

## CENÁRIOS PROSPECTIVOS APLICADOS A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO MOMENTUM

Anderson Gonçalves Portella (UFF) E-mail: [anderson.portella@id.uff.br](mailto:anderson.portella@id.uff.br)

Wagner Dos Anjos Carvalho (UFF) E-mail: [wagnerc@id.uff.br](mailto:wagnerc@id.uff.br)

Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) E-mail: [cfsg1@bol.com.br](mailto:cfsg1@bol.com.br)

Marcos dos Santos (UFF) E-mail: [marcosdossantos\\_doutorado\\_uff@yahoo.com.br](mailto:marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br)

### Resumo

A Mobilidade Urbana é um termo que define a facilidade de deslocamento de pessoas e bens na cidade, desta forma, tem o objetivo de desenvolver não apenas as atividades econômicas, mas também as sociais no perímetro urbano de cidades, aglomerações urbanas e regiões metropolitanas. Ter um olhar voltado para a percepção da população acerca do uso dos diferentes meios de transporte é essencial para mitigar os constantes problemas vivenciados nas cidades. A cidade do Rio de Janeiro (RJ) enfrenta enormes desafios tanto para oferecer uma boa estrutura de mobilidade quanto para atender aspectos relacionados à sustentabilidade, tema que aparece de forma recorrente quando se fala de mobilidade urbana. Aspectos como geografia, crescimento desordenado, congestionamento do tráfego, deficiência do transporte, falta de integração entre os modais, violência e segurança, desigualdades socioeconômicas e eventos climáticos extremos tornam complexo lidar com o tema. Nesse sentido, este trabalho propõe a utilização do Método Unificado de Planejamento Estratégico Prospectivo, conhecido como Método Momentum para projeção de cenários futuros com relação à mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro. Os dados, coletados diretamente nos sites de cada instituição, contemplam todas as informações sobre os principais modais utilizados pela população na cidade. O método Momentum, por meio da ferramenta computacional Momentum em VBA (v.2) apresentou os resultados dos cenários, que foram classificados de acordo com os valores históricos de cada variável, contribuindo assim com um olhar estratégico no apoio à tomada de decisão, visando auxiliar o decisor e a sociedade a lidar com esse problema complexo.

**Palavras-Chaves:** *Mobilidade Urbana Sustentável, Método Momentum, Cenários Prospectivos, Planejamento Estratégico, Apoio à Decisão*

## 1. Introdução

A Mobilidade Urbana é um termo que define a facilidade de deslocamento de pessoas e bens na cidade, desta forma, tem o objetivo de desenvolver não apenas as atividades econômicas, mas também as sociais no perímetro urbano de cidades, aglomerações urbanas e regiões metropolitanas (Silva, 2014, p.2).

Os deslocamentos ocorrem através de veículos motorizados e não motorizados, além de toda a infraestrutura urbana, das quais destacamos vias e calçadas, como meio de locomoção e deslocamento cotidiano.

No artigo 5º XV da Constituição Federal Brasileira afirma que “é livre a locomoção no território nacional em tempo de paz, podendo qualquer pessoa, nos termos da lei, nele entrar, permanecer ou dele sair com seus bens” (Brasil, 1988, p.5).

Logo, tal liberdade é um direito fundamental amplo, assegurado a qualquer ser humano, além de vital para o desenvolvimento econômico e social da sociedade.

Ainda, conforme a Emenda Constitucional 90/2015, em seu Art. 6º preconiza:

“São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição” (Brasil, 1988, p.1, col.2).

Historicamente, com o aumento das populações, a mobilidade vem se degradando no Brasil (Carvalho, 2016, p. 7) acarretando “aumento do transporte individual motorizado, congestionamentos urbanos, aumento dos poluentes veiculares, entre outros problemas”.

A mobilidade urbana no Rio de Janeiro, devido à sua geografia única e alta densidade populacional, tem sido crucial para o desenvolvimento socioeconômico. O interesse por mobilidade sustentável cresceu, destacado pela Rio+20 em 2012.

O município adotou várias medidas, como investimentos em transporte público, faixas exclusivas para ônibus, programas de estímulo ao uso de bicicletas e expansão do metrô. A conscientização sobre a importância da mobilidade sustentável aumentou, influenciando as políticas públicas.

A Pesquisa Operacional é reconhecida como uma ferramenta eficaz para embasar cientificamente tais políticas, abrangendo áreas como Teoria de Filas, Programação Matemática, Cenários Prospectivos, Teoria dos Jogos, Teoria dos Grafos, Análise Envoltória de Dados, Simulação e Eventos Discretos, e Apoio à Decisão Multicritério (MCDM).

O propósito deste artigo é conduzir uma análise de Cenários Prospectivos, contemplando três cenários (Pessimista, Tendência e Otimista), para avaliar a mobilidade urbana sustentável na cidade do Rio de Janeiro. Este estudo será realizado por meio do Método Momentum, uma abordagem da Pesquisa Operacional voltada para a elaboração de Cenários Prospectivos.

Este artigo está dividido em 7 seções. A primeira seção é a Introdução. A segunda seção é a Descrição do Problema. A terceira seção é a Fundamentação Teórica. A quarta seção é o Método da Pesquisa. A quinta seção é a Proposta de Solução. A sexta seção é a Discussão dos Resultados. Finalmente, a última seção são as Considerações Finais.

## **2. Descrição do Problema**

### **2.1. Plano de mobilidade da cidade do Rio de Janeiro**

A prefeitura do Rio de Janeiro desenvolveu o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) por meio da Secretaria Municipal de Transportes para orientar investimentos públicos em infraestruturas de transportes ao longo de 10 anos, a partir de 2016. Este planejamento integra modais motorizados e não motorizados, priorizando transporte público, deslocamento a pé e por bicicleta, com o objetivo de reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

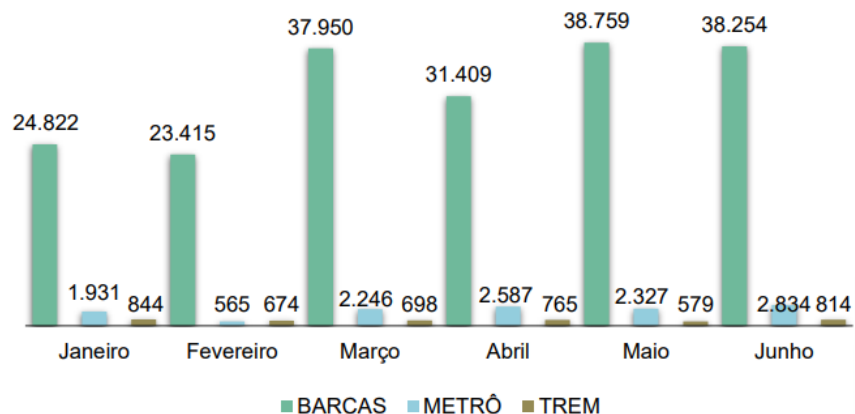
Identificando áreas que precisam de expansão na infraestrutura, a prefeitura busca promover a mobilidade urbana e direcionar os vetores de crescimento. O Governo do Estado do Rio de Janeiro demonstra sua preocupação com o impacto econômico-social do tema no Boletim da Mobilidade Metropolitana.

#### **2.1.1. Mobilidade urbana**

A mobilidade urbana sustentável no Rio de Janeiro promove o transporte coletivo, ciclovias, calçadas, incentiva o uso de bicicletas, veículos elétricos e compartilhamento de carros, destacando o papel crucial das empresas na promoção de alternativas sustentáveis e na redução do uso de veículos particulares (Rio de Janeiro, 2023, p. 8).

A bicicleta, como meio de transporte sustentável, promove a inclusão no espaço público, é não poluente, reduz os tempos de deslocamento, incentiva a atividade física, gerando saúde e bem-estar. A integração da bicicleta com o sistema de transporte público é crucial para promover a mobilidade sustentável nas cidades (Rio de Janeiro, 2023, p. 8).

A Figura 1, apresenta o total mensal das entradas de usuários com bicicletas nos modos de transporte: barcas, metrô e trem no primeiro semestre de 2023.

**Figura 1** - Entrada total mensal de usuários com bicicletas nos modos de transportes


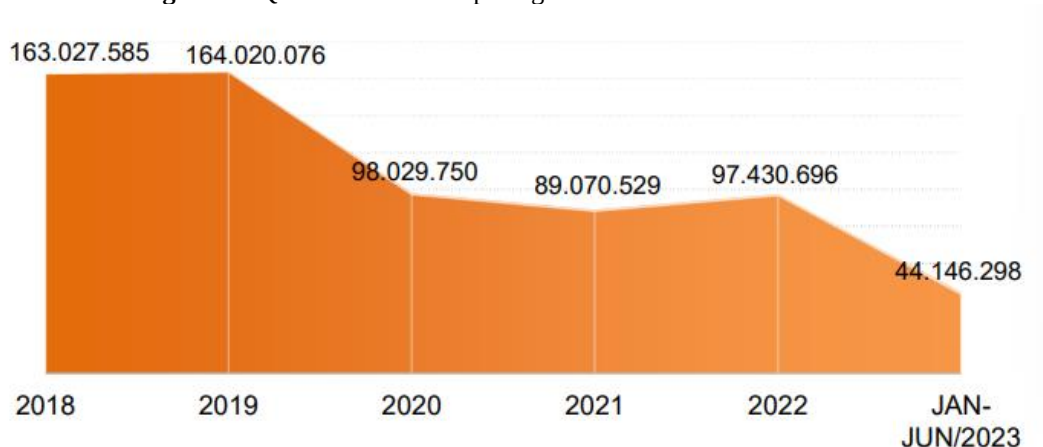
Fonte: Dados concessionárias (2023)

### 2.1.2. Sistema sobre trilhos

A SuperVia opera os trens urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro desde 1998. Com 270 quilômetros de malha ferroviária, cinco ramais, três extensões e 104 estações, atende diversos municípios, incluindo Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, entre outros (Rio de Janeiro, 2023, p. 12).

**Figura 2** - Malha ferroviária

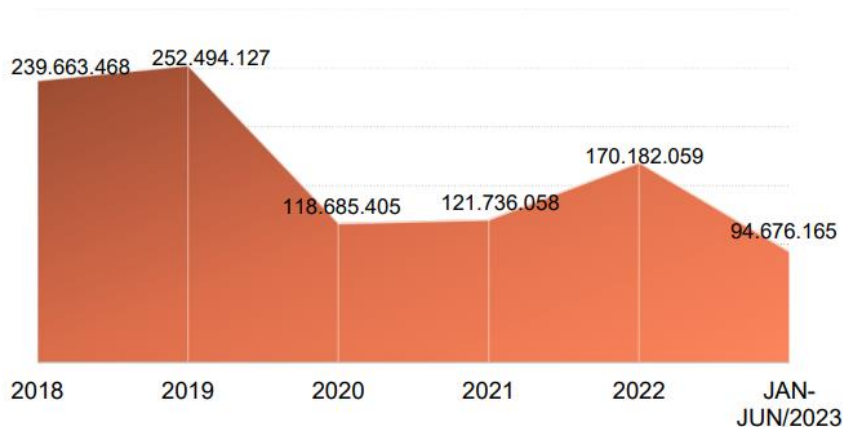

Fonte: SuperVia (2023)

**Figura 3** - Quantidade total de passageiros nos trens nos últimos 5 anos


Fonte: Elaboração SETRAM / SuperVia (2023)

Inaugurado em março de 1979, o Metrô do Rio de Janeiro, agora operado pela concessionária MetrôRio, começou transportando 60 mil usuários diariamente. Atualmente, possui 41 estações, 14 pontos de integração e 56,5 quilômetros de trilhos distribuídos em 3 linhas (1, 2 e 4), atendendo uma média de 900 mil passageiros por dia (Rio de Janeiro, 2023, p. 15).

O segundo maior sistema de metrô do Brasil, localizado no Rio de Janeiro, desempenha um papel crucial no transporte diário, especialmente na região central da cidade. Destaca-se por sua importância em eventos anuais, como a operação especial pós-Réveillon de Copacabana e o funcionamento 24 horas durante o Carnaval (Rio de Janeiro, 2023, p. 15).

**Figura 4** - Quantidade total de passageiros do metrô nos últimos 5 anos


Fonte: Elaboração SETRAM / MetrôRio (2023)

O metrô desempenha um papel fundamental na mobilidade urbana sustentável, integrando-se a diversos modos de transporte, como trens, barcas, metrô de superfície, BRT, VLT e bonde. Além disso, todas as estações são equipadas com dispositivos de acessibilidade (Rio de Janeiro, 2023, p. 16). A Figura 5 ilustra essas integrações.

Figura 5 - Malha metroviária

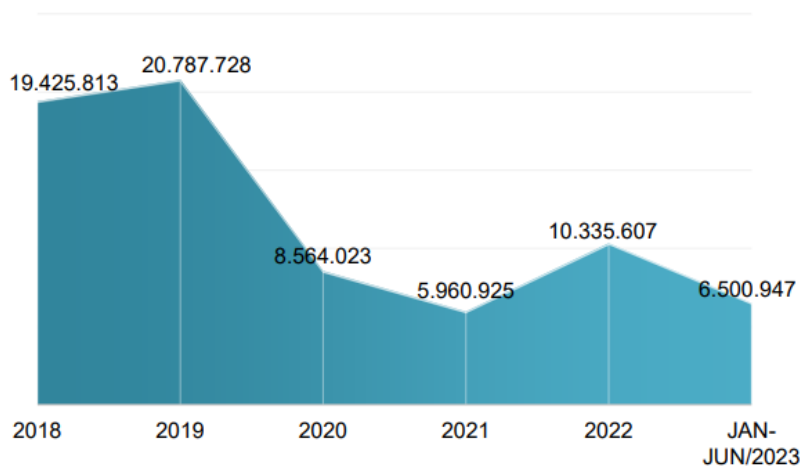


Fonte: MetrôRio (2023)

### 2.1.3. Sistema aquaviário

A CCR Barcas, concessionária privada de transporte aquaviário, opera as linhas de barcas no Rio de Janeiro, Niterói, Angra dos Reis e Mangaratiba desde julho de 2012. Com cinco estações e uma frota de 17 embarcações, atende à Ilha Grande, Mangaratiba e Angra dos Reis. A Figura 6 mostra o total de passageiros nos últimos 5 anos nas estações dos trens (Rio de Janeiro, 2023, p. 19).

Figura 6 - Quantidade total de passageiros das barcas nos últimos 5 anos

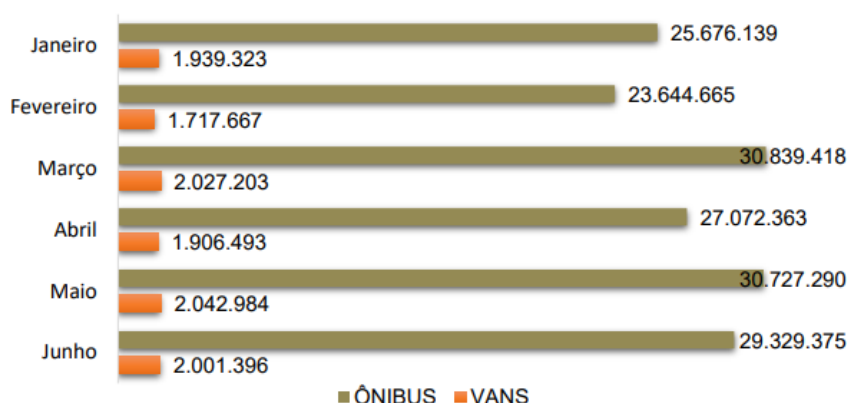


Fonte: Elaboração SETRAM / CCR BARCAS (2023)

### 2.1.4. Sistema rodoviário

Atualmente, mais de 30 milhões de passageiros utilizam o transporte rodoviário intermunicipal mensalmente no Rio de Janeiro. No total, 90 empresas operam cerca de 1.200 linhas de ônibus regulares, e 549 vans, regulamentadas por licitação, circulam em 99 trajetos (Rio de Janeiro, 2023, p. 22). A Figura 7 mostra as quantidades de passageiros mensais (pagantes e gratuidades) nos ônibus e vans intermunicipais no primeiro semestre de 2023.

**Figura 7** - Quantidade de passageiros mensais no primeiro semestre de 2023



Fonte: Elaboração SETRAM / RioCard (2023)

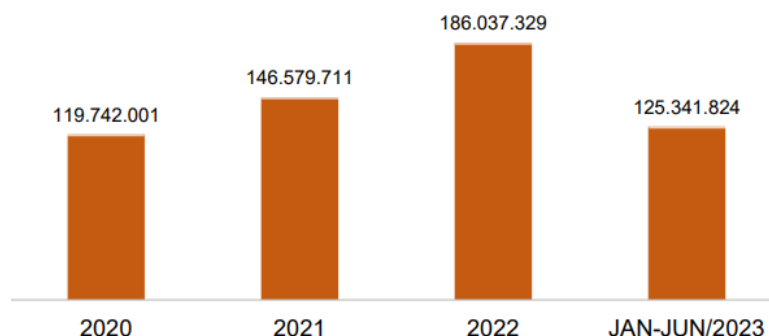
### 2.1.5. Políticas públicas

O Bilhete Único Intermunicipal (BUI) é uma política pública do Governo do Estado do Rio de Janeiro que busca melhorar a mobilidade urbana. Utilizando subsídios tarifários, o governo reduz os custos de deslocamento da população, especialmente em viagens mais longas, com o objetivo de promover o transporte público coletivo e impactar positivamente na demanda de passageiros (Rio de Janeiro, 2023, p. 24).

O Bilhete Único Intermunicipal (BUI) permite usar dois meios de transporte, um sendo intermunicipal, por até três horas, custando um valor subsidiado do governo. Válido em barcas, metrô, trem, ônibus, vans, BRT e VLT, pode ser usado duas vezes ao dia, com intervalo de uma hora (Rio de Janeiro, 2023, p. 24). O Vale Social, criado pela Lei Estadual nº 4.510/2005, oferece transporte gratuito em concessões estaduais para pessoas com deficiência e doentes crônicos em tratamento, inclusive acompanhante quando necessário (Rio de Janeiro, 2023, p. 25).

Em 2022, percebemos um aumento expressivo no volume de subsídios.

**Figura 8** - Quantitativo de transações realizadas nos últimos 5 anos no BUI



Fonte: Elaboração SETRAM / FETRANSPOR (2023)

O Plano de Mobilidade da cidade do Rio de Janeiro atenderá os objetivos almejados?

### 3. Fundamentação Teórica

Pamucar *et al.* (2020, p. 9) investigaram a seleção e priorização no Gerenciamento da Demanda de Transporte, um desafio para os decisores devido às incertezas relacionadas a mudanças econômicas, sucesso do projeto, alterações na mobilidade e características populacionais. Eles empregaram o modelo fuzzy *Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni*, uma ferramenta multicritério, para analisar o caso da mobilidade urbana em Istambul, comparando-o com outros quatro métodos.

Kiba-Janik e Witkowski (2019, p. 3) investigaram a demanda por transporte de cargas e passageiros, influenciada pelo crescimento populacional em áreas urbanas, gerando impactos econômicos, sociais e ambientais. A promoção de Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) foi avaliada com o método PROMETHEE, analisando o progresso de capitais selecionadas da União Europeia.

Cieśła *et al.* (2020, p. 2) propuseram um modelo de modelagem matemática para apoiar a política de mobilidade urbana sustentável no sistema de transporte metropolitano. Denominado *Metropolitam Transport Means Selection*, o modelo foi implementado na metrópole Silésia (Polônia), com o objetivo de incentivar o compartilhamento de meios de transporte pelos usuários.

Pamucar *et al.* (2021, p. 2) aprofundou seus estudos para explorar os conceitos de economia circular, aplicáveis aos 17 ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) da ONU. Utilizando o método DIBRC (*Defining Interrelationships Between Ranked Criteria II*), determinou pesos dos critérios e aplicou uma solução de compromisso combinado baseada em Dombi (D' CoCoSo) para priorizar conceitos de economia circular na mobilidade urbana.

Gompf *et al.* (2021, p. 2) buscaram apoiar o decisor na sustentabilidade social dos serviços de mobilidade, utilizando o ferramental multicritério, especificamente o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*). A pesquisa envolveu 48 especialistas em mobilidade urbana de acadêmicos, governos e prestadores de serviços, proporcionando orientações claras para os tomadores de decisão na área da mobilidade urbana sustentável.

Krishankumar *et al.* (2021, p. 2) abordam a sustentabilidade na mobilidade urbana para reduzir/erradicar a pegada de carbono na Índia, equilibrando sustentabilidade e crescimento. Utilizam o ferramental multicritério com um framework de decisão de dupla hierarquia, usando o método EDAS (*Evaluation Based on Distance from Average Solution*).

Eren e Katanalp (2022, p. 2) empregam uma abordagem híbrida com ferramental multicritério, incorporando Sistema de Informação Geográfica (SIG) baseado em Lógica Fuzzy (FL), os métodos AHP, VIKOR e Psychometric-VIKOR. O objetivo é selecionar locais para estações de Sistemas de Compartilhamento de Bicicletas (BSS), considerando transporte e usos recreativos do solo para fortalecer as redes de transporte público.

Zapolskytè *et al.* (2020, p. 3) categorizam indicadores de mobilidade urbana para avaliação de cidades inteligentes, dado a diversidade de critérios. Utilizam o ferramental multicritério, especificamente o método AHP, para avaliar a significância do nível de inteligência, ponderando critérios subjetivos e correlacionando com opiniões de especialistas, visando consistência.

Deveci *et al.* (2022, p. 3) examinaram o impacto de eventos climáticos extremos no planejamento da mobilidade urbana, utilizando uma ferramenta multicritério. Avaliaram doze critérios abrangendo dimensões econômicas, ambientais, técnicas e políticas. A ferramenta WASPAS (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment*), aplicando normas de Einstein em ambiente difuso, foi adotada para priorizar estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

Pamucar *et al.* (2021, p. 2) aprofundaram-se no planejamento da mobilidade urbana, com ênfase na transição energética e sustentabilidade ambiental. A complexidade conduziu ao uso de ferramentas multicritério. Neste estudo, empregaram o algoritmo fuzzy D PIPRECIA para determinar pesos e o algoritmo fuzzy D Dombi (fuzzy 2D) para avaliar alternativas. Concluíram que a dinâmica societal é crucial na escolha da alternativa ótima.

Turoón *et al.* (2022, p. 3) analisaram os serviços de "car-sharing" como uma variável na mobilidade urbana sustentável, utilizando o método multicritério ELECTRE III. Aplicado no

mercado polonês de compartilhamento de carros, o estudo permitiu determinar os veículos mais adequados e os critérios de compra.

Aydin *et al.* (2022, p. 2), estudaram os hubs de mobilidade, responsáveis pelo transporte público, compartilhamento de bicicletas, BRT (*Bus Rapid Transit*), metrô e “*car-sharing*”, o que permite diversos benefícios socioeconômicos. Para lidar tal complexidade, utilizaram uma metodologia integrada multicritério fuzzy (MCDM) que consiste em processo de hierarquia analítica fuzzy tipo 2 (AHP) e intervalo tipo 2 fuzzy WASPAS, de forma a selecionar a melhor localização para um novo hub de mobilidade no lado da Anatólia de Istambul.

Demir *et al.* (2022, p. 2), destaca que os problemas de mobilidade urbana sustentável são cada vez mais frequentes, demandando medidas e políticas mitigadoras. Utilizando-se de ferramentas multicritério da metodologia fuzzy (MCDM), foram criadas alternativas com o “pilar” estratégico, onde o método de Consistência Total Fuzzy (F-FUCOM) foi usado para determinar os pesos dos principais e subcritérios e o método *Fuzzy Combined Compromise Solution* (F-CoCoSo) foi então aplicado para classificar as alternativas.

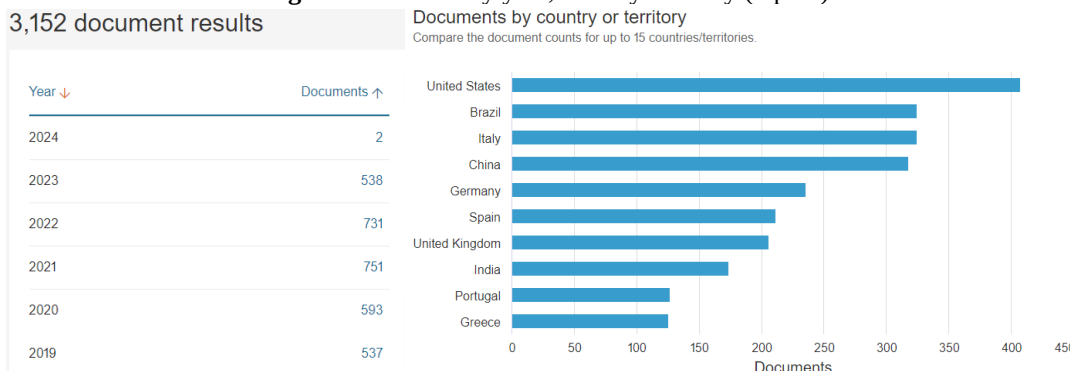
Melkonyan *et al.* (2022, p. 4), enfatiza que o surgimento de sistemas urbanos complexos gerou um desafio para os decisores, para apoiá-lo foi construído um processo de tomada de decisão multinível, com base em Apoio à Decisão Multicritério (MCDA), onde o modelo integrado foi aplicado em caso piloto da região metropolitana do Reno-Ruhr (Alemanha), construindo cenários Business-As-Usual, por meio de ferramenta interativa de simulação de cenários.

Morfoulak e Papathanasiou (2021, p. 2) focaram seu estudo na implementação do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável e os métodos de planejamento para tomada de decisão. Para isso, utilizou de MCDA (*MultiCriteria Decision Analysis*) para coleta e análise das diversas opiniões e alternativas, permitindo destacar e classificar as que devem ser implementadas e enriquecendo a tomada de decisão através do método PROMETHEE.

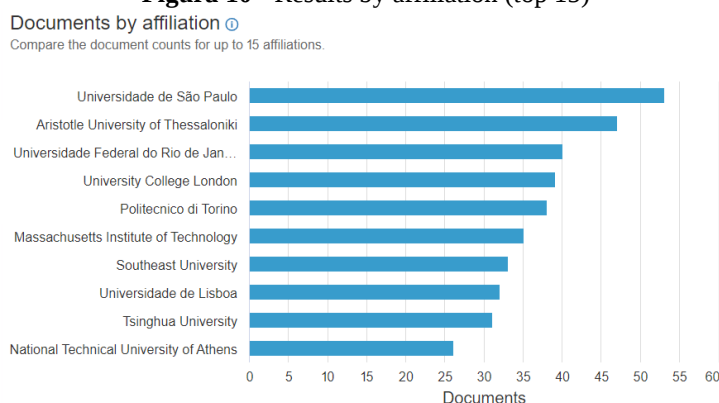
## 4. Método da Pesquisa

### 4.1. Seleção dos artigos relevantes

Realizamos uma pesquisa preliminar na base Scopus sob os termos “mobilidade urbana” OR “*urban mobility*”, no período de 2019 a 2023, foram trazidos 3.160 documentos, entre artigos, *papers* de conferências, capítulos de livros e revisões. Ao excluirmos os capítulos de livros e revisões, obtivemos 3.152 documentos, o que ainda mostrou o peso do tema para comunidade científica.

**Figura 9 - Results by year, country/territory (top 15)**


Fonte: Scopus (2023)

**Figura 10 - Results by affiliation (top 15)**


Fonte: Scopus (2023)

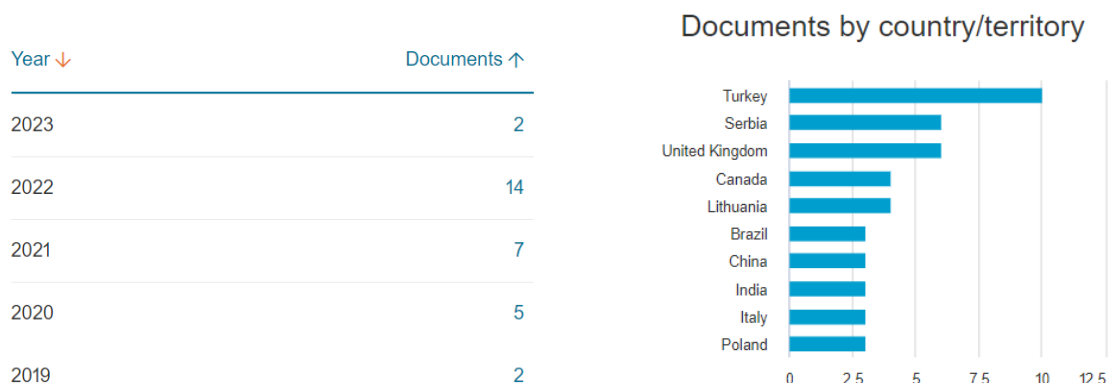
A análise dos *papers* permitiu inferir que Brasil e Itália ocuparam a 2ª posição no ranking por país/território e a USP (Universidade de São Paulo) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro ocuparam 1º e 3º lugar respectivamente.

A concentração destes resultados em universidades brasileiras permite inferir a importância do tema, principalmente nas duas megalópoles Rio de Janeiro e São Paulo.

Refinamos a pesquisa seguindo um protocolo e incluímos um segundo eixo, relacionado à Métodos de Decisão Multicritério (MCDA), de forma a identificar se a Pesquisa Operacional foi utilizada para apoiar a tomada de decisão do decisor, e utilizamos os termos “mobilidade urbana” OR “urban mobility” AND “Multiple criteria decision analysis” OR “MCDA” OR “Método de decisão multi-critério” OR “Multi Criteria Decision Making” OR “MCDM”, no período de 2019 a 2023, que trouxeram 33 artigos.

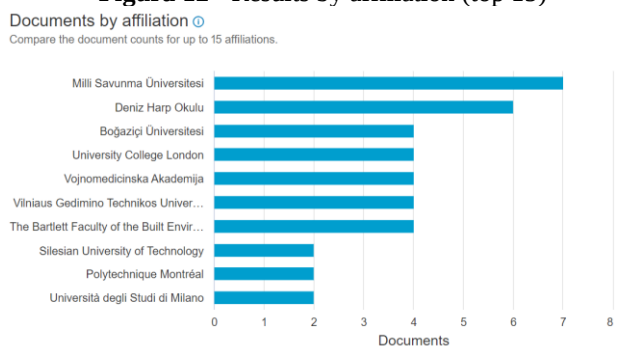
Novamente, excluímos os capítulos de livros e revisões, limitando o estudo a artigos e papers apresentados em conferências, o que limitou a 30, nosso objeto de estudo.

**Figura 11** - Results by year, country/territory (top 15)



Fonte: Scopus (2023)

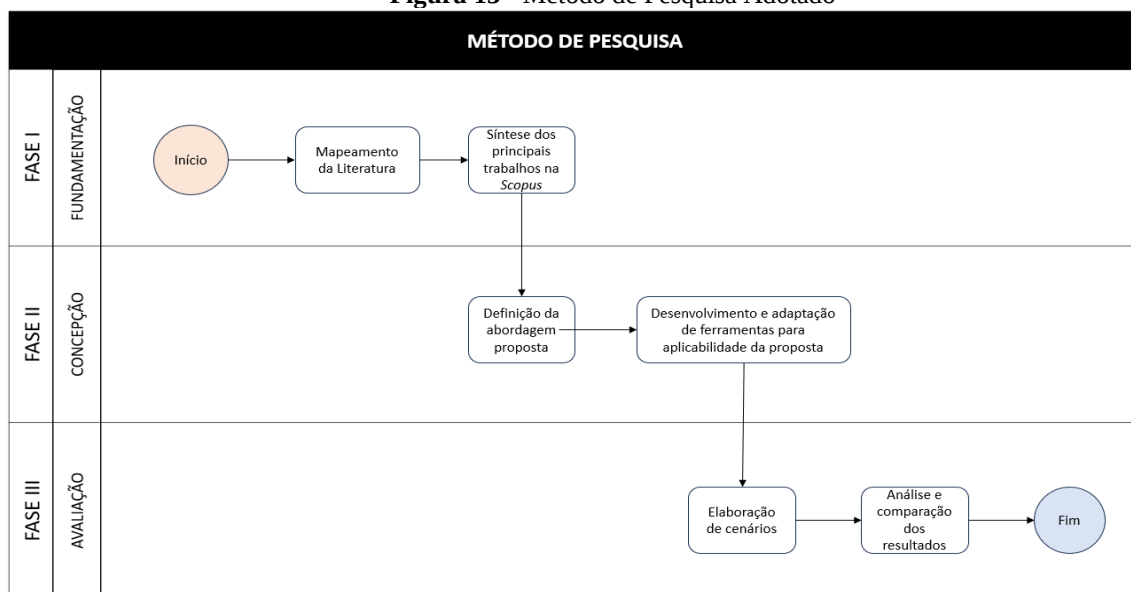
**Figura 12** - Results by affiliation (top 15)



Fonte: Scopus (2023)

Os dados coletados quanto ao plano de mobilidade encontravam-se disponíveis no sítio da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, assim como no dos institutos de pesquisa que estudam transporte e todas as demais variações sobre o tema.

**Figura 13** - Método de Pesquisa Adotado



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

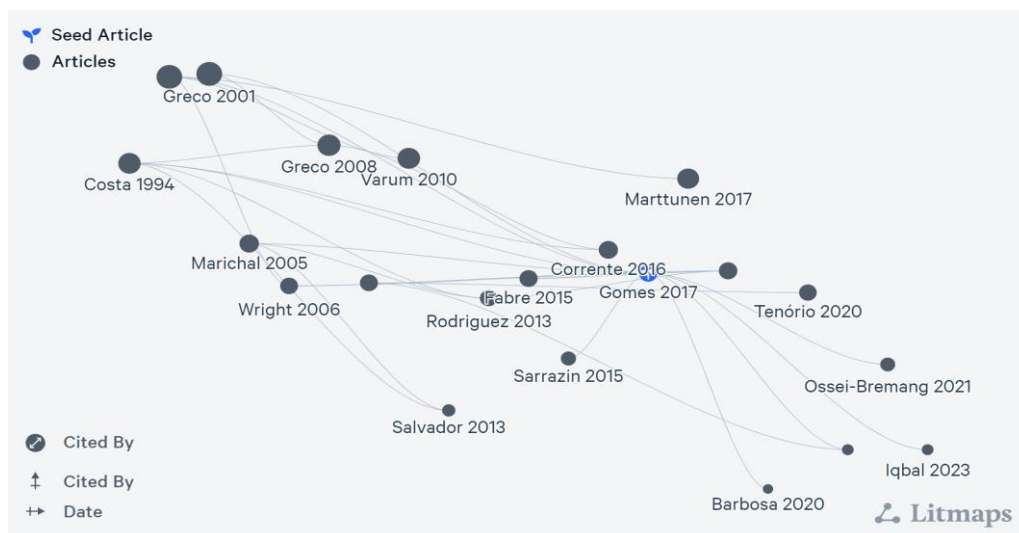
## 5. Proposta de Solução

Gomes *et al.* (2017, p. 3) propõem um modelo híbrido chamado Método Unificado de Planejamento Estratégico Prospectivo, conhecido como Método Momentum. Esse método estruturado em etapas auxilia os decisores na prospecção de cenários, consolidando diversas ideias abordadas. O modelo é escolhido devido à sua capacidade de guiar o processo de planejamento estratégico de forma integrada.

- 5.1 Visão geral do sistema;
- 5.2 Mapeamento de atores relevantes;
- 5.3 Identificação das variáveis;
- 5.4 Análise SWOT;
- 5.5 Elucidação de incertezas;
- 5.6 Seleção de variáveis relevantes;
- 5.7 Definição de indicadores-chaves;
- 5.8 Definição dos cenários;
- 5.9 Definição dos critérios;
- 5.10 Elicitação das alternativas;
- 5.11 Definição dos pesos para cada critério de todos os cenários;
- 5.12 Avaliação das alternativas do ponto de vista de cada critério;
- 5.13 Aplicação do algoritmo de classificação dos dados coletados.

Como forma de facilitar a aplicação do método, Diniz *et al.* (2023) desenvolveram uma ferramenta computacional gratuita capaz de facilitar os pesquisadores na prospecção de cenários.

**Figura 14 - Citação Visual do Método Momentum**



Fonte: Litmaps software (2023)

A proposta do artigo é aplicar o método Momentum até o passo 5.8, para elaboração dos possíveis cenários para o problema.

### **5.1. Visão geral do sistema**

A cidade do Rio de Janeiro é o destino mais procurado por turistas no Brasil, sendo um dos mais visitados no mundo. Segundo dados do IBGE, a região Sudeste responde pelo maior PIB (Produto Interno Bruto), 72,89% do país, e o estado do Rio de Janeiro corresponde a 19% deste percentual, sendo o 2º maior do país (IBGE, 2023). A cidade do Rio de Janeiro, tem papel fundamental nesse ecossistema, e a implantação do plano de Mobilidade Urbana Sustentável é uma prioridade.

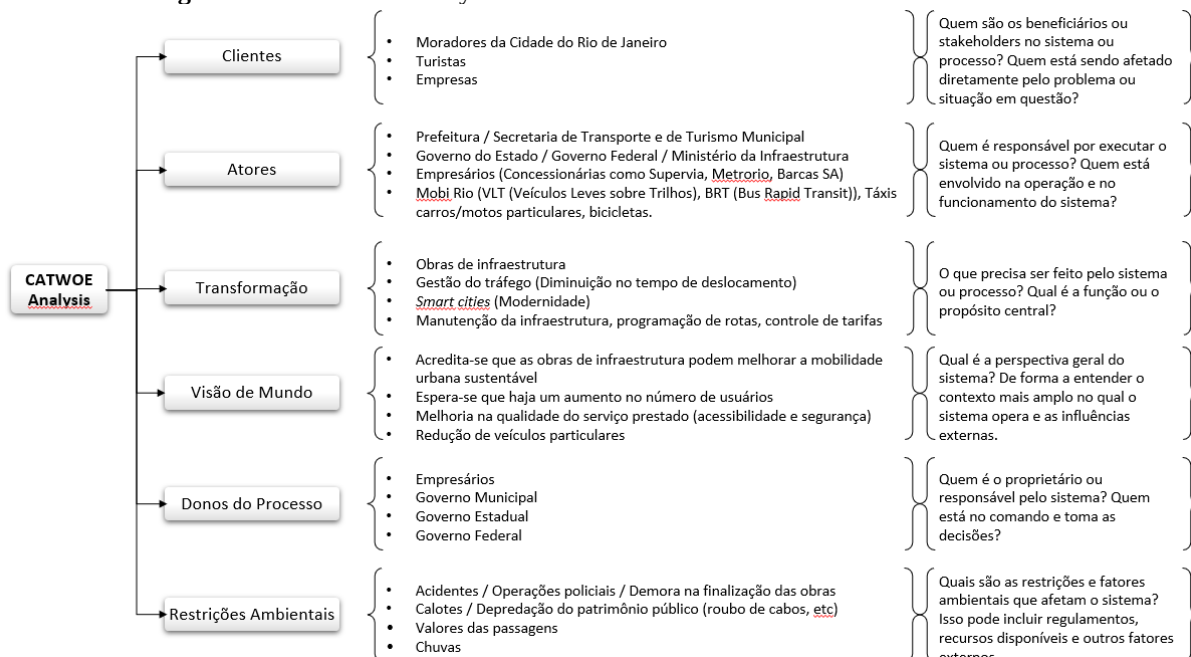
### **5.2. Mapeamento de atores relevantes**

#### **5.2.1. CATOWE *analysis***

Um sistema eficiente de transporte público deve atender às demandas dos usuários nos horários de pico, satisfazendo as expectativas de operadores e clientes. O objetivo é melhorar continuamente sem interrupções frequentes, mantendo uma capacidade operacional significativa para promover a mobilidade urbana sustentável, sem prejudicar as áreas de negócios interconectadas.

CATOWE é um mnemônico em inglês para uma técnica de modelagem sistêmica criada por Checkland (1981), visando garantir a explicitação da modelagem de um sistema específico. Em português, é composto por Clientes, Atores, Transformação, Visão de Mundo, Donos do Processo e Restrições Ambientais (Ferolla *et al.*, 2012, p. 88).

A técnica CATOWE, desenvolvida por Checkland, passou por melhorias, incluindo aperfeiçoamentos feitos pelo próprio criador e outros autores. Essas melhorias envolvem a combinação da ferramenta com outras técnicas sistêmicas. A abordagem identifica e relaciona elementos, proporcionando clareza sobre objetivos e implicações de sistemas ou processos complexos, além de identificar oportunidades de melhoria.

**Figura 15 - CATWOE Analysis - Mobilidade Urbana na cidade do Rio de Janeiro**


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

### 5.2.2. Quadro para tomada de decisões estratégicas (CANVAS)

O Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas é uma abordagem que resulta da aplicação da Teoria dos Jogos em disciplinas de projetos integradores, como Mobilidade Urbana Sustentável. Esta abordagem interativa e colaborativa evolui do “*Business Model Generation*” (Osterwalder & Pigneur, 2010), os criadores do “*Business Model Canvas*”, visando desenvolver uma análise que facilite a tomada de decisões.

**Figura 16 - Quadro de Tomada de Decisão Estratégica na Mobilidade Urbana da Cidade do Rio de Janeiro**

| Regras                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Desafio                                                                                                                                                                                           | Recompensa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Alternativas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Decisão a fazer                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Todos os sistemas modais funcionem;<br>Toda infraestrutura em boas condições;<br>Sistema sustentável para todos;<br>Acessibilidade completa                                                                                                                                            | Cumprimento dos horários;<br>Melhorar a segurança;<br>Reduzir o uso de veículos particulares;<br>Integrar os modais;<br>Adotar meios de transporte sustentáveis;<br>Coibir a depredação.          | Obter a satisfação do cliente;<br>Reduzir o custo operacional;<br>Melhorar a mobilidade urbana sustentável;<br>Melhorar a qualidade do serviço prestado;<br>Reduzir a poluição;<br>Reduzir o congestionamento;<br>Aumentar a segurança;<br>Aumentar a arrecadação de impostos;<br>Reduzir o preço da passagem;<br>Acarretar o crescimento do turismo. | Aumentar a segurança;<br>Aumentar a qualidade do serviço prestado;<br>Redução do preço da passagem;<br>Conscientização da sociedade;<br>Melhoria da infraestrutura;<br>Implantação de veículos sustentáveis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Melhorar a gestão dos recursos públicos;<br>Penalizar a depredação;<br>Fiscalizar permanente os meios de transporte;<br>Aumentar a acessibilidade;<br>Implantar do transporte sustentável;<br>Ações de conscientização. |
| Jogadores                                                                                                                                                                                                                                                                              | Recursos                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Indicadores                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Decisão a não fazer                                                                                                                                                                                                     |
| Governo Federal;<br>Governo Estadual;<br>Prefeitura do Rio de Janeiro;<br>Empresários;<br>Turistas; e<br>Residentes.                                                                                                                                                                   | Investimentos do Governo Federal, Estadual e da Prefeitura do Rio<br>Parcerias Público Privadas<br>Arrecadação de Impostos<br>Envolvimento de centros de pesquisa<br>Campanhas de conscientização |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Número de usuários por modal/dia;<br>Disponibilidade do modal;<br>Índice de congestionamento;<br>Índice de ocupação hoteleira;<br>Custo com manutenção dos transportes públicos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Não aumentar a passagem;<br>Não subsidiar de forma permanente o transporte público;<br>Encampação dos transportes públicos                                                                                              |
| Cenário                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Estratégia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Pessimista</b> – Aumento do transporte irregular, aumento da depredação e do calote, maior despesas pelos atores, precarização da infraestrutura, aumento da insegurança                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>- Conscientização dos usuários e da população;</li><li>- Melhoria da gestão dos recursos;</li><li>- Penalização rigorosa dos infratores;</li><li>- Investir em veículos sustentáveis (ônibus a gás, elétricos, hidrogênio verde, etc);</li><li>- Incentivo financeiro na tarifa dos combustíveis/energia para transporte público;</li><li>- Melhorar a infraestrutura e mobilidade para reduzir a poluição;</li><li>- Melhorar a segurança nas vias de acesso;</li><li>- Incentivar o uso de transporte público sustentável;</li><li>- Implantar o transporte intermodal completamente integrado;</li><li>- Ampliação da rede de transportes de massa (metrô, trem, barcas, VLT e BRT).</li></ul> |                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Mais Provável</b> – Tempo de deslocamento intermediário, melhoria pontual da infraestrutura, níveis normais de poluição, melhoria intermediária da acessibilidade, manutenção da tarifa, melhoria da gestão corretiva, ação para coibir a depredação                                |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Otimista</b> – Regularização do transporte, aumento da acessibilidade, melhoria da infraestrutura, ligações intermodais, melhoria da segurança, otimização da mobilidade urbana (conforto, tempo, disponibilidade), redução dos custos, redução da poluição (veículos sustentáveis) |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                         |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A mobilidade urbana no Rio de Janeiro é um problema complexo devido a várias razões:

- A topografia montanhosa e a localização beira-mar geram restrições à infraestrutura de transporte eficiente;
- O crescimento desordenado ao longo de décadas resultou em bairros distantes do centro, aumentando os deslocamentos diários;
- O congestionamento de tráfego, especialmente em horários de pico, gera atrasos e estresse, impactando o custo do transporte;
- O transporte público enfrenta desafios como superlotação, falta de manutenção e insegurança;
- A falta de integração entre os modos de transporte complica os deslocamentos;
- A violência, principalmente no transporte público, é uma preocupação que afeta a decisão de utilização; e
- Desigualdades socioeconômicas e eventos climáticos extremos também influenciam a acessibilidade e a interrupção dos serviços de transporte.

### 5.3. Identificação de variáveis

Após análise das peculiaridades da região metropolitana do Rio de Janeiro, foram identificadas variáveis relevantes que impactam a mobilidade urbana e o desenvolvimento socioeconômico da cidade: a) Geografia, b) Crescimento desordenado, c) Congestionamento do tráfego, d) Deficiência do transporte, e) Falta de integração do transporte, f) Violência e segurança, g) Desigualdades socioeconômicas, e, h) Eventos climáticos extremos.

### 5.4. Análise SWOT do sistema

**Tabela 1** - Análise de SWOT da Mobilidade Urbana na cidade do Rio de Janeiro

| FORÇAS                                                                                                 | FRAQUEZAS                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Orçamento da Secretaria                                                                                | Infraestrutura de transporte                                           |
| Historicidade Cultural da cidade                                                                       | Escassez de recursos disponíveis para acessibilidade e inclusão        |
| Rede Hoteleira                                                                                         | Mobilidade de Transporte Sustentável                                   |
| Realização de espetáculos                                                                              | Falta de segurança                                                     |
| Localização geográfica                                                                                 | Qualidade do Serviço                                                   |
| Prioridade Política                                                                                    | Participação popular insuficiente na preservação do patrimônio público |
| Sede de grandes eventos culturais                                                                      |                                                                        |
| OPORTUNIDADES                                                                                          | AMEAÇAS                                                                |
| Possibilidade da integração dos modais                                                                 | Falta de investimento público na segurança                             |
| Crescimento do turismo                                                                                 | Aumento da depredação                                                  |
| Melhoria da infraestrutura                                                                             | Paralisação do transporte urbano                                       |
| Localização estratégica na região metropolitana do Rio de Janeiro, com fácil acesso a grandes centros; | Falta de investimento público na infraestrutura                        |
|                                                                                                        | Aumento do número de veículos particulares                             |
|                                                                                                        | Queda na ocupação da rede hoteleira                                    |
|                                                                                                        | Aumento do desemprego e da informalidade                               |
|                                                                                                        | Redução na oferta de eventos                                           |
|                                                                                                        | Aumento da poluição                                                    |
|                                                                                                        | Aumento da informalidade do transporte                                 |
|                                                                                                        | Redução da arrecadação                                                 |

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023)

## 5.5. Elucidação de incertezas

As seguintes incertezas foram observadas:

- I1 – Aumento da instabilidade política no estado do Rio de Janeiro;
- I2 – Aumento da dotação orçamentária direcionada para mobilidade urbana sustentável;
- I3 – Crescimento do turismo e do comércio pós-pandemia;
- I4 – Redução da desigualdade socioeconômica;
- I5 – Ampliação de Políticas Públicas;
- I6 – Aumento da conscientização ambiental dos atores (poder público, privado e usuários);
- I7 – Aumento da criminalidade;
- I8 – Aumento da integração do transporte;
- I9 – Aumento do planejamento para eventos climáticos extremos; e
- I10 – Aumento do crescimento desordenado.

## 5.6. Seleção de variáveis relevantes

As seguintes variáveis foram mapeadas:

- V1 – Taxa média de ocupação de hotéis; (serviços turísticos);
- V2 – Produto Interno Bruto per capita; (Economia);
- V3 – Variação do preço médio da energia; (Economia);
- V4 – Movimentação média diária de passageiros em sistemas de transporte rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo; (Mobilidade urbana);
- V5 – Movimentação média diária de cargas no sistema rodoviário; (Mobilidade urbana);
- V6 – Incidência de furtos e roubos; (Segurança pública);
- V7 – Emissões de gases de efeito estufa (GEE). (Meio ambiente);
- V8 – Calote no transporte público; (socioeconômico);
- V9 – Taxa média de congestionamento; (deficiência do transporte); e
- V10 – Vandalismo no transporte público; (socioeconômico).

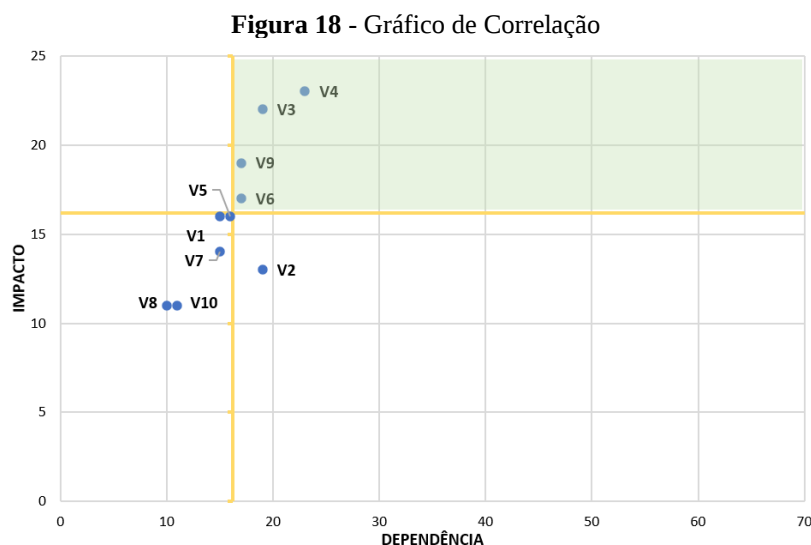
Após a identificação das variáveis relevantes, a matriz de interação cruzada foi estruturada, onde: 0 (Sem impacto); 1 (Baixo impacto); 2 (Impacto médio); 3 (Alto impacto); e 4 (Impacto muito expressivo).

Conforme o grau descrito na legenda anterior, a pontuação par a par de cada célula da matriz de interação cruzada foi estimada com a ajuda de especialistas que responderam de forma anônima às questões. A Figura 17 apresenta os resultados obtidos.

**Figura 17 - Matriz Momentum**

| Nº   | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 | V10 | SOMA |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------|
| V1   |    | 1  | 2  | 3  | 0  | 4  | 1  | 0  | 3  | 2   | 16   |
| V2   | 3  |    | 0  | 0  | 4  | 4  | 0  | 1  | 0  | 1   | 13   |
| V3   | 2  | 3  |    | 3  | 3  | 0  | 4  | 4  | 3  | 0   | 22   |
| V4   | 1  | 2  | 3  |    | 0  | 4  | 3  | 3  | 4  | 3   | 23   |
| V5   | 0  | 4  | 3  | 0  |    | 3  | 3  | 0  | 3  | 0   | 16   |
| V6   | 4  | 4  | 0  | 4  | 3  |    | 0  | 0  | 0  | 2   | 17   |
| V7   | 1  | 0  | 4  | 3  | 3  | 0  |    | 0  | 3  | 0   | 14   |
| V8   | 0  | 2  | 4  | 3  | 0  | 0  | 0  |    | 0  | 2   | 11   |
| V9   | 3  | 1  | 3  | 4  | 3  | 0  | 4  | 0  |    | 1   | 19   |
| V10  | 1  | 2  | 0  | 3  | 0  | 2  | 0  | 2  | 1  |     | 11   |
| SOMA | 15 | 19 | 19 | 23 | 16 | 17 | 15 | 10 | 17 | 11  |      |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

### 5.7. Definição dos indicadores-chave

Após análise das variáveis, foi possível identificar que os indicadores-chave são V3, V4, V6 e V9. As demais variáveis foram desconsideradas por se enquadrarem nos quadrantes inferiores, considerado de baixo impacto e dependência, sendo, portanto, pouco relevantes para o modelo.

### 5.8. Desenho de cenários prospectivos

Nesta etapa do método, está prevista a exposição de indicadores essenciais que serão empregados na avaliação das incertezas. Os indicadores selecionados compreendem séries históricas que desempenharão um papel crucial na construção de cenários futuros potenciais. A tabela 2 apresenta os indicadores associados a cada variável, fornecendo informações detalhadas sobre suas respectivas unidades de medida.

Com base na estratificação efetuada, torna-se viável identificar qual composição se ajusta de maneira mais adequada a cada tipo de cenário.

**Tabela 2 - Dados históricos de indicadores com alocação em cenários**

| Indicadores                                                                                                         | Highway to Hell<br>(Pessimista) | Something in the Way<br>(Tendência) | Stairway to Heaven<br>(Otimista) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| V1 – Taxa média de ocupação de hotéis                                                                               | <48%                            | 61% - 48%                           | >70%                             |
| V2 – Produto Interno Bruto per capita                                                                               | <R\$ 49.093,05                  | R\$ 52.082,25 - 49.093,05           | >R\$ 54.328,48                   |
| V3 – Variação do preço médio da energia                                                                             | >22%                            | 21% - 18%                           | <18%                             |
| V4 – Movimentação média diária de passageiros em sistemas de transporte rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo | <687.560                        | 794.126 - 687.560                   | >902.228                         |
| V5 – Movimentação média diária de cargas no sistema rodoviário                                                      | <12.520.892                     | 14.511.148 - 12.520.892             | >16.971.209                      |
| V6 – Incidência de furtos e roubos                                                                                  | >8.050                          | 6.652 - 5.213                       | <5.213                           |
| V7 – Emissões de gases de efeito estufa (GEE)                                                                       | >1.469,64                       | 1.460,14 - 1.443,29                 | <1.443,29                        |
| V8 – Calote no transporte público                                                                                   | >61.487.067                     | 45.967.266 - 29.840.715             | <29.840.715                      |
| V9 – Taxa média de congestionamento                                                                                 | >48%                            | 48% - 47%                           | <47%                             |
| V10 – Vandalismo no transporte público                                                                              | >2.880                          | 1.991 - 1.125                       | <1.125                           |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

## 6. Discussão dos Resultados

As composições que melhor atendem às necessidades de mobilidade urbana são destacadas como otimistas no cenário “*Stairway to Heaven*” identificadas em verde. Por outro lado, as composições menos favoráveis são destacadas como pessimistas no cenário “*Highway to Hell*”, em vermelho. O cenário de tendência, nomeado “*Something in the Way*” é composto pelos elementos considerados mais prováveis de ocorrer e são identificados em azul. Homenagens à *Led Zeppelin*, *AC/DC* e *Nirvana*, respectivamente. A Tabela 2 fornece uma visão detalhada da composição de cada um desses cenários.

## 7. Considerações Finais

Concluimos que o Método Momentum se mostrou eficaz na análise prospectiva da mobilidade urbana sustentável da cidade do Rio de Janeiro, sinalizando aspectos importantes que deverão ser abordados pelos tomadores de decisão na elaboração do plano de ação, e como proposta de melhoria do artigo, sugere-se a aplicação de um método de análise multicritério para apoiar o decisor na tomada de decisão, visando identificar pontos de atuação estratégicos, embasado através de critérios científicos e técnicos.

## REFERÊNCIAS

- AYDIN, Nezir; SEKER, Sukran; ÖZKAN, Betül. **Planning location of mobility hub for sustainable urban mobility**. *Sustainable Cities and Society*, v. 81, p. 103843, 2022.
- BRASIL, [Constituição (1988)]. **Constituição da República federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidente da República, [2016]. <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm).> Acesso em: 20/10/2023.
- CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Texto para Discussão. **Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, Tendências e Reflexões**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.
- CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice**. Chichester: John Wiley & Sons, 1981.
- CIEŚLA, Maria; SOBOTA, Aleksander; JACYNA, Marianna. **Multi-Criteria decision making process in metropolitan transport means selection based on the sharing mobility idea**. *Sustainability*, v. 12, n. 17, p. 7231, 2020.
- DEMIR, Gülay; DAMJANOVIĆ, Milanko; MATOVIĆ, Boško; VUJADINOVIĆ, Radoje. **Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: the case of the SUMP 19odgorica**. *Sustainability*, v. 14, n. 9, p. 4972, 2022.
- DEVECI, Muhammet; PAMUCAR, Dragan, GOKASAR, Ilgin; ISIK, Mehtap, COFFMAN, D’Maris. **Fuzzy Einstein WASPAS approach for the economic and societal dynamics of the climate change mitigation strategies in urban mobility planning**. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 61, p. 1-17, 2022.
- DINIZ, Bruno Pereira; PEREIRA, Daniel Augusto de Moura; TOMAZ, Pedro Paulo Mendes; SILVA, Mateus José de Siqueira; GOMES, Carlos Francisco Simões; SANTOS, Marcos. **Método Momentum em VBA (v.1)** 2022.
- EREN, Ezgi; KATANALP, Burak Yiğit. **Fuzzy-based GIS approach with new MCDM method for bike-sharing station site selection according to land-use types**. *Sustainable Cities and Society*, v. 76, p. 103434, 2022.

FEROLLA, L.; PASSADOR, C. S.; PASSADOR, J. L. **Aplicação da ferramenta CATWOE enriquecida para mapeamento do sistema de implementação das políticas públicas federais para a educação rural**. In: Congresso Brasileiro de Sistemas. 2012.

GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes; DE BARROS, Alexandre P. **Sensibility analysis of MCDA using prospective in Brazilian energy sector**. *Journal of Modelling in Management*, v. 12, n. 3, p. 475-497, 2017.

GOMPF, Katharina; TRAVERSO, Marzia; HETTERICH, Jörg. **Using analytical hierarchy process (AHP) to introduce weights to social life cycle assessment of mobility services**. *Sustainability*, v. 13, n. 3, p. 1258, 2021.

IBGE. **O que é o PIB?**. 2022-2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

KIBA-JANIAK, Maja; WITKOWSKI, Jarosław. **Sustainable urban mobility plans: How do they work?**. *Sustainability*, v. 11, n. 17, p. 4605, 2019.

KRISHANKUMAR, Raghunathan; PAMUCAR, Dragan; DEVECI, Muhammet; RAVICHANDRAN, Kattur Soundarapandian. **Prioritization of zero-carbon measures for sustainable urban mobility using integrated double hierarchy decision framework and EDAS approach**. *Science of the Total Environment*, v. 797, p. 149068, 2021.

MELKONYAN, Ani; GRUCHMANN, Tim; LOHMAR, Fabian; BLEISCHWITZ, Raimund. **Decision support for sustainable urban mobility: A case study of the Rhine-Ruhr area**. *Sustainable Cities and Society*, v. 80, p. 103806, 2022.

MORFOULAKI, Maria; PAPATHANASIOU, Jason. **Use of PROMETHEE MCDA method for ranking alternative measures of sustainable urban mobility planning**. *Mathematics*, v. 9, n. 6, p. 602, 2021.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons, 2010.

PAMUCAR, Dragan; DEVECI, Muhammet; CANITEZ, Fatih; BOZANIC, Darko. **A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures**. *Applied Soft Computing*, v. 87, p. 105952, 2020.

PAMUCAR, Dragan; DEVECI, Muhammet; GOKASAR, Ilgin; ISIK, Mehtap; ZIZOVIC, Malisa. **Circular economy concepts in urban mobility alternatives using integrated DIBR method and fuzzy Dombi CoCoSo model**. *Journal of Cleaner Production*, v. 323, p. 129096, 2021.

PAMUCAR, Dragan; DEVECI, Muhammet; STEVIC, Zeljko; GOKASAR, Ilgin; ISIK, Mehtap; COFFMAN, D'Maris. **Green strategies in mobility planning towards climate change adaption of urban areas using fuzzy 2D algorithm**. *Sustainable Cities and Society*, v. 87, p. 104159, 2022.

RIO DE JANEIRO. Governo do Estado do Rio de Janeiro. **Secretaria de Transporte e Mobilidade Urbana (org.)**. Boletim da Mobilidade Metropolitana. 8. ed. Rio de Janeiro, 2023. 34 p. Disponível em: <[https://www.transporte.rj.gov.br/sites/transporte/files/arquivos\\_paginas/BOLETIM\\_2023\\_8A\\_edicao\\_Rv1%20%281%29.pdf](https://www.transporte.rj.gov.br/sites/transporte/files/arquivos_paginas/BOLETIM_2023_8A_edicao_Rv1%20%281%29.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2023.

SILVA, Eduardo Fernandez. **Meio ambiente & mobilidade urbana**. Editora Senac São Paulo, 2014. Disponível em: <[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10713/2/td\\_2673\\_sumex.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10713/2/td_2673_sumex.pdf)>. Acesso em: 20/10/23.

TUROŃ, Katarzyna; KUBIK, Andrzej; CHEN, Feng. **What car for car-sharing? Conventional, electric, hybrid or hydrogen fleet? Analysis of the vehicle selection criteria for car-sharing systems**. *Energies*, v. 15, n. 12, p. 4344, 2022.

ZAPOLSKYTĒ, Simona; BURINSKIENĒ, Marija; TRĒPANIER, Martin. **Evaluation criteria of smart city mobility system using MCDM method**. 2020. *The Baltic journal of road and bridge engineering*, Riga: Riga Technical University, vol. 15. Iss.4. p. 196-224.