60%	-0,60%	8,03%	8,03%
	Número simétrico da variação da profundidade média		7,50%	1,04%	-1,37%	5,38%	7,50%

Fonte: Elaborada pelos autores.

(Figura 5.4.2)

DADOS DE ENTRADA COM PI DO TIPO 2 (VALORES NOMINAIS)

Grupo	Variável	Cidade	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-2
Financiamento	Tipo de modelo		0	0	0	0	1
Econômica	TIR		41%	37,78%	0	21%	11%
	B/C		2,53	3,66	0	1,36	1
Topológica	Variação da integração média		6,31%	1,60%	-0,60%	8,03%	34,55%
	Número simétrico da variação da profundidade média		7,50%	1,04%	-1,37%	5,38%	15,75%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme escore-Z, para padronizar dados, os valores que servirão de fato como dados de entrada são apresentados nas figuras 5.4.3 e 5.4.4 para o PI do tipo 1 e para o PI do tipo 2, respectivamente.

(Figura 5.4.3)

DADOS DE ENTRADA COM PI DO TIPO 1 (ESCORE-Z)

Grupo	Variável	Cidade	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-1
Financiamento	Tipo de modelo		0	0	0	0	0
Econômica	TIR		0,722	0,541	-1,582	-0,402	0,722
	B/C		0,181	0,901	-1,424	-0,560	0,901
Topológica	Varição da integração média		0,414	-0,778	-1,335	0,849	0,849
	Número simétrico da variação da profundidade média		0,872	-0,742	-1,345	0,342	0,872

Fonte: Elaborada pelos autores.

(Figura 5.4.4)

DADOS DE ENTRADA COM PI DO TIPO 2 (ESCORE-Z)

Grupo	Variável	Cidade	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-2
Financiamento	Tipo de modelo		-0,447	-0,447	-0,447	-0,447	1,789
Econômica	TIR		1,081	0,896	-1,271	-0,066	-0,640
	B/C		0,577	1,378	-1,207	-0,247	-0,502
Topológica	Varição da integração média		-0,259	-0,591	-0,747	-0,137	1,734
	Número simétrico da variação da profundidade média		0,277	-0,696	-1,060	-0,042	1,521

Fonte: Elaborada pelos autores.

Esses dados padronizados pelo escore-Z foram usados como dados de entrada para o EMD, utilizando a ferramenta estatística XLSTAT[®], um suplemento do Excel, na etapa seguinte.

5.5 Aplicação do EMD

Nessa etapa, geraram-se as matrizes de proximidade, uma matriz quadrática, considerando a distância euclidiana entre as variáveis dos projetos para calcular a dissimilaridade entre esses projetos. A Figura 5.5.1 representa a matriz com PI do tipo 1, e a Figura 5.5.2, a matriz com PI do tipo 2.

(Figura 5.5.1)

MATRIZ QUADRÁTICA PARA PI DO TIPO 1

	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-1
Belém	0	2,140	3,983	1,511	0,842
Brasília	2,140	0	3,254	2,617	2,300
Cuiabá	1,511	2,617	0	3,123	4,517
Manaus	1,511	2,617	3,123	0	1,918
PI-1	0,842	2,300	4,517	1,918	0

Fonte: Elaborada pelos autores.

(Figura 5.5.2)

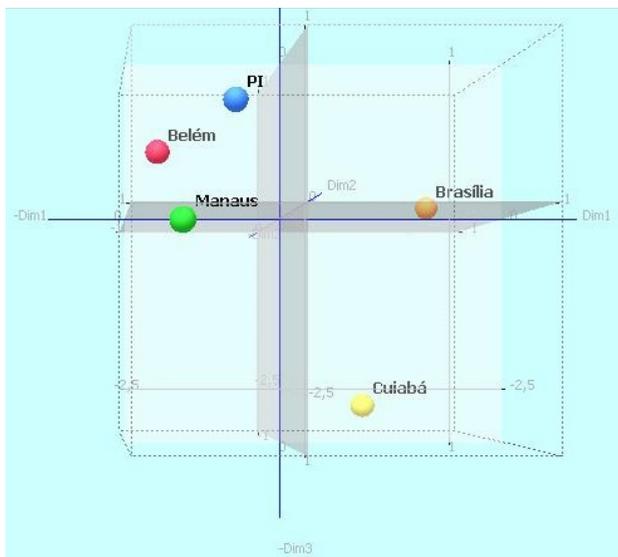
MATRIZ QUADRÁTICA PARA PI DO TIPO 2

	Belém	Brasília	Cuiabá	Manaus	PI-2
Belém	0	1,317	3,277	1,453	3,827
Brasília	1,317	0	3,396	2,049	4,606
Cuiabá	3,277	3,396	0	1,944	4,325
Manaus	1,453	2,049	1,944	0	3,368
PI-2	3,827	4,606	4,325	3,368	0

Fonte: Elaborada pelos autores.

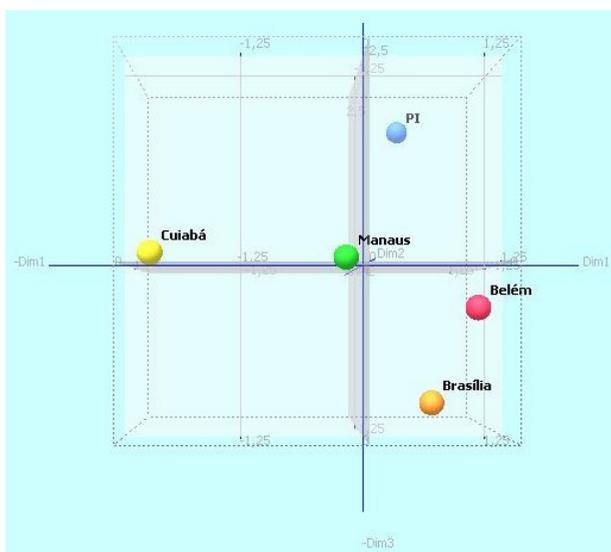
O mapa perceptual da condição em que o PI é do tipo 1 está representado Figura 5.5.3, e o mapa perceptual da condição em que o PI é do tipo 2, na Figura 5.5.4.

(Figura 5.5.3)
MAPA PERCEPTUAL COM TRÊS DIMENSÕES (PI-1)



Fonte: Elaborada pelos autores.

(Figura 5.5.4)
MAPA PERCEPTUAL COM TRÊS DIMENSÕES (PI-2)



Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise dos mapas perceptuais permitiu visualizar que Cuiabá manteve-se distante de todos os projetos, assim como do PI, nas duas situações (PI-1 e PI-2). Esse era um resultado esperado do modelo, pois o projeto de Cuiabá apresentou desempenho negativo em todas as dimensões. Caso, em qualquer uma das situações, Cuiabá se aproximasse dos PIs ou dos demais projetos, isso seria motivo suficiente para refutar o modelo, o que não ocorreu.

Por fim, os dados de saídas para análise da dissimilaridade entre pontos estão apresentados nas tabelas comparativas entre pares de pontos: PI-1 (Figura 5.5.5) e PI-2 (Figura 5.5.6).

(Figura 5.5.5)

TABELA COMPARATIVA ENTRE PARES (PI-1)

Par	Dissimilaridade	Distância	Rank (dissimilaridade)	Rank (distância)
Belém-PI-1	0,842	0,843	1	1
Belém-Manaus	1,511	1,509	2	2
Manaus-PI-1	1,918	1,912	3	3
Belém-Brasília	2,140	2,138	4	4
Brasília-PI-1	2,300	2,296	5	5
Brasília-Manaus	2,617	2,624	6	6
Cuiabá-Manaus	3,123	3,116	7	7
Brasília-Cuiabá	3,254	3,250	8	8
Belém-Cuiabá	3,983	3,987	9	9
Cuiabá-PI-1	4,517	4,524	10	10

Fonte: Elaborada pelos autores.

(Figura 5.5.6)

TABELA COMPARATIVA ENTRE PARES (PI-2)

Par	Dissimilaridade	Distância	Rank (dissimilaridade)	Rank (distância)
Belém-Brasília	1,317	1,316	1	1
Belém-Manaus	1,453	1,442	2	2

(continua)

(Figura 5.5.6 (conclusão))**TABELA COMPARATIVA ENTRE PARES (PI-2)**

Par	Dissimilaridade	Distância	Rank (dissimilaridade)	Rank (distância)
Cuiabá-Manaus	1,944	1,935	3	3
Brasília-Manaus	2,049	2,054	4	4
Belém-Cuiabá	3,277	3,287	5	5
Manaus-PI-2	3,368	3,366	6	6
Brasília-Cuiabá	3,396	3,394	7	7
Belém-PI-2	3,827	3,831	8	8
Cuiabá-PI-2	4,325	4,327	9	9
Brasília-PI-2	4,606	4,603	10	10

Fonte: Elaborada pelos autores.

Completados os cálculos das dissimilaridades de pares entre todos os projetos e os PIs, a seção seguinte apresenta a análise dos resultados.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO

O questionamento principal se refere à definição do PI. Portanto, utilizaram-se duas formas de definição de PIs, e o EMD foi gerado duas vezes para comparar as variáveis dos projetos com cada tipo de PI definido. O PI do tipo 1 foi definido para identificar o melhor projeto entre os grupos da amostra, e o PI do tipo 2 serve para simular as condições que atendam aos objetivos do Programa PAC2 Mobilidade Grandes Cidades.

Analisaram-se separadamente os cenários.

- *Cenário com PI do tipo 1*: Nesse cenário, Belém apresentou melhor projeto da amostra, pois aproximou-se mais do PI (Figura 6.1).

Belém tem a maior TIR entre os projetos (41%) e a melhor variação de profundidade média (redução de 7,50%). Mesmo não sendo o melhor projeto em razão B/C e integração média, tem valores consideráveis para essas variáveis. Belém e Cuiabá eram extremos da amostra, e, se o modelo não apontasse essa condição, deveria ser refutado, o que não ocorreu.

(Figura 6.1)

RANKING DAS DISTÂNCIAS DOS PROJETOS EM RELAÇÃO AO PI-1

Par	Dissimilaridade	Distância	Rank (dissimilaridade)	Rank (distância)
Belém-PI-1	0,843	0,843	1	1
Manaus-PI-1	1,912	1,912	3	3
Brasília-PI-1	2,296	2,296	5	5
Cuiabá-PI-1	4,524	4,524	10	10

Fonte: Elaborada pelos autores.

Manaus está mais próximo do PI que Brasília e Cuiabá. Quando se compara a distância relativa entre os projetos, Belém e Manaus estão muito próximos (dissimilaridade = 1,511 e distância = 1,471), sendo no *ranking as menores distâncias* no mapa perceptual, o que permite agrupá-los como bons projetos, visto que possuem os melhores desempenhos em todas as variáveis. Poder-se-ia enquadrar Brasília como um projeto intermediário, pois está na terceira posição de distância relativa de PI, mas se manteve distante de Cuiabá (dissimilaridade = 3,254 e distância = 3,234).

- *Cenário com PI do tipo 2*: Nesse cenário, todos os projetos ficaram distantes do PI, pois foram submetidos a uma condição de objetivos específicos (Figura 6.2).

(Figura 6.2)

RANKING DAS DISTÂNCIAS DOS PROJETOS EM RELAÇÃO AO PI-2

Par	Dissimilaridade	Distância	Rank (dissimilaridade)	Rank (distância)
Manaus-PI-2	3,368	3,366	6	6
Belém-PI-2	3,827	3,831	8	8
Cuiabá-PI-2	4,325	4,327	9	9
Brasília-PI-2	4,606	4,603	10	10

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em condições nas quais os valores para o PI independem dos resultados dos demais projetos da amostra, identificou-se que cada um dos projetos

está distante do PI. Isso corrobora a hipótese de que não basta o projeto ser melhor que os demais, ele precisa atender às expectativas de diretrizes e aos objetivos da política pública em questão.

Observou-se que as avaliações dos projetos de mobilidade urbana buscam mostrar os benefícios e as intenções deles. Contudo, quando se confrontam projetos com as variáveis que apuram a sustentabilidade da oferta de tais benefícios, surgem divergências. Brasília teve dificuldades em apresentar variações significativas nas variáveis topológicas, pois mostrou uma alta profundidade média, inerente à configuração urbana local. Isso deixou a dissimilaridade de Brasília em relação ao PI do tipo 2 muito próxima à encontrada em Cuiabá.

Quando se verifica a proximidade entre os projetos comparados com a dissimilaridade entre esses e o PI, é possível imaginar que o gestor que coordena o processo de seleção de propostas poderia recusá-los, pois nenhum atende aos objetivos propostos. Contudo, é preciso que esses objetivos sejam claramente desenvolvidos e indicados para a construção do PI.

7. CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi construir uma metodologia para analisar, avaliar e priorizar projetos de planos de mobilidade urbana capazes de auxiliar a tomada de decisão de investimento, considerando variáveis financeiras, econômicas e espaciais.

Utilizaram-se ferramentas de análise econômica, sintática e de avaliação de sustentabilidade financeira, que são metodologias de avaliação de mobilidade urbana até então não usadas de forma conjugada. Verificou-se que integrar essas ferramentas em um único modelo melhorou o desempenho da avaliação e supriu lacunas. O instrumental estatístico EMD consolidou o comportamento das variáveis, permitindo uma avaliação coerente de uma amostra de quatro projetos do PAC2 Mobilidade Grandes Cidades. Ademais, o EMD facilitou a compreensão por meio do posicionamento dos projetos comparados em um mapa perceptual, representando suas dissimilaridades por meio de distâncias relativas, e dos dados de saída das tabelas comparativas entre todos os projetos e o PI.

O uso de EMD com a aplicação de variáveis econômicas, financeiras e espaciais mostrou-se eficaz para facilitar a tomada de decisão, ao apontar o melhor projeto e ao identificar quão próximos e/ou distantes os projetos estão dos objetivos de determinada política pública. Essa última questão é

inovadora na administração pública, pois permite recusar projetos que não atendam ao conjunto de condições para o alcance dos objetivos propostos nos programas, ainda que se destaquem em relação aos demais projetos.

Também se verificou que o EMD permite agrupar projetos com desempenhos semelhantes, possibilitando definir grupos que devam ser priorizados em programas de investimento em mobilidade urbana, bem como grupos de projetos que devam ser descartados da avaliação.

PRIORITIZATION OF URBAN MOBILITY INFRASTRUCTURE PROJECTS BASED ON URBAN CONFIGURATION AND MULTIDIMENSIONAL SCALING

ABSTRACT

Purpose: This article aims to propose an alternative methodology of analysis, assessment and prioritization of urban mobility master projects, capable of supporting investment decision-making, considering financial, economic and space variables.

Originality/value: There are no clear criteria on project proposal selection, what corroborates the critics about the selection process and prioritization of urban mobility projects in the Ministry of Cities. Intrinsically economic issues that are levelled in recent methodologies of investment and project analyses are variables considered hard to be converted into financial benefits to make up the financial evaluation.

Design/methodology/approach: The methodology proposed will draw on the multidimensional scaling as a multivariate assessment tool in order to evaluate and prioritize the projects using their economic variables, the spatial variables of the urban planning and the financial models of each project. The economic variables arise from the economic analysis available in the projects, as well as the projects' financing models. The spatial variables acquired from the social logic of space theory or spatial syntax allow the assessment of cities' integration capacity before project implementation and after their development, making it possible to identify improvements in the urban mobility conditions.

Findings: The use of multidimensional scaling by applying economic, financial and spatial variables has proved to be effective to promote

the decision-making, whether by indicating the best project, or identifying how close and/or distant they are from the objectives of a given public policy.

KEYWORDS

Space syntax. Projects prioritization. Infrastructure. Urban mobility. Multidimensional scaling.

REFERÊNCIAS

- Assaf, A., Neto (2011). *Curso de administração financeira* (2a ed.). São Paulo: Atlas.
- Bandeira, M. I. V. Q. B (2005). *Metodologia de priorização da expansão da rede de distribuição de gás natural com base na sintaxe espacial: Uma aplicação no setor residencial em Fortaleza* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil).
- Barros, A. P. B. G (2006). *Estudo exploratório da sintaxe espacial como ferramenta de alocação de tráfego* (Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil).
- Barros, A. P. B. G. (2014). *Diz-me como andas que te direi onde estás: Inserção do aspecto relacional na análise da mobilidade urbana para o pedestre* (Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil).
- Barros, A. P. B. G., Medeiros, V. A. S., Silva, P. C. M., & Holanda, F. R. B. (2008). Análise de sistemas de transporte urbano por meio da sintaxe espacial. *Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, Maputo, Moçambique, 5.
- Bevilacqua, S. (2004). O emprego da *multidimensional scaling*: Estudo de caso envolvendo seis instituições de ensino superior do nordeste paulista, uma contribuição para a qualidade em serviços. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia da Produção*, (3), 43–53.
- Brigham, E. F., & Ehrhardt, M. C. (2012). *Administração financeira: Teoria e prática*. São Paulo: Cengage Learning.
- Cardoso, M. M., Junior, & Scarpel, R. A. (2010). Construção do mapa perceptual dos riscos socioambientais utilizando o escalonamento multidimensional (MDS). *Encontro Nacional de Engenharia da Produção*, São Carlos, SP, Brasil, 30.

- Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro (2014). *Registro de Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio de Janeiro*. Código ISIN nº BRMCRJCPA003. São Paulo: BMFBovespa.
- Corrar, L. J., Paulo, E., & Dias, J. M., Filho (2007). *Análise multivariada: Para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. São Paulo: Atlas.
- Dalbem, M. C., Brandão, L., & Macedo-Soares, T. D. L. A. (2010). Avaliação econômica de projetos de transporte: Melhores práticas e recomendações para o Brasil. *Revista de Administração Pública*, 44(1), 87–117.
- De Melo, R. A., & Setti, J. R. (2007). Fluxos mínimos de veículos para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples. *Transportes*, 15(1), 16–23.
- Do Carmo, C. L., Raia, A. A., Júnior, & Nogueira, A. D. (2014). Aplicações da sintaxe espacial no planejamento da mobilidade urbana. *Ciência & Engenharia*, 22(1), 29–38.
- Esmalifalak, H., Ajirlou, A. I., Behrouz, S. P., & Esmalifalak, M. (2015). (Dis)integration levels across global stock markets: A multidimensional scaling and cluster analysis. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 8393–8402.
- Flyvbjerg, B. (2009). Survival of the unfittest: Why the worst infrastructure gets built, and what we can do about it. *Oxford Review of Economic Policy*, 25(3), 344–367.
- Flyvbjerg, B. (2013). Quality control and due diligence in project management: Getting decisions right by taking the outside view. *International Journal of Project Management*, 31(5), 760–774.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and risk: An anatomy of ambition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2005). How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation. *Journal of the American Planning Association*, 71(2), 131–146.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Bookman.
- Herdeiro, R. F. C. (2012). Escalonamento multidimensional. In L. J. Corrar, E. Paulo, & J. M. Dias, Filho (Orgs.), *Análise multivariada*. São Paulo: Atlas.



- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Cambridge: University Press.
- Holanda, F. R. B. (2007). Arquitetura sociológica. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 9(1), 115–129.
- Kim, H. K., & Sohn, D. W. (2002). An analysis of the relationship between land use density of office buildings and urban street configuration: Case studies of two areas in Seoul by space syntax analysis. *Cities*, 19(6), 409–418. doi:10.1016/S0264-2751(02)00071-9
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, 29(1), 1–27.
- Loureiro, V. (2016). *Mapa axial – sintaxe espacial – ferramentas de análise: Workshop introdutório*. Brasília: UniCeub.
- Machado, J. T., Duarte, F. B., & Duarte, G. M. (2011). Analysis of stock market indices through multidimensional scaling. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 16(12), 4610–4618.
- Mackie, P., Nellthorp, J., & Laird, J. (2005). Notes on the economic evaluation of transport projects [Transport Notes Series, N^o. TRN 5]. *World Bank*, Washington, DC.
- Mackie, P., & Worsley, T. (2013). *International comparisons of transport appraisal practice: Overview report*. Leeds, UK: Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Mackie, P., Worsley, T., & Eliasson, J. (2014). Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 47, 3–18.
- Medda, F. (2011). Land value finance: Resources for public transport. In R. Sietchiping (Ed.), *Innovative land and property taxation* (pp. 42–54). Nairobi, Kenya: UN Habitat.
- Medeiros, V. (2013) *Urbis Brasiliae: O labirinto das cidades brasileiras*. Brasília: Editora UnB.
- Muldoon-Smith, K., Greenhalgh, P., Conroy-Dalton, R., Alvanides, S., King, H., & Sparkes, B. (2015). Urban transactions: Investigating the relationship between spatial preference and spatial configuration in the city of Leeds. *International Space Syntax Symposium*, London, UK, 10.
- Olsen, S., & Fearnley, N. (2014). Policy transfer of public transport funding schemes: The case of Norway. *Research in Transportation Economics*, 48, 429–433.
- Paranaíba, A. de C. (2016). Os danos sociais e econômicos dos subsídios na mobilidade urbana do Brasil. *Mises: Interdisciplinary Journal of Philosophy, Law and Economics*, 4(2), 411–417. doi:10.30800/mises.2016.v4.141

- Paranaíba, A. de C. (2017). *Metodologia para priorização de projetos de infraestrutura em mobilidade urbana com base na configuração urbana e no escalonamento multidimensional* (Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil).
- Paranaíba, A. de C. (2018). Praxiologia e sintaxe espacial: Articulação epistemológica em favor da mobilidade urbana como ação humana. *Mises: Interdisciplinary Journal of Philosophy, Law and Economics*, 6(2), 363–371. doi:10.30800/mises.2018.v6.565.
- Pereira, A. C., & Silveira, O., Neto (2013). Viabilidade econômica de projetos e aspectos particulares em empreendimentos tipo *project finance* aplicados a investimentos em infraestrutura de transportes. *Revista Holos*, 28(6), 203–219.
- Portal PPP (2013). As concessões de transporte público de massa e as vozes das ruas. Recuperado de <http://www.pppbrasil.com.br/portal/content/artigo-concess%C3%B5es-de-transporte-p%C3%ABlico-de-massa-e-vozes-das-ruas>.
- Pujadas, P., Cavalaro, S. H. P., & Aguado, A. (2018). Mives multicriteria assessment of urban-pavement conditions: Application to a case study in Barcelona. *Road Materials and Pavement Design*, 20(213), 1–17. doi:10.1080/14680629.2018.1474788
- Pujadas P., Pardo-Bosch F., Aguado-Renter, A., & Aguado A. (2017). Mives multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29–37. doi:10.1016/j.landusepol.2017.02.014
- Roigé, N., Pujadas P., Cardús, J., & Aguado, A. (2019). Water network renewal strategy: A case study of Aigües De Barcelona. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 173(2), 1–27. doi:10.1680/jwama.18.00100
- Souza, E. C. (2010). *Os métodos biplot e escalonamento multidimensional nos delineamentos experimentais* (Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil).
- Tribunal de Contas da União (2015). *Relatório de auditoria operacional: Governança em políticas públicas de mobilidade: TC 020.745/2014-1*. Brasília: TCU.
- Ugalde, C. M., & Rigatti, D. (2007). Configuração espacial e desenvolvimento urbano-regional. *Anais do Encontro Nacional da Anpur*, 12.

NOTAS DOS AUTORES

Adriano C. Paranaíba, doutor pelo Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília (UnB); **Elieze B. Carvalho**, doutor pelo Departamento de Engenharia Civil, UnB.

Adriano C. Paranaíba é agora professor do Departamento de Áreas Acadêmicas 1 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG); Elieze B. Carvalho é agora analista em infraestrutura de transportes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Correspondências sobre este artigo devem ser enviadas para Adriano C. Paranaíba, Rua 75, 46, Central, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74055-110.

E-mail: adriano.paranaiba@ifg.edu.br

CORPO EDITORIAL

Editor-chefe

Gilberto Perez

Editor associado

David Ferreira Lopes Santos

Suporte técnico

Vitória Batista Santos Silva

PRODUÇÃO EDITORIAL

Coordenação editorial

Jéssica Dametta

Preparação de originais

Carlos Villarruel

Revisão

Paula Di Sessa Vavlis

Diagramação

Emap

Projeto gráfico

Libro