

**JOÃO DALTON DAIBERT**

**Uso de análise multicritério para o estudo da implantação de monotrilha  
entre Regiões Metropolitanas**

**João Dalton Daibert**

**Uso de análise multicritério para o estudo da implantação de monotrilho  
entre Regiões Metropolitanas**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia, Linha de Pesquisa Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>a</sup> Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | Daibert, João Dalton                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| D132u | <p>Uso de análise multicritério para o estudo da implantação de monotrilho entre regiões metropolitanas / João Dalton Daibert – Guaratinguetá, 2021.</p> <p>69 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 58-62</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza</p> <p>Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis</p> <p>1. Transportes - Trânsito de passageiros. 2. Processo decisório por critério múltiplo. 3. Transportes coletivos. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 65.012.4</p> |

**JOÃO DALTON DAIBERT**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO: MESTRADO**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves  
Coordenador**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA**  
Orientador - UNESP  
participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. ANTONIO CARLOS ZUFFO**  
UNICAMP  
participou por videoconferência

  
**Prof. Dr. CRISTHIANE MICHIKO PASSOS OKAWA**  
Universidade Estadual de Maringá  
participou por videoconferência

*Dezembro de 2021*

## **DADOS CURRICULARES**

### **JOÃO DALTON DAIBERT**

|                   |                                                                                                                      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NASCIMENTO</b> | 31/01/1951 – Juiz de Fora / MG                                                                                       |
| <b>FILIAÇÃO</b>   | Dalton Daibert<br>Helena Lygia Bastos Daibert                                                                        |
| <b>1972/1979</b>  | Graduação em Engenharia Civil<br>UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora – MG                                    |
| <b>1979/1979</b>  | Pós-Graduação em Pavimentação Rodoviária, nível de Especialização<br>IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias / UFJF |
| <b>2011/2011</b>  | Pós-Graduação em Psicopedagogia, nível de Especialização<br>UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul – SP              |

## DEDICATÓRIA

Ofereço este trabalho a toda minha família, primeiro a meus queridos pais *Dalton e Helena*, sem os quais minha existência seria uma inexistência; aos meus irmãos(as) e companheiras(os), *Zé e DonSufia, Lyzêuza e Adelmo, Cai e OswaldAlvim, Leninha e João Loló, Frê e Maria*; meus filhos(as) e companheiras(os), *Gustavo e Kelly, Deco e Analeandra, Lico e Andressa, Kuturica e Anthony, Aruan e Ju, Luanda* e aos meus queridos netos *Enzo Julismar, Gael Jusé, Livia Linda, Tiê Fuguetin, Lucas Mulequin e Deco Junior (à caminho)*, e especialmente a querida *Mari*, pelo companheirismo, cumplicidade, compreensão com minha hiperatividade, experiência profissional e incentivos à minha ousada caminhada educadora/professoral e acadêmica.

Ao *Tico*, pela alegria canina trazida à minha casa.

A todos os meus sobrinhos, *Daniel, Tigrin, Pulica, Phaél, Tom, Pedro, Vitin, Tuco*, e aos apressados *Lucaréli e Fernanda Tumáti Pelati*, que terminaram a lição antes de todos nós.

Finalmente, à minha superirmã *DonSufia*, sempre ao nosso lado, trazendo com muita alegria e carinho uma sinceridade exclusiva, só dela. Poucos tem coragem de falar o que falava. Ensinou muito. Partiu em busca de seu Lucas querido.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, pela amizade, disponibilidade, ensinamentos, pela a oportunidade de fazer o que eu gosto além de ter me acolhido na FEG/UNESP;

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vassiliki Boulomitys do IFSP Caraguatatuba, minha coorientadora, pela dedicação, paciência e orientação, sempre presentes na construção dessa dissertação;

Ao Prof. Dr. José Américo Salvador Filho do IFSP Caraguatatuba, pelo incentivo, pelas dicas de uso dos recursos de digitalização, pela participação na banca da qualificação, extensivo à esposa e filha, Meca Checon e Prêta Maria Checon Salvador;

Ao Prof. Dr. Ricardo Plaza, pelo incentivo incontestado e pela participação na banca da qualificação, além das trocas de informações sobre nossos queridos cães;

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Nicole de Castro, minha filha por afinidade, e seus filhos Giovanni, Luigi, Alan e Laurinha (que acabou de aportar por aqui), pelos conselhos cheios de carinho;

Ao Prof. Msc. Emerson Canela, colega de jornada e nas idas e vindas Caraguá/Guará/Caraguá;

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Patrícia Baldini da FEI de Itabira – MG, e Prof. Dr. Adriano Barbosa do IFSP Caraguatatuba, pelas dicas para estudos do MCDA / AHP;

Aos professores Dr. José Luz, Dr. Mateus Vilanova e Dr. Pedro Magalhães pela oportunidade da aquisição de novos conhecimentos em suas especialidades;

Ao Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa, do CER – Centro de Energias Renováveis, amigo e companheiro, que me orientou em dúvidas no dia-a-dia, extensivo aos colegas de disciplinas;

Aos prezados pesquisadores, sem os quais este trabalho seria impossível, pela presteza na atenção às solicitações e que por questões éticas da pesquisa não serão mencionados;

Ao colega mestrando do “projeto monotrilha”, Eng. Carlos Marcondes, com quem compartilhei idéias sobre este trabalho;

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação e da Biblioteca da FEG, que sempre me acolheram e orientaram nos trâmites dos registros acadêmicos; Ao funcionário Formiga, sempre atencioso e dando dicas de “trânsito” na FEG;

A todos os colegas, professores e funcionários do IFSP de Caraguatatuba, que me deram suporte e incentivo nesta empreitada de conclusão do Curso de Mestrado.

Aos amicíssimos, quase filhos e neta, Douglas, Pat e Kay, pelo carinho que me embalaram trazendo sempre uma palavra para amenizar o stress desta composição.

Ao Jessé, grande amigo, técnico em edificações pelo IFSP, arquiteto recém formado,

desenhista em meus livros, pelo auxílio valoroso nas ilustrações e outras artimanhas das apresentações gráficas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

**. . . Eppure si muove. . .**

Galileu Galilei – 1633

## RESUMO

O trânsito de veículos nas vias terrestres das regiões urbanas se tornou caótico. Além do transtorno provocado pelo excesso de veículos, prejudicando a circulação, outros eventos como prejuízos ao meio ambiente, também colaboram com a situação de caos, como a poluição do ar, poluição sonora, degradação das vias, entre outros. A proposta do presente trabalho sugere uma metodologia para avaliar a viabilidade da implantação de uma alternativa para minimizar os problemas citados, com a adoção de monotrilhos para o fluxo de pessoas, principalmente, em regiões metropolitanas. No estudo são apontados e hierarquizados os critérios para avaliar a pertinência desse modo de transporte através da metodologia da tomada de decisão, segundo métodos de análise multicritério para auxílio à tomada de decisão (MCDA), que permitem valorar conceitos subjetivos como conforto, segurança, confiança, que são grandezas de difícil mensuração, possibilitando assim qualificar e quantificar através da consulta a especialistas da área e identificar como cada critério influencia na avaliação de viabilidade proposta. Por meio do uso da abordagem MCDA com o método do Processo Hierárquico Analítico (AHP), obteve-se o índice de consistência (CI) correspondente a 0,025323514 e a razão da consistência (RC) que totaliza 0,01918448, o que torna o resultado do estudo coerente com o que preconiza o método AHP. Dessa forma, foi possível propor uma metodologia com resultado confiável para subsidiar os gestores na avaliação de viabilidade para implantação de monotrilhos nas áreas metropolitanas do seu interesse de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte de passageiros. Monotrilho. Análise multicritério. Tomada de decisão. Método AHP.

## **ABSTRACT**

The vehicle traffic on the roads of urban regions has become chaotic. In addition to the disruption caused by the excess of vehicles, impairing the circulation, other events such as damage to the environment, also collaborate with the chaotic situation, such as air pollution, noise pollution, degradation of roads, among others. The proposal of this paper suggests a methodology to assess the feasibility of implementing an alternative to minimize the problems described before, by adopting monorails as a means of transportation for people, particularly in metropolitan areas. In the study, the criteria for evaluating the relevance of this mode of transportation are pointed out and ranked through the decision making methodology, according to methods of multi-criteria analysis to aid decision making (MCDA), which allow the evaluation of subjective concepts such as comfort, safety, reliability, which are quantities that are difficult to measure, thus making it possible to qualify and quantify through consultation with experts in the area and identify how each criterion influences the proposed feasibility assessment. Through the use of the MCDA approach with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, we achieved the consistency index (CI) corresponding to 0.025323514 and the consistency ratio (RC) totaling 0.01918448, which makes the result of the study consistent with what the AHP method recommends. Thus, it was possible to propose a methodology with reliable results to support managers in assessing the feasibility of implementing monorails in metropolitan areas of study interest.

**KEYWORDS:** Passenger transport. Monorail. Multicriteria analysis. Decision making. AHP method.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Tablet em argila de 2.500 a.C. – esboço do mapa mais antigo conhecido .....           | 16 |
| Figura 2 - Monotrilho lateral implantado na faixa de domínio da rodovia .....                    | 20 |
| Figura 3 - O Wuppertaler Schwebebahn, em Wuppertal na Alemanha .....                             | 21 |
| Figura 4 - O procedimento de julgamento Delphi em um processo de construção de<br>consenso ..... | 23 |
| Figura 5 - Fluxograma do método Delphi .....                                                     | 25 |
| Figura 6 - Mapa Cognitivo .....                                                                  | 44 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Pontuações relativas de acordo com o nível de importância de cada critério .....       | 24 |
| Quadro 2 - Julgamento da pertinência .....                                                        | 40 |
| Quadro 3 - Confrontação dos critérios .....                                                       | 43 |
| Quadro 4 - Resultado da confrontação e escolha dos critérios finais .....                         | 45 |
| Quadro 5 - Resultado da atribuição de pesos dos critérios consensuais e definidores .....         | 46 |
| Quadro 6 - Critérios sugeridos e critérios propostos .....                                        | 47 |
| Quadro 7 - Atribuição de pesos com média e cálculos dos quartis .....                             | 49 |
| Quadro 8 - Tratamento estatístico atribuindo novos valores com média e cálculos dos quartis ..... | 49 |
| Quadro 9 - Tratamento estatístico, novos valores com média e cálculos dos quartis .....           | 50 |
| Quadro 10 - Tratamento estatístico, novos valores com média e cálculos dos quartis .....          | 50 |
| Quadro 11 - Matrizes AHP .....                                                                    | 52 |

## SUMÁRIO

|              |                                                                                                                          |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                   | <b>15</b> |
| 1.1          | MOTIVAÇÃO .....                                                                                                          | 15        |
| 1.2          | DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS .....                                                                                            | 15        |
| 1.3          | BREVE HISTÓRICO DOS TRANSPORTES DE PASSAGEIROS.....                                                                      | 15        |
| 1.4          | SITUAÇÃO ATUAL DO TRANSPORTE.....                                                                                        | 17        |
| <b>1.4.1</b> | <b>A pandemia da covid-19 e o transportes de pessoas.....</b>                                                            | <b>18</b> |
| 1.5          | USO DO MONOTRILHO COMO MODAL .....                                                                                       | 19        |
| <b>1.5.1</b> | <b>Definição .....</b>                                                                                                   | <b>19</b> |
| 1.6          | O METODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO – MCDA.....                                                                            | 21        |
| <b>1.6.1</b> | <b>Método Delphi.....</b>                                                                                                | <b>23</b> |
| <b>1.6.2</b> | <b>Processo de hierarquia analítica – AHP .....</b>                                                                      | <b>24</b> |
| <b>1.6.3</b> | <b>Análise de consistência .....</b>                                                                                     | <b>26</b> |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVOS E RESULTADOS.....</b>                                                                                       | <b>28</b> |
| 2.1          | OBJETIVO GERAL .....                                                                                                     | 28        |
| 2.2          | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                                               | 28        |
| 2.3          | RESULTADOS ESPERADOS.....                                                                                                | 28        |
| <b>3</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                                        | <b>30</b> |
| 3.1          | A ESCOLHA DO MONOTRILHO E AS PREMISAS PARA A IMPLANTAÇÃO,<br>UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO ..... | 30        |
| 3.2          | MODELOS DE ABORDAGENS QUE VIABILIZAM A IMPLANTAÇÃO DE<br>PROJETOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.....                  | 34        |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAIS E METODOS .....</b>                                                                                         | <b>37</b> |
| 4.1          | INTRODUÇÃO.....                                                                                                          | 37        |
| 4.2          | DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....                                                                                        | 37        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Fases do desenvolvimento .....</b>                                                                                    | <b>38</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DA PESQUISA .....</b>                                                                 | <b>40</b> |
| 5.1          | RESULTADO DA ENTREVISTA DE INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE<br>QUESTIONÁRIO PARA PRÉ-DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DA 1ª ENQUETE ..    | 40        |
| 5.2          | CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS ATRAVÉS DA PLANILHA<br>DISSERTATIVA.....                                         | 42        |
| 5.3          | CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS ATRAVÉS DO MAPA<br>COGNITIVO .....                                               | 44        |

|       |                                                                                                                |           |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4   | RESULTADO DA CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS .....                                                     | 45        |
| 5.5   | ATRIBUIÇÃO DE PESOS DOS CRITÉRIOS CONSENSUAIS DEFINIDORES - 2ª<br>RODADA (ENQUETE) .....                       | 45        |
| 5.6   | APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....                                                             | 46        |
| 5.6.1 | <b>Aplicação do Método Delphi ao AHP .....</b>                                                                 | <b>46</b> |
| 5.6.2 | <b>Análise dos resultados obtidos nas rodadas .....</b>                                                        | <b>51</b> |
| 5.6.3 | <b>Matrizes AHP com abordagem de Zuffo e a escala de julgamento da raiz quadrada<br/>do cenário atual.....</b> | <b>52</b> |
| 5.6.4 | <b>Verificação da Consistência .....</b>                                                                       | <b>52</b> |
| 5.6.5 | <b>Análise dos critérios resultantes .....</b>                                                                 | <b>53</b> |
| 6     | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                                                         | <b>55</b> |
| 7     | <b>ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS DURANTE O CURSO....</b>                                                 | <b>57</b> |
|       | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                        | <b>58</b> |
|       | <b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DA 1ª RODADA (ENQUETE).....</b>                                                   | <b>63</b> |
|       | <b>APÊNDICE B – CRITÉRIOS INICIAIS E SUGERIDOS .....</b>                                                       | <b>65</b> |
|       | <b>APÊNDICE C – ATRIBUIÇÃO DOS PESOS – 2ª. RODADA (ENQUETE).....</b>                                           | <b>68</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Esta pesquisa tem como premissa a apresentação de uma metodologia para tomada de decisão de gestores em transporte coletivo urbano, propondo o uso de mais um modal de transporte terrestre para melhoria do trânsito – um monotrilho. Agregadas a essa proposta de melhoria do trânsito, existem outras questões também importantes: a redução da quantidade de veículos circulantes (ônibus e automóveis); a redução da poluição ambiental (qualidade do ar e minimização de ruídos); a redução do número de acidentes (mortes e sequelas permanentes); e o menor tempo de viagens locais e regionais. Enfim, o estudo pretende analisar a viabilidade do uso de uma alternativa para contribuir com o bem estar das pessoas e do ecossistema envolvidos na questão da mobilidade urbana.

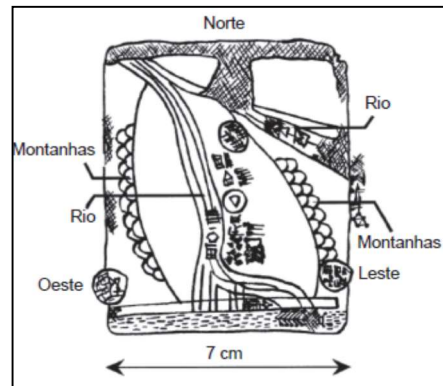
### 1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O capítulo 1 mostra uma explanação geral do assunto aqui tratado, citando principalmente um histórico do problema e sua situação atual, além do conceito de monotrilho e modais afins. O capítulo 2 traz os objetivos, geral e específicos, além dos resultados esperados. No capítulo 3 é apresentada a revisão de literatura que fundamenta a metodologia do estudo. No capítulo 4, materiais e métodos, estão os procedimentos utilizados para a realização do trabalho, como a coleta das opiniões, a transformação das opiniões em critérios, o tratamento e a análise dos critérios. O capítulo 5, traz o resultado e as discussões, destacando a confrontação dos critérios, a aplicação do método Delphi com abordagem AHP, além da verificação da consistência da metodologia proposta. As conclusões e sugestões para trabalhos futuros, estão no capítulo 6.

### 1.3 BREVE HISTÓRICO DOS TRANSPORTES DE PASSAGEIROS

Segundo Daibert (2014), a locomoção do homem já se manifestou desde os primórdios, conforme ilustra a Figura 1, pelas necessidades de se situar e deslocar. Por vários motivos, como mudança de local de morada, escassez de caça, condições climáticas, e até mesmo para reuniões festivas, o homem se deparou com o problema do deslocamento que se fazia de forma individual ou coletiva para pequenas ou longas distâncias, dependendo do evento.

Figura 1 - Tablet em argila de 2.500 a.C. – esboço do mapa mais antigo conhecido  
(Museu Semita Universidade Harvard, Cambridge – Massachusetts, EUA)



Fonte: Daibert (2014).

Ferreira (2011) comentou que, as formas encontradas para facilitar este deslocamento foram desde a criação dos veículos, terrestres e aquáticos, até a implantação dos caminhos que seriam as vias no futuro, para transporte do próprio homem e das mercadorias. Para os veículos terrestres, a propulsão destes veículos se deu inicialmente com o emprego da força humana e o adestramento de animais. Para os veículos aquáticos, foram empregadas as forças da natureza como o vento e as correntes das águas.

Aragão et al. (2001) citou que, com o passar do tempo, mais estradas e mais veículos foram desenvolvidos, até que surgiram os problemas como os congestionamentos, os acidentes e as poluições, agravadas pela falta de planejamento e pelas condutas consumistas incentivadas.

Ceder; Roberts; Schermbrucker (2014) relataram que, o aumento da popularidade do veículo particular e os baixos orçamentos disponíveis para os planejadores de transporte público fizeram com que o clientelismo do transporte coletivo diminuísse significativamente. Isso levou a problemas de congestionamento e poluição em muitas cidades ao redor do mundo. Portanto, é eminente a necessidade de um sistema inovador de transporte público, sustentável e de qualidade, para abrir a oportunidade de atrair mais pessoas para a sua utilização.

Fábio S. (2014) descreveu que o problema percebido é que o sistema de transportes públicos de passageiros passa por um processo de declínio, onde o valor absoluto de usuários aumenta e o valor relativo cai, além da baixa produtividade dos serviços com tarifas crescentes, oferta inadequada e falta de investimentos na infraestrutura.

Serpa (2014) destacou que é perceptível a saturação dos sistemas de transporte de passageiros a médias e longas distâncias entre cidades brasileiras, onde a sobrecarga reside no modo aéreo e rodoviário, principalmente nas grandes regiões metropolitanas.

Também em Serpa (2014) corroborado por Bussinger (2015), descreveram que o transporte ferroviário no Brasil, tendo nas primeiras décadas do século XX os seus tempos áureos com a expansão da malha ferroviária em todo o mundo (especialmente para passageiros), entrou em deterioração após 1950 e chegou à privatização em 1990.

Segundo Simões (1995), o quase abandono das ferrovias, por meio da irradicação de linhas e ramais e do transporte de passageiros, também contribuiu para o crescimento das rodovias.

Serpa (2014) comenta que os serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros no Brasil foram responsáveis por uma movimentação superior a 140 milhões de usuários/ano em 2008, e que o transporte rodoviário regular, em comparação ao aéreo, foi responsável por cerca de 70 % do total dos deslocamentos interestaduais de passageiros. Sua participação na economia brasileira é expressiva, assumindo um faturamento anual estimado de mais de R\$ 3 bilhões. O país conta com uma malha rodoviária de, aproximadamente, 1,7 milhões de quilômetros, sendo 186 mil asfaltados (pouco mais de 10 %, sendo estas rodovias federais e estaduais).

Para Pucher et al. (2004), a maioria dos serviços de locomoção por ônibus está trabalhando com capacidade máxima e não confiável quanto a horários de saída e chegada, isso sem contar com o desconforto de poltronas, com distanciamento inadequado entre elas agredindo a ergonomia, trazendo stress ao passageiro que na maioria estão indo ou vindo do trabalho, contando com o momento da viagem para um breve descanso. Além disso, pela quantidade circulante para atender a demanda, geram inconvenientes na lentidão do tráfego, causada pelo estrangulamento do sistema. O transporte público deve receber atenção prioritária para evitar maior deterioração da qualidade do ar, da segurança do tráfego, do congestionamento e da poluição sonora.

#### 1.4 SITUAÇÃO ATUAL DO TRANSPORTE

Segundo Pena (2019), a insatisfação da população com o transporte coletivo nas cidades brasileiras não é uma questão recente e que em pesquisas realizadas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2011/2012, revelaram um quadro negativo, com avaliações classificadas como “péssimas ou ruins” ultrapassando os 60 %. Pena (2019), Ferreira (2011) e Aragão et al. (2001), colaboram comentando que não houve nenhum tipo de preocupação das administrações públicas municipais, estaduais e federal em empreender uma política de massificação e melhoria dos transportes coletivos urbanos. Pelo contrário, o que se viu foi uma política de municipalização – oficializada na Constituição de 1988 – que descentralizou as ações

e deixou a qualidade dos serviços à mercê das prefeituras das cidades. Além disso, praticamente todos os municípios terceirizavam o serviço para empresas privadas que, buscando o máximo lucro, realizavam o serviço de forma a gastar o mínimo possível.

Aragão et al. (2001) e Pena (2019), dizem que, ao passo da ineficiência do sistema público de transporte, houve incentivos do governo federal em aumentar o consumo de carros populares, o que não foi acompanhado por uma política de mobilidade urbana. Com isso, além de ônibus lotados, assistiu-se também a trânsitos congestionados mesmo em cidades com número de habitantes relativamente baixo.

De acordo com Pena (2019), para modificar e aprimorar o transporte público no Brasil é preciso repensar a questão da mobilidade urbana e democratizar o acesso às cidades, para que a necessidade de deslocamento em longas distâncias diminua. Além disso, é preciso repensar a política de investimentos em transporte público, modernizando-o, e garantindo o seu acesso à população, pluralizando os meios de transporte para a instalação de veículos como trens, metrô e ciclovias.

Segundo Lobo (2020), o Governo do Estado de São Paulo sinalizou com a possibilidade de se criar uma ferrovia nos moldes clássicos para a solução desses problemas, chamando-o de Trem Intercidades. O programa começaria com a ligação S. Paulo a Campinas e a seguir, com a de São Paulo a São José dos Campos.

Lobo (2020) afirma também que o secretário da fazenda Henrique Meirelles, em entrevista de julho de 2020, citou que estão em andamento estudos em Parceria Público Privada para ligações entre várias cidades do estado com a capital. Medidas estas que vêm afirmar a proposta que neste trabalho é colocada, buscando o estudo de viabilidade para a implantação de novas alternativas, em termos de modais, para o transporte entre regiões metropolitanas.

#### **1.4.1 A pandemia da covid-19 e o transportes de pessoas**

Segundo Lima (2020), o surgimento da pandemia da COVID-19 impôs limitações a um setor essencial para manter as cidades em movimento, modificando profundamente os hábitos da população mundial na questão da locomoção, para quaisquer motivos, principalmente os deslocamentos para o trabalho. Dificultou sobremaneira também aqueles que precisam, pelos motivos da doença, a se deslocar até os hospitais e centros de saúde para tratamentos e visitas.

Lima (2020) também comentou que este fato afetou brutalmente o setor do transporte público coletivo, vindo a operar com a queda de 75 % dos passageiros na questão do dos ônibus,

tanto locais quanto regionais. O autor também observa que os veículos que operam com maior espaço interior, como nos vagões dos trens, metrô e monotrilhos, têm melhor condição de atender ao distanciamento entre as pessoas, tão importante quanto a higienização pessoal e dos ambientes.

## 1.5 USO DO MONOTRILHO COMO MODAL

Este trabalho propõe uma metodologia por meio do uso de análise multicritério para auxílio à tomada de decisão (MCDA) para subsidiar os gestores na avaliação da viabilidade para a implantação do monotrilho como solução alternativa para transporte de passageiros e de pequenas cargas, entre regiões metropolitanas. Essas são densamente povoadas e apresentam dificuldades de expansão de sua malha viária, por todas as questões impostas pela ocupação espacial, tanto devido às edificações como à própria rede de transporte terrestre já implantada.

### 1.5.1 Definição

Segundo Pedersen (2015), o monotrilho é um meio de transporte coletivo elétrico de média-alta capacidade, e trafega sobre pneus em via exclusiva. O trem, com 4, 6 ou 8 carros, corre sobre uma viga elevada, que é seu trilho único. A distância entre os trilhos de ida e volta é determinada pela largura do trem, menor que a de outros sistemas equivalentes. O monotrilho é o único meio de transporte em que a via tem largura inferior à do veículo.

A Figura 2 refere-se ao sistema de monotrilho para a Linha 3 do Metrô do Panamá, a ser implantada. Esse tipo de sistema é o proposto pelo presente estudo.

Figura 2 - Monotrilho lateral implantado na faixa de domínio da rodovia



Fonte: mitsubishicorp (2018)

Segundo Oliveira et al. (2010), o monotrilho é definido como um tipo de veículo leve sobre trilhos que ao invés de circular em um par de trilhos como as ferrovias tradicionais, circulam em um único trilho que pode ser metálico ou em concreto armado e que podem usar rodas metálicas, rodas com pneus de borracha ou levitação magnética e são movidos a energia elétrica.

Alouche (2019) comentou que a definição de monotrilho não é muito clara, ou seja, não é uma informação definida. Algumas vezes é citado como referência ao modelo de transporte de massa, e em outras é referente ao tipo de tipo do veículo transportador, ou seja, o trem propriamente dito. Semanticamente, a palavra monotrilho se refere a um trilho somente, em contraponto aos modelos comuns de transporte, que ocorrem em dois trilhos.

Conforme Trove (2019), uma das primeiras notícias que aparece na imprensa a respeito do monotrilho data de 12 de agosto de 1901, referindo-se a uma implantação do sistema entre Manchester e Liverpool.

Pedersen (2015) diz que uma citação que merece destaque é a do monotrilho da cidade de Wuppertal na Alemanha, de construção iniciada em 1901 e operação efetiva de 1903 até os dias de hoje.

Figura 3 - O Wuppertaler Schwebebahn, em Wuppertal na Alemanha



Fonte: wuppertal (2019).

Pedersen (2015) observou que existem basicamente dois modelos que se aplicam ao interesse desse estudo: o modelo Straddle Type, onde o monotrilho se desloca sobre os trilhos, e o modelo Suspended Type, onde o monotrilho se desloca sob os trilhos. O autor concluiu que a opção pelo Straddle Type se deu por se aproximar melhor das características exigidas para este caso, como a altura do trilho a partir do solo, facilitando sua locomoção, pois neste caso o monotrilho atravessará trechos com alta densidade de edificações e vias de trânsito de outros modais.

## 1.6 O METODO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO – MCDA

Segundo Diniz (2004), os processos com múltiplos critérios de tomada de decisão surgiram a partir do reconhecimento de necessidades geradas por problemas complexos, onde é preciso analisar critérios pessoais de preferência, como aspectos políticos, risco, beleza e custo, por exemplo. A utilização destes critérios é necessária para a compreensão da realidade do problema analisado e escolha da alternativa que permitirá tomar a decisão mais adequada.

Segundo Boulomytis et al. (2019), para modelos preconizadores, a tomada de decisão estruturada é condição para se chegar a uma solução ideal de um problema. Essa tomada de decisão pode ser dividida em elementos que simplifiquem o processo e a construção da avaliação, além de reduzir as incertezas e aumentar a eficácia do processo.

Runge e Walshe (2014) apontaram uma tendência natural dos tomadores de decisão em definir alternativas sem definir completamente os objetivos. Por outro lado, as situações de decisão não podem ser controladas por essa abordagem de pensamento focado na alternativa, que identifica as alternativas antes de articular valores.

As alternativas são os meios para alcançar valores. Kenney (1996) afirmou que quando a tomada de decisão é baseada em um pensamento focado em valores, os objetivos são claramente definidos e associados às suas funções quantitativas.

A identificação dos objetivos é essencial para se chegar a uma decisão de forma mais inteligente com a abordagem do pensamento focado no valor conforme Keeney (2007), e podem ser clasificados como:

- objetivos fundamentais;
- objetivos dos meios;
- objetivos estratégicos; e
- objetivos dos processos.

Os objetivos fundamentais são relacionados ao valor final da tomada de decisão e os objetivos dos meios são os métodos para alcançar os fins conforme Gregory e Keeney (2007). Os objetivos estratégicos são influenciados por todas as decisões e os objetivos do processo dizem respeito a como a decisão foi tomada.

De acordo com Keeney (1996), os objetivos (ou critérios) consistentes devem ser essenciais, independentes, controláveis, operacionais, decomponíveis, não redundantes, completos, mensuráveis, concisos e compreensíveis.

Conforme Lee Chung (2009) e Keeney (1996), um objetivo comum entre todas as técnicas de avaliação multicritério existentes é de fornecer aos decisores auxílio adequado para chegar à solução ideal para um problema. A tomada de decisão estruturada é essencial para aumentar a eficácia do processo e reduzir as incertezas de decisão.

Para Keeney (1996), a identificação estrutural de critérios requer criatividade e habilidades de comunicação adequada, pois uma discussão lógica e estruturada deve ser orientada por questões sequenciais para cada critério. Por exemplo, o uso de “como” para perguntar sobre os meios a serem usados para atingir os fins; e “por que” para indicar a importância do critério e conduzir os fins de volta aos meios, que, dependendo da resposta, podem se tornar uma alternativa.

De acordo com Ferretti (2016), a construção de objetivos normalmente é feita com o emprego de Mapas Cognitivos, o que melhora a exibição de ideias esclarecendo as percepções. A

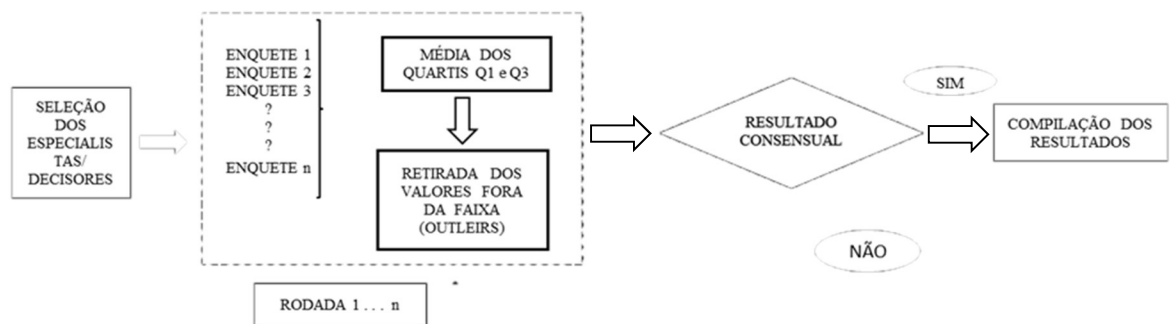
classificação organizada, o acesso e visualização simplificada dos conceitos discutidos anteriormente são apontadas como as principais vantagens do mapeamento cognitivo.

Na presente dissertação, o método Delphi é aplicado à pesquisa baseada em especialistas, seguida pelo Processo de Hierarquia Analítica (AHP) usando a escala de julgamento da raiz quadrada de Harker e Vargas (1987) adaptado em uma abordagem estendida de Zuffo (2011). A articulação prévia de preferências entre os especialistas, desde a seleção até a atribuição de cada critério, depois é classificada em um mecanismo de priorização de comparações pareadas.

### 1.6.1 Método Delphi,

Garcia-Melon et al. (2012) destacam que a seleção e participação de especialistas motivados, são cruciais para a abordagem da tomada de decisão em um processo participativo de conhecimento e julgamento. No método Delphi, a participação de experts no processo de tomada de decisão é anônima. A distribuição dos resultados é representada estatisticamente e o feedback pós-avaliação é usado para procurar uma solução "ideal" consensual, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - O procedimento de julgamento Delphi em um processo de construção de consenso



Fonte: Boulomytis et al.(2019)

O método assume que o uso estruturado de conhecimento, experiência e criatividade de todos os especialistas é melhor do que a opinião de indivíduos isolados para alcançar soluções ideais, especialmente quando não há dados quantitativos suficientes para prever um cenário ou quando novos fatores podem mudar tendências futuras, comentados em Giovinazzo e Wright (2000). Os efeitos negativos causados pela interação dos grupos, como os vieses dos decisores, podem ser evitados, uma vez que o método trabalha com opiniões escritas, conforme Garcia-Melon (2012). Aplicações recentes do método Delphi são encontradas no campo do desenvolvimento sustentável e planejamento de políticas, tais como citados em Garcia-Melon

(2012) e Terrados et al (2009).

A possibilidade da importância relativa dos critérios ser reduzida devido ao tratamento estatístico proposto pode ser apontada como uma limitação do método Delphi. Zuffo (2011) destaca que, ao remover os pesos de julgamento quando estão fora da faixa interquartil (outliers), as distâncias entre todos os pesos dos critérios tendem a se estreitar entre os valores 7 e 9, enquanto a escala inicial varia de 1 a 10 (Tabela 1). No entanto, antes do uso do AHP, os pesos e seu nível de importância podem ser redefinidos corretamente.

Quadro 1 - Pontuações relativas de acordo com o nível de importância de cada critério

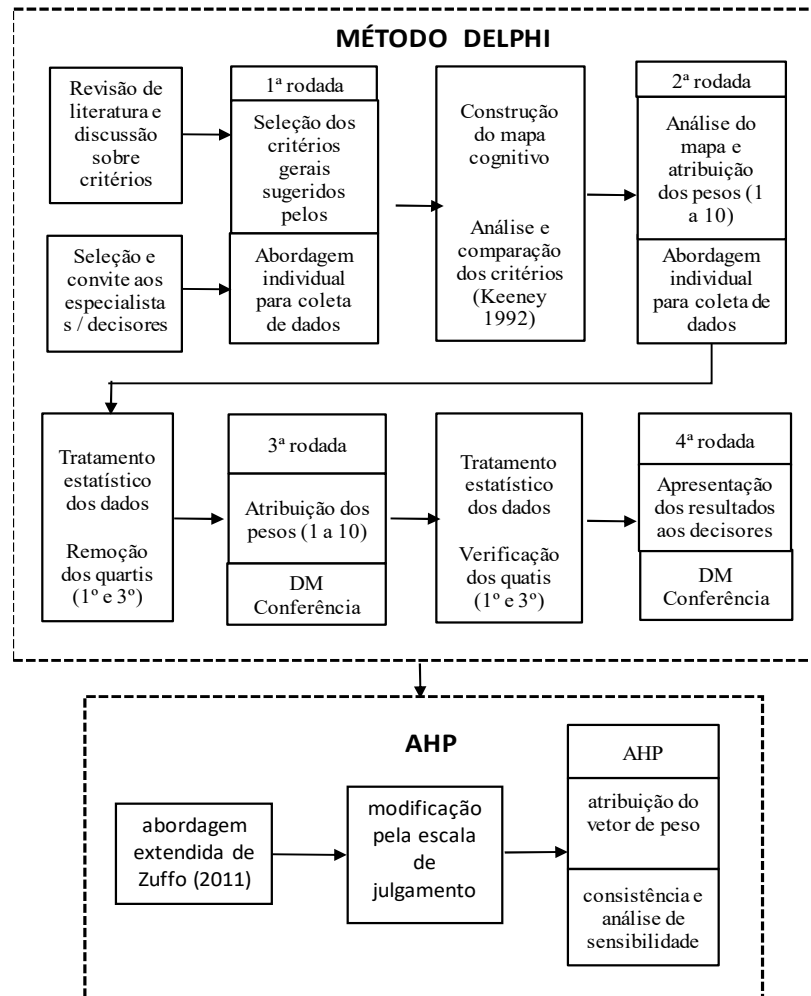
| n  | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,51 |

Fonte: Adaptado de Saaty (2011)

### 1.6.2 Processo de hierarquia analítica – AHP

O Processo de Hierarquia Analítica (AHP, em inglês, *Analytic Hierarquic Process*) é uma técnica estrutural multinível e hierárquica desenvolvida por Saaty (2011) tem sido usada principalmente devido à simplificação de problemas complexos e subjetivos, conforme colaboram também Shin (2013) e Zhang (2010). A Figura 5 mostra o fluxograma:

Figura 5 - Fluxograma do método Delphi



Fonte: Boulomytis et al.(2019)

A avaliação AHP é baseada na comparação de pares da matriz  $A$  ( $n \times n$ ), dada por:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z_1/z_2 & \cdots & z_1/z_n \\ z_2/z_1 & 1 & \cdots & z_2/z_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_n/z_1 & z_n/z_2 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:  $n$  é o número de critérios,  $a_{ij}$  é a comparação de pares ( $1 \leq i, j \leq n$ ), que é a importância do critério  $i$  de acordo com o critério  $j$ , e  $z_1, z_2 \dots z_n$  é a prioridade relativa. A matriz  $A$  é então normalizada e a matriz  $A'$  é alcançada. Para isso, todos os elementos da matriz  $A$  são divididos pela soma da respectiva coluna de elemento.

$$A' = \begin{bmatrix} a_{11}' & a_{12}' & \cdots & a_{1n}' \\ a_{21}' & a_{22}' & \cdots & a_{2n}' \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}' & a_{n2}' & \cdots & a_{nn}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} / \sum_{i=1}^n a_{i1} & a_{12} / \sum_{i=1}^n a_{i2} & \cdots & a_{1n} / \sum_{i=1}^n a_{in} \\ a_{21} / \sum_{i=1}^n a_{i1} & a_{22} / \sum_{i=1}^n a_{i2} & \cdots & a_{2n} / \sum_{i=1}^n a_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} / \sum_{i=1}^n a_{i1} & a_{n2} / \sum_{i=1}^n a_{i2} & \cdots & a_{nn} / \sum_{i=1}^n a_{in} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Consequentemente, a soma de cada linha da matriz de julgamento normalizada  $A'$  leva à definição da matriz vetorial  $V$ .

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n a_{1j}' \\ \sum_{j=1}^n a_{2j}' \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n a_{nj}' \end{bmatrix} \quad (3)$$

A matriz vetorial  $V$  é normalizada e convertida na matriz vetorial de peso final  $\lambda$ .

$$\lambda = \begin{bmatrix} v_1 / \sum_{i=1}^n v_i \\ v_2 / \sum_{i=1}^n v_i \\ \vdots \\ v_n / \sum_{i=1}^n v_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 1.6.3 Análise de consistência

Uma das vantagens do método AHP é o emprego da análise de consistência para avaliar os resultados. Saaty (2011), inicialmente, propôs uma metodologia onde o maior autovalor da matriz ( $\lambda_{\max}$ ) e Índice de Consistência (CI) são calculados usando as equações a seguir:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n (Av) / (n.v_i) \quad (5)$$

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

Conforme Franek e Kresta (2014), com o avanço das comparações pareadas, também foi necessário melhorar a avaliação dos erros de consistência. Portanto, Saaty (1980), recomendou a medida da Razão de Consistência (CR), dada como:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Onde: RI é o índice de acordo com a Tabela 1. A melhor solução seria para  $CI = 0$ . Assim, valores consistentes correspondem a  $CR < 1$ .

## 2 OBJETIVOS E RESULTADOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é propor uma metodologia confiável, para subsidiar tomadas de decisão dos gestores, fazendo uso de análise multicritério para a implantação de monotrilho entre regiões metropolitana, incluindo a adoção de posturas sustentáveis sugeridas pela ONU para a prática de ESG (em inglês Environmental, Social and Governance) assumindo boas práticas Ambientais, Sociais e de Governança do empreendimento.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir critérios pelo método Delphi;
- Ponderar os critérios segundo as premissas de Keeney (1996)
- Empregar metodologia AHP para a hierarquização dos critérios;

### 2.3 RESULTADOS ESPERADOS

É esperado que na conclusão deste trabalho, os resultados atendam aos objetivos, geral e específicos sugeridos, alcançando a expectativa do que eles propõem, além de estar em obediência às normas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - FEG/UNESP, na área de Energia, na linha de pesquisa de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, abordando especialmente neste trabalho o que concerne a Planejamento Urbano, item enfatizado na caracterização das Áreas do Programa.

Além da atenção à linha de pesquisa comentada, é sugerido que o investimento atenda à ESG, proposta pela ONU em 2004 conforme publicação do Pacto Global em parceria com o Banco Mundial, chamada Who Cares Wins, adotando posturas quanto ao Meio Ambiente responsável, na atenção justa e digna de seus funcionários e na governança descentralizada das medidas adotadas pelas gerencias, conforme TERA - Tratamento de Efluentes e Reciclagem Agrícola, 2021.

Para o objetivo geral, a metodologia sugerida deverá se mostrar consistente e factível, atendendo aos processos eleitos para tal, como o método Delphi e à técnica AHP, principalmente.

Quanto aos objetivos específicos, é esperado que eles apresentem conclusões satisfatórias e coerentes, atendendo às propostas dentro dos parâmetros sugeridos, como os métodos citados anteriormente.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A ESCOLHA DO MONOTRILHO E AS PREMISSAS PARA A IMPLANTAÇÃO, UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO

Kordani, Boroomandrad e Rooyintan (2020) investigaram a preferência dos usuários de transporte público da região metropolitana de Teerã, comparando diferentes índices efetivos como análise de benefícios para custos, satisfação dos passageiros, congestionamento de tráfego, emissões ambientais, custos operacionais, para priorizar o BRT que trafega em faixa exclusiva, ou o metrô leve, em especial o Monotrilho e o Tramway (expressão em inglês para Bonde). Consequentemente, os autores compararam e analisaram os dados com o método TOPSIS (em inglês, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) no SPSS (em inglês, Statistical Package for the Social Sciences). Para ter uma comparação precisa, cada índice foi avaliado através de uma pergunta em um questionário respondido por trinta experientes especialistas em transporte público.

Ebrahim e Bridgelall (2021) aplicaram um modelo baseado em decisão com incerteza, para identificar fatores na escolha do modo e classificar sua influência na atração de passageiros para os modais de transporte público disponíveis na cidade de Teerã. O modelo adotado pelos autores integra um método Delphi em um processo de hierarquia analítica difusa com teoria de conjuntos fuzzy para processar incertezas de opinião (acertar). Os autores constataram que, em ordem de importância, o ranking de atributos de serviço foi: segurança, confiabilidade, frequência, conforto, custo de viagem, fornecimento de informações e acessibilidade. Com base nesses atributos, por ordem de preferência dos passageiros vem o metrô, vans, táxis e os serviços de ônibus públicos. Essas constatações corroboram a hipótese de que vale a pena para as grandes cidades aumentar os investimentos em melhorias no transporte público, mesmo com a proliferação de serviços de carona com o potencial de atrair usuários para longe de serviços mais eficientes e de menor custo. Consideram também que, para projetos de transporte, políticas, medidas políticas e avaliação de opções de transporte, vários métodos multicritério desenvolvidos podem ser efetivamente aplicados para avaliar a eficácia convencional dos custos e da análise de custo-benefício. Em seu artigo os autores apresentaram uma revisão de última geração da literatura pertinente sobre a MCDA no setor de transportes, juntamente com seus parâmetros de papel e avaliação. Em mais de 50 artigos e publicações entre 1982 e 2019 revisados, foi verificado que as técnicas de métodos de MCDA estão sendo aplicados principalmente para avaliar opções de transporte em vez de

políticas de transporte ou projetos, e o método MCDA mais usado em problemas do setor de transporte é o AHP.

Broniewicz (2020) considera que a Avaliação Ambiental Estratégica (SEA) e a Avaliação de Impacto Ambiental (EIA) são importantes instrumentos legais da política ambiental da União Europeia que permite identificar, prever, prevenir e mitigar e ou compensar esses efeitos adversos. Como parte da avaliação do impacto ambiental, são consideradas variantes de atividades planejadas e projetos de investimento para selecionar a opção, que é a mais favorável do ponto de vista ambiental. Em seu trabalho, a autora examinou a possibilidade de utilização de métodos de vários critérios para selecionar a variante de rota mais favorável ao ambiente. Na primeira etapa, foi realizada uma revisão da literatura global de 2010 a 2019 sobre o tema dos métodos MCDM/MCDA utilizados no transporte. Com base na revisão, foi comprovado que os métodos mais populares utilizados para resolver problemas de decisão multicritério no campo do transporte são, respectivamente: AHP com modificações, TOPSIS, DEMATEL (em inglês, *Decision Making Trial and Evaluation*), bem como métodos englobados na chamada tendência europeia, ou seja, PROMETHEE (em inglês, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) e ELECTRE (em francês, *Élimination et Choix Traduisant la Réalité*). Foram escolhidos quatro métodos selecionados na parte empírica deste trabalho, que foram utilizados para selecionar a variante da seção de uma via expressos no nordeste da Polônia, e comparar o resultado da análise com a escolha feita no relatório de impacto ambiental analisado.

Haial, Berrado e Benabbou (2021) apresentam uma visão geral do uso de métodos de Tomada de Decisão em Grupo Multicritérios para a resolução de problemas de transporte, com foco especial no problema de seleção do modo de transporte. Segundo os autores, o desenvolvimento de um sistema de transporte bem-sucedido envolve a tomada de decisões em relação a diversos componentes, incluindo: escolher o modo de transporte adequado, projetar uma rede de transporte eficiente, decidir qual parte do processo de transporte será terceirizado e qual será próprio, e gerenciar as rotas dos veículos.

Ainda segundo Haial, Berrado e Benabbou (2021), a seleção do meio de transporte mais adequado é uma das decisões estratégicas de transporte mais importantes. Trata-se de um complexo problema de tomada de decisão em grupo de vários critérios devido ao fato de envolver múltiplas partes interessadas com diferentes critérios conflitantes. Os autores demonstram a necessidade de aplicar os métodos de tomada de decisão multicritério para selecionar o modo de transporte adequado para a cadeia de fornecimento farmacêutico público marroquino.

Bruen (2021) realizou uma extensa revisão de literatura através das bases de dados

bibliométricas SCOPUS e Web of Science, onde identificou trabalhos relacionados ao uso de métodos multicritério em disciplinas relacionadas à engenharia civil. Os resultados foram analisados para informações sobre a distribuição geográfica relatada de uso, os métodos utilizados, as áreas de aplicação com maior uso e as ferramentas de software utilizadas. Houve uma ampla distribuição geográfica de uso em todos os continentes do hemisfério norte bem representados. No entanto, dos muitos métodos disponíveis, um pequeno número parecia dominar o uso com AHP, sendo o mais utilizado.

Simić, Soušek e Jovčić (2020), realizaram um estudo com objetivo de introduzir uma abordagem de tomada de decisão de vários critérios para a avaliação de riscos da infraestrutura ferroviária. Segundo os autores, para aumentar o nível de segurança e prevenir acidentes significativos, é essencial priorizar fatores de risco ao avaliar a infraestrutura ferroviária, e a questão chave é como identificar infraestruturas ferroviárias inseguras para que as autoridades possam realizar projetos de melhoria de segurança e tempo. Formularam uma abordagem baseada em conjuntos fuzzy de imagem para representar e lidar com informações relacionadas a riscos, implementada no contexto da República Tcheca para classificar as infraestruturas ferroviárias. A entropia Tsallis-Havrda-Charvát também foi aplicada para priorizar fatores de risco. Os autores realizaram duas análises de sensibilidade verificaram a robustez da abordagem formulada. A análise comparativa com cinco abordagens difusas de imagem de última geração aprovou sua alta confiabilidade. Em comparação com as abordagens difusas de imagem de última geração, a abordagem três-paramétrica fornecida tem flexibilidade superior.

Stoilova (2020), elaborou uma abordagem integrada para o planejamento do transporte no transporte ferroviário de passageiros em caso de incerteza cuja metodologia consiste em quatro etapas. Na primeira etapa, foram determinados os parâmetros de um modelo multicritério em caso de incerteza. Isso inclui a definição dos critérios para seleção de um plano de transporte; formulação das alternativas do plano de transporte; formulação das estratégias e variantes de probabilidade de variação de fluxo de passageiros para cada estratégia. No segundo estágio, os pesos das variantes de probabilidade das estratégias de mudança no fluxo de passageiros foram determinados utilizando-se o método AHP. Classificou também, alternativas do plano de transporte aplicadas para a rede ferroviária búlgara, pela aplicação do método de modelagem interativa sequencial para sistemas urbanos - SIMUS (em inglês, *Sequential Interactive Model for Urban Systems*) com base na programação linear. Os resultados dos valores do critério de classificação obtidos através do método SIMUS e os pesos das variantes da variação do fluxo de passageiros calculadas com o método AHP foram utilizados como entrada nos valores esperados

na árvore de decisão. A seleção de uma alternativa adequada em caso de incerteza foi realizada na terceira etapa, aplicando o método da árvore de decisão. Na quarta etapa, a verificação dos resultados foi feita usando o critério de Laplace e o critério de Hurwitz.

Segundo Stoilova (2020), a abordagem multicritérios tem grande relevância ao ser utilizada para a tomada de decisões em caso de incerteza sobre o fluxo de passageiros; investigação de diferentes estratégias de variação do fluxo de passageiros, e tomar decisões em caso de instabilidade do fluxo de passageiros ou falta de dados suficientes de viagens.

Arias e Bachmann (2021), analisaram como diferentes fatores (demanda, condições locais, financeiras, sociais e políticas) influenciaram todos os projetos de trânsito rápido no Equador nas últimas três décadas, avaliando sua importância relativa em cada componente do sistema (alinhamento, tamanho e tecnologia). Segundo os autores, o processo de planejamento do transporte é moldado por fatores mais do que técnicos, e por este motivo aplica uma metodologia de múltiplos casos, incluindo entrevistas aprofundadas com os membros seniores das equipes técnicas, bem como um componente de pesquisa baseado no processo de hierarquia analítica para quantificação da importância relativa dos fatores.

Em sua análise comparativa dos projetos, Arias e Bachmann (2021) mostram cinco resultados-chave:

- (1) Cada projeto foi único e fatores externos introduziram um grau variado de complexidade em cada processo de planejamento;
- (2) Os alinhamentos e tamanhos dos sistemas foram principalmente impulsionados pela demanda e pelas condições locais (processo de planejamento racional);
- (3) O principal fator que impulsiona a seleção da tecnologia evoluiu ao longo do tempo da demanda do sistema para a abordagem política (abordagem de negociação política);
- (4) As condições econômicas negativas influenciaram muito os fatores de todos os componentes do projeto;
- (5) Falta uma avaliação alternativa racional e a ausência de ferramentas/diretrizes correspondentes no Equador.

No entanto, Arias e Bachmann (2021) comentam que vários processos incluíram práticas que contribuíram para um processo de planejamento mais racional: análise de custos do ciclo de vida para as diversas alternativas tecnológicas, diretrizes explícitas de tomada de decisão, transferência do risco de demanda para o setor privado e uso de análise de decisão multicritério. Implicações para futuros esforços de planejamento são discutidas.

Hsu, Tsai e Shiau (2021), elaboraram um sistema de planejamento e avaliação para a

construção do sistema de transporte ferroviário leve (em inglês, *Light Rail Transit - LRT*) para auxiliar os governos na priorização das cidades para a construção do sistema LRT. Em seu estudo, os autores confirmaram 7 dimensões de avaliação e 19 indicadores e pesos de avaliação para avaliação da prioridade dos municípios para a construção de um sistema de transporte ferroviário leve (LRT). O método AHP, foi adotado para analisar opiniões de especialistas, e por meio de uma série de processos de pesquisa equitativos e organizados, os autores do estudo desenvolveram um conjunto de medidas de avaliação integrando todas as normas de avaliação para auxiliar o governo na seleção da cidade ideal para a construção do sistema LRT. Para garantir que o método proposto pudesse permitir que os organizadores do transporte público fizessem escolhas sistemáticas de forma conveniente, três cidades em Taiwan atualmente avaliadas locais do sistema LRT foram selecionadas para comparar os pontos fortes e fracos relativos de vários indicadores de avaliação e classificá-los. Em relação à cognição de especialistas em relação aos indicadores de avaliação, Hsu, Tsai e Shiau comentam que esse sistema de avaliação pode ajudar a melhorar as deficiências dos métodos de seleção atuais (ou seja, os órgãos de avaliação determinam as deficiências de uma política baseada na impressão).

### 3.2 MODELOS DE ABORDAGENS QUE VIABILIZAM A IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Pereira e Silveira Neto (2012), observaram a importância de destacar aspectos relacionados com a Análise da Viabilidade de Projetos de Infraestrutura de Transportes, aplicados a estudos de ampliação de capacidade de sistemas de transporte, sendo destacado o aspecto da relevante importância da participação da iniciativa privada como parceira nos investimentos em infraestrutura. São abordados os métodos e estudos de viabilidade técnica e econômica, empréstimos, financiamentos e aspectos particulares a estudos para avaliação de projetos na área de infraestrutura de transportes. Como método para a avaliação de viabilidade financeira de projetos de concessões em investimentos em infraestrutura foi escolhido o *Project Finance*, tanto por seu potencial para a obtenção de parâmetros fundamentais para a tomada de decisão sobre alternativas de investimento, notadamente em projetos que considerem a participação privada como importante na viabilização do projeto, como para a análise de fatores intervenientes no risco de um investimento em obras de infraestrutura de transportes.

Sobre a prática governamental na análise de projetos, segundo Dalbem et al. (2010) no Brasil, embora já existam algumas normas e diretrizes que levam em consideração os efeitos do

melhor acompanhamento e questionamento por parte da sociedade quanto à melhor forma de investir recursos escassos, fazendo frente ao desafio de transformar os potenciais benefícios econômicos de um projeto de transportes em valores tangíveis, não há ainda uma cultura consolidada nesse sentido, tampouco um conjunto de práticas definidas para o uso da avaliação econômica como ferramenta de decisão de investimentos públicos. Comenta ainda que na avaliação financeira, procura-se identificar se o projeto é autossustentável financeiramente, enquanto na avaliação econômica o foco é definir se o projeto gera benefícios líquidos para a sociedade, entendidos como os benefícios incrementais causados pelo projeto.

Dessa forma, em projeto que capture demanda já atendida por outros meios, deve ser considerado apenas o seu benefício adicional para a sociedade e não a demanda total atendida. Dalbem et al. (2010) reforça outro importante conceito em avaliação econômica referente às externalidades, entendidas como os impactos causados a terceiros, pelos quais o projeto não está sendo onerado ou, ainda, beneficiando a terceiros (segurança, por exemplo), o que não geraria receita para o projeto. Destaca que o Banco Mundial recomenda que essas externalidades sejam quantificadas monetariamente sempre que possível, sendo importante definir os principais critérios de avaliação econômica para tal. Comenta que o critério de análise de custo-benefício (em inglês, *Cost-Benefit Analysis* - CBA) analisa alternativas de investimento via quantificação monetária do maior número possível de custos e benefícios, sendo no caso das externalidades, tal quantificação monetária efetivada usualmente mediante métodos como os de valoração contingente, que procuram determinar a disposição dos usuários para pagar (em inglês, *Willingness To Pay* - WTP) por um determinado item ou serviço. Quando não há como monetizar todos os efeitos de um projeto, uma alternativa é usar o critério de custo-efetividade (em inglês, *Cost-Effectiveness Analysis* – CEA).

Por esse critério Dalbem et al. (2010) cita, os benefícios são ainda quantificáveis, porém, por meio de outros resultados como, por exemplo, quantas pessoas ou empresas, hoje não atendidas, passarão a usufruir da nova infraestrutura. Tais benefícios, comenta, ponderados pelo custo total do projeto, tornam possível ordenar projetos alternativos por ordem de efetividade. Embora seja um bom critério para escolher entre alternativas, o CEA não contribui para a decisão investir/não investir. Quando existem múltiplos objetivos a serem atingidos em um projeto, Dalbem et al. (2010) destacam que uma terceira alternativa é usar análise multicritério, onde diversos objetivos são ponderados por sua importância relativa, gerando uma nota que, dividida pelo custo do projeto, produz um índice que permite a comparação com outros projetos. A atribuição desses pesos pode ser transparente, na medida em que especialistas e a população sejam

chamados a opinar, porém um forte componente de subjetividade continuará sempre existindo nesse processo. Quando os objetivos finais do projeto não forem facilmente quantificáveis, acrescenta, resta a análise qualitativa, embora restringir a avaliação econômica a dados qualitativos pode aumentar muito a subjetividade, a ponto de afetar a transparência e a imparcialidade da análise.

Finalmente cita Dalbem et al. (2010), na prática, em 14 países europeus se tem feito avaliação econômica, não como elemento de decisão final, mas outros dados devem ser levados em consideração nesta decisão, como os fatores políticos e culturais

Pereira e Neto (2013) alertam também que o CBA ainda não incorpora desenvolvimento econômico, emprego, redução de pobreza, na análise, sugerindo que o CEA seja usado para uma primeira triagem dos projetos, escolhendo apenas os que atendam aos objetivos de difícil monetização. Em uma segunda fase, comenta, uma análise CBA identificaria os projetos considerados como economicamente viáveis.

## 4 MATERIAIS E METODOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Confrontando com que cita Lima et al. (2007), concluímos que a perspectiva dessa dissertação pretende contribuir para a qualificação dos estudos que estabelecem a pesquisa bibliográfica como procedimento metodológico. Inicialmente, apresenta-se a importância de expor o método científico do qual parte o autor; em seguida sinaliza as formas de construção do desenho metodológico e a escolha dos procedimentos que permitem realizar a classificação do material e do conteúdo a ser pesquisado, finalizando com a exposição do percurso de pesquisa realizado, direcionado às formas de apresentar e de analisar os dados obtidos onde também são tecidas algumas considerações e listadas as referências bibliográficas.

Os termos “facilitador” e “decisores” fazem parte do método de pesquisa. O “facilitador” é o autor do presente trabalho, e os “decisores” são os especialistas da área de Transportes de Passageiros convidados a participar do trabalho.

A escolha dos decisores se deu no conhecimento e experiência que o facilitador tem do universo dos especialistas em transportes, contatando engenheiros de campo atuantes na linha de frente nas rodovias e ferrovias, engenheiros projetistas e consultores das concessionárias, funcionários de órgãos públicos, professores da área, além de experts afins como economistas e profissionais de mercado de capitais atuantes em negócios do gênero.

Por questões de ética e sigilo que se impõe nesta pesquisa, seus nomes e cargos não serão divulgados, mas ficarão arquivados para uma eventual e restrita consulta que se fizer necessária.

### 4.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

De acordo com Diniz (2004), Ebrahim e Bridgelall (2021) e Otha, (2020), as pesquisas apontaram a existência de várias metodologias que se abordam o estudo do processo decisório, tanto para tomada de decisões, quanto para o apoio a decisões. Aqui, a presente proposta será tratada e analisada utilizando-se a metodologia Multicritério em Apoio à Decisão com abordagem AHP, pois é uma metodologia considerada como sendo uma das que melhor aborda a estruturação de problemas de transporte.

#### 4.2.1 Fases do desenvolvimento

Fase 1 - foi feita entrevista pelo facilitador com o grupo de decisores para conhecimento da pesquisa, assim como sugerir um material para instrução sobre os procedimentos incluindo a adoção de posturas sustentáveis sugeridos pela ONU para a prática de ESG (em inglês *Environmental, Social and Governance*) assumindo boas práticas Ambientais, Sociais e de Governança do empreendimento.

As entrevistas, a explanação do problema e dos conceitos, foram realizadas por whatsapp e por e-mail. Após, foi enviado um questionário, 1ª Rodada (Enquete) com uma breve explanação composto dos critérios, colocados pelo facilitador. Este questionário, constante do Apêndice A, além de colher a opinião dos decisores, serviu de orientação e incentivo aos novos critérios que porventura seriam acrescidos pelos decisores, quando convenientes.

Conforto, Segurança, Pontualidade, Tempo de Viagem, Paisagem, Trafegabilidade, Impactos Ambientais, Energia e Custos, foram os 9 critérios inicialmente apresentados pelo facilitador com a correspondente descrição e enviados aos decisores por e-mail, para que opinassem sobre estes critérios iniciais, acrescentando os critérios sugeridos por eles, conforme pede o método Delphi, e consta do Apêndice B. Desta forma foi ampliada a gama de opiniões para que a escolha dos critérios eleitos fosse mais abrangente e confiante.

Fase 2 - aqui todos os critérios são montados em um mapa cognitivo, após confrontação em uma planilha dissertativa de comparação com a descrição de cada critério, para que se possa entender a interligação dos afins e seu comportamento quanto a importância. São definidos os critérios fundamentais, que terão ligação direta com o objeto do trabalho; os critérios dos meios, que dão suporte aos fundamentais; os critérios redundantes, que são aqueles que repetem o interesse de outros e os critérios sem importância ou inconclusos.

Fase 3- nesta fase é feita a compilação dos critérios com uma apresentação dissertativa, onde estes são planilhados com suas características, para uma compreensão mais explícita do que a apresentada no mapa cognitivo.

Fase 4 – o resultado da construção do mapa cognitivo e do planilhamento descritivo das propriedades dos dados são os critérios consensuais e definidores para obtenção dos critérios finais que irão nortear a pesquisa.

Fase 5 – aqui os decisores responderam ao questionário da 2ª Rodada (Enquete), que lhes foi enviado por e-mail, onde foi solicitada a valoração dos critérios através da atribuição de pesos, conforme sua avaliação, em atenção ao que pede o método AHP, este questionário consta do

### Apêndice C.

Fase 6– nesta fase os critérios tem o tratamento matemático previsto no método AHP para a construção da matriz de julgamento,

Fase 7 – aqui é planilhada a matriz final de julgamento, composta por outras matrizes como a abordagem extendida de Zuffo (2011), a de comparação dos pares e de normalização dos dados, que vai permitir a verificação final dos resultados.

Fase 8 – finalmente, nesta fase é feita a verificação da consistência do resultado segundo a metodologia proposta, ou seja, uma análise de decisão multicritério baseada nos métodos Delphi e AHP.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DA PESQUISA

### 5.1 RESULTADO DA ENTREVISTA DE INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO PARA PRÉ-DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DA 1ª ENQUETE

As entrevistas, a explanação do problema e dos conceitos, foram realizadas por whatsapp e por e-mail. Após, foi enviado um questionário com uma breve explanação dos critérios, colocados pelo facilitador. Este questionário, constante dos Apêndices A e B, além de colher a opinião dos decisores serviu de orientação e incentivo a novos critérios que seriam acrescidos pelos decisores, quando convenientes.

O resultado da Fase 1, consta dos Apêndices A e B, e está resumido no Quadro 2, onde foi planilhado o julgamento da pertinência dos critérios (as colunas S e N, referem-se a sim e não).

Quadro 2 - Julgamento da pertinência

|    | CRITÉRIOS JULGADOS               | S  | N |
|----|----------------------------------|----|---|
| 1  | acessibilidade                   | 2  | 0 |
| 2  | acessibilidade das estações      | 1  | 0 |
| 3  | acesso á internet                | 1  | 0 |
| 4  | arquitetura e urbanismo          | 1  | 0 |
| 5  | capacidade                       | 1  | 0 |
| 6  | capacidade de carga              | 1  | 0 |
| 7  | concorrência                     | 1  | 0 |
| 8  | confiabilidade                   | 1  | 0 |
| 9  | conforto                         | 17 | 3 |
| 10 | conforto no terminal             | 1  | 0 |
| 11 | convênios                        | 1  | 0 |
| 12 | custo                            | 20 | 0 |
| 13 | demanda                          | 1  | 0 |
| 14 | demanda regional                 | 1  | 0 |
| 15 | demanda/capacidade de transporte | 1  | 0 |
| 16 | energia                          | 19 | 1 |
| 17 | estações 1                       | 1  | 0 |

|    |                                                 |    |    |
|----|-------------------------------------------------|----|----|
| 18 | estações 2                                      | 1  | 0  |
| 19 | estações 3                                      | 1  | 0  |
| 20 | fontes de financiamento                         | 1  | 0  |
| 22 | higiene                                         | 2  | 0  |
| 23 | horários                                        | 1  | 0  |
| 24 | impactos ambientais                             | 20 | 0  |
| 25 | informação                                      | 1  | 0  |
| 26 | integração com outros modos                     | 1  | 0  |
| 27 | integração modal                                | 1  | 0  |
| 28 | integridade moral                               | 1  | 0  |
| 29 | interes invest p iniciativa privada             | 1  | 0  |
| 30 | limpeza                                         | 1  | 0  |
| 31 | logística                                       | 1  | 0  |
| 32 | manutenção                                      | 1  | 0  |
| 33 | marketing                                       | 1  | 0  |
| 34 | mobilidade                                      | 1  | 0  |
| 35 | modicidade tarifária                            | 1  | 0  |
| 36 | modos alternativos                              | 1  | 0  |
| 37 | nº de veículos                                  | 1  | 0  |
| 38 | organização                                     | 1  | 0  |
| 39 | paisagem                                        | 9  | 11 |
| 40 | passagem por áreas sensíveis                    | 1  | 0  |
| 41 | percepção qualidade pelo usuário                | 1  | 0  |
| 42 | pontualidade                                    | 19 | 1  |
| 43 | relevância                                      | 1  | 0  |
| 44 | rentabilidade                                   | 1  | 0  |
| 45 | segurança                                       | 20 | 0  |
| 46 | suporte do governo federal                      | 1  | 0  |
| 47 | sustentabilidade de integração<br>/interligação | 1  | 0  |
| 48 | sustentabilidade tarifária                      | 1  | 0  |
| 49 | sustentabilidade urbanística                    | 1  | 0  |

|    |                                          |    |   |
|----|------------------------------------------|----|---|
| 50 | tarifa                                   | 1  | 0 |
| 51 | tecnologia                               | 1  | 0 |
| 52 | tempo de implantação                     | 1  | 0 |
| 53 | tempo de viagem                          | 20 | 0 |
| 54 | trafegabilidade                          | 20 | 0 |
| 55 | vontade poder públ estados em<br>questão | 1  | 0 |
| 56 | demanda                                  | 1  | 0 |
| 57 | tecnologia                               | 1  | 0 |

Fonte: Autor

## 5.2 CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS ATRAVÉS DA PLANILHA DISSERTATIVA

Aqui foram compilados os critérios com uma apresentação dissertativa, onde estão planilhados com suas descrições. O Quadro 3 apresenta esta ação, adotando as mesmas cores do mapa cognitivo.

Quadro 3 - Confrontação dos critérios

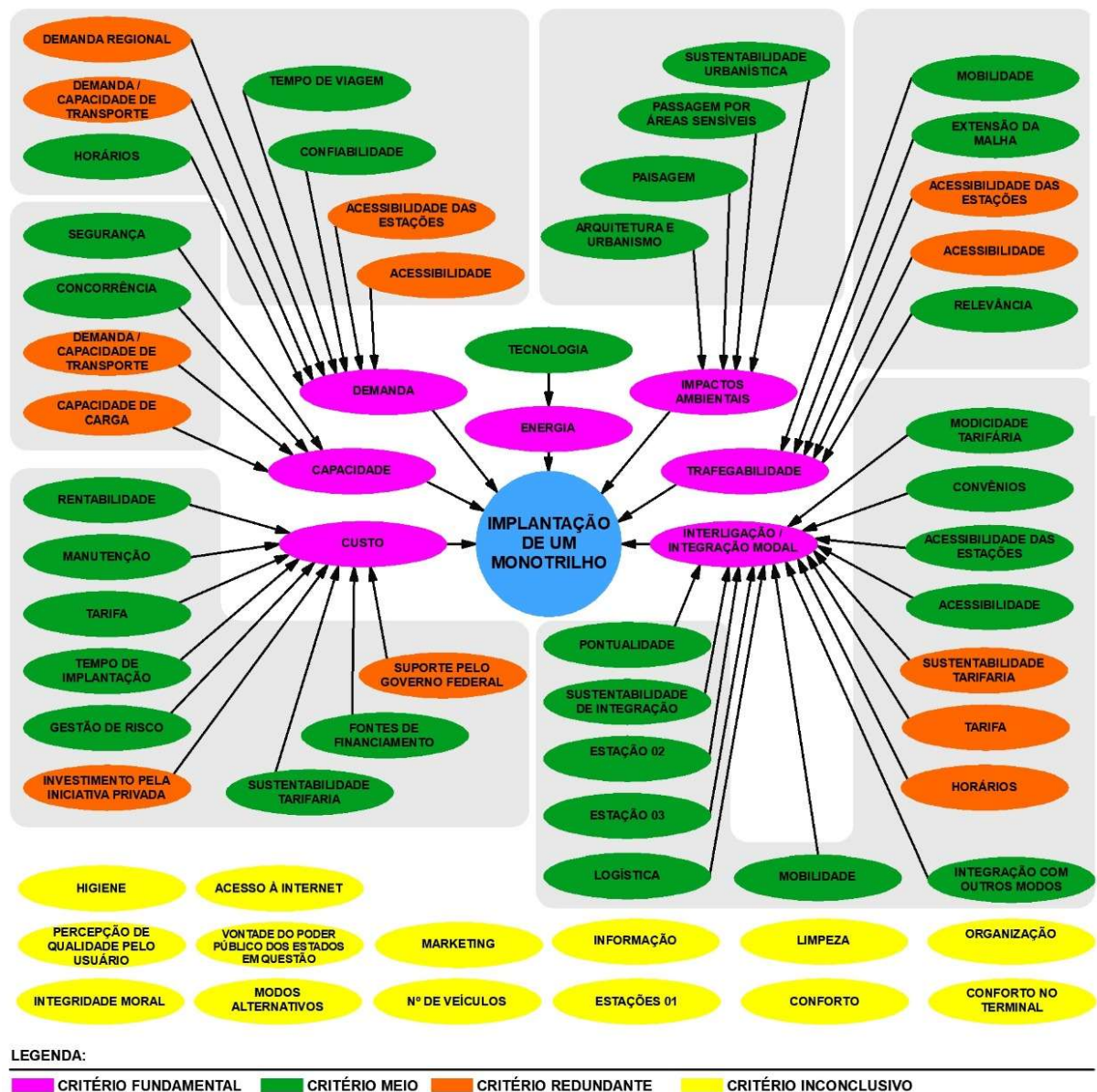
|    | CRITÉRIOS JULGADOS                  | DESCRIÇÃO SUSCINTA                                            | PONDERAÇÃO                                                     |
|----|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1  | Acessibilidade                      | Acesso aos deficientes físicos                                | Critério dos meios na Interligação e redundante na Demanda     |
| 2  | Acessibilidade das estações         | Facilidade de acesso às estações                              | Critério dos meios para Interligação e redundante para Demanda |
| 3  | Acesso à internet                   | Wi-fi nas estações e nos trens                                | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 4  | Arquitetura e urbanismo             | Cuidados com edificações vizinhas                             | Critério dos meios para Impactos Ambientais                    |
| 5  | Capacidade                          | Capacidade em relação a outros modais                         | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 6  | Capacidade de carga                 | Quantidade de passageiros                                     | Critério redundante, atendido no critério Capacidade           |
| 7  | Concorrência                        | Menor valor da tarifa                                         | Critério dos meios para Capacidade                             |
| 8  | Confiabilidade                      | Eficácia em relação aos horários                              | Critério dos meios para Demanda e redundante para Interligação |
| 9  | Conforto                            | Arranjo espacial dos usuários no interior dos vagões          | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 10 | Conforto no Terminal                | Segurança pública, iluminação, limpeza, etc                   | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 11 | Convênios                           | Facilidade de pagamento das tarifas                           | Critério dos meios para Interligação                           |
| 12 | Custo                               | Valores envolvendo construção, manutenção e tarifas           | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 13 | Demanda                             | Quantidade estimada de passageiros                            | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 14 | Demanda regional                    | Capacidade de absorção de demanda de outros modais            | Critério redundante. Critério atendido em Demanda              |
| 15 | Demanda/capacid. transporte         | Demanda mínima esperada para o monotrilho,                    | Critério redundante. Critério atendido em Demanda              |
| 16 | Energia                             | Fonte de energia elétrica de operação                         | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 17 | Estações 1                          | Conforto e tranquilidade de embarque                          | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 18 | Estações 2                          | Segurança pessoal nas estações                                | Critério dos meios para Interligação                           |
| 19 | Estações 3                          | Distância entre as estações                                   | Critério dos meios para Interligação                           |
| 20 | Extensão da malha                   | Comprimento total do trajeto                                  | Critério dos meios para Trafegabilidade                        |
| 21 | Fontes de financiamento             | Disponibilidade de agentes financeiros                        | Critério dos meios para Custos                                 |
| 22 | Gestão de risco                     | Riscos não mensurados no planejamento                         | Critério dos meios para Custos                                 |
| 23 | Higiene                             | Condições para a prevenção de infecções                       | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 24 | Horários                            | Disponibilidade de trens nos picos de passageiros             | Critério dos meios para Demanda                                |
| 25 | Impactos ambientais                 | Impactos na construção e na operação deste modal              | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 26 | Informação                          | Clara e de fácil visualização nas estações e nos trens        | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 27 | Integração com outros modos         | Conexão com outros modais                                     | Critério redundante. Critério atendido em Interligação         |
| 28 | Integração modal                    | Conectividade com outros modos de transporte                  | Critério redundante. Critério atendido em Interligação         |
| 29 | Integridade moral                   | Prevenção de agressões ou assédio moral                       | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 30 | Interesse invest pela inic. privada | Interesse da iniciativa privada no investimento               | Critério redundante. Critério atendido em Custos               |
| 31 | Limpeza                             | Asseio dos vagões e das estações                              | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 32 | Logística                           | Locais de implantação dos terminais                           | Critério dos meios para Interligação                           |
| 33 | Manutenção                          | Disponibilidade de peças de reposição.                        | Critério dos meios para Custos                                 |
| 34 | Marketing                           | Cuidados com a imagem, na construção e operação               | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 35 | Mobilidade                          | Rede integrada e multimodal atendendo o deslocamento          | Critério dos meios para Trafegabilidade                        |
| 36 | Modicidade tarifária                | Valor pago pelo usuário para utilização do sistema            | Critério dos meios para Demanda e redundante para Interligação |
| 37 | Modos alternativos                  | Disponibilidade de outros modais para o mesmo trajeto         | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 38 | Nº de veículos                      | Número de veículos que serão retirados de circulação          | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 39 | Organização                         | Dentro das estações direcionando os usuários                  | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 40 | Paisagem                            | Qualidade visual ao passageiro durante a viagem               | Critério dos meios para Impactos Ambientais                    |
| 41 | Passagem por áreas sensíveis        | Existência no trajeto de áreas demarcadas                     | Critério dos meios para Impactos Ambientais                    |
| 42 | Percepção qualid. pelo usuário      | Qualidade comparada aos demais modais                         | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |
| 43 | Pontualidade                        | Condição a ser oferecida de eficiência dos horários           | Critério dos meios para Demanda                                |
| 44 | Relevância                          | Pertinência da rota prevista em relação ao uso do solo        | Critério dos meios para Trafegabilidade                        |
| 45 | Rentabilidade                       | Retorno financeiro do empreendimento.                         | Critério dos meios para Custos                                 |
| 46 | Segurança                           | Condição de continuidade da viagem                            | Critério dos meios para Capacidade                             |
| 47 | Suporte do governo federal          | Iniciativas do governo federal de interesse pelo projeto      | Critério redundante. Critério atendido em Custos               |
| 48 | Sustentab. de integr. /Interligação | Integração com os modos ativos (ciclovária e a pé)            | Critério fundamental. Renomeado para Interligação.             |
| 49 | Sustentabilidade tarifária          | Garantia da modicidade tarifária                              | Critério dos meios para Interligação                           |
| 50 | Sustentabilidade urbanística        | Contribuição para melhoria do trânsito urbano                 | Critério dos meios para Impactos Ambientais                    |
| 51 | Tarifa                              | Valor estimado do custo da tarifa e previsão de subsídios     | Critério dos meios para Custos                                 |
| 52 | Tecnologia                          | Tecnologia prevista para os vagões e operação do sistema      | Critério dos meios para Custos                                 |
| 53 | Tempo de implantação                | Implantação do monotrilho em relação a modais semelhantes     | Critério dos meios para Custos                                 |
| 54 | Tempo de viagem                     | Tempos entre terminais próximos e extremos                    | Critério dos meios para Demanda                                |
| 55 | Trafegabilidade                     | Local de implantação do monotrilho                            | Critério fundamental, definido pelos critérios dos meios       |
| 56 | Vontade do poder público            | Viabilidade de execução devida restrições políticas regionais | Critério não apropriado. Não utilizado no estudo               |

Fonte: Autor

### 5.3 CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS ATRAVÉS DO MAPA COGNITIVO

Aqui os critérios são colocados em um mapa cognitivo, que é criado para que se possa entender a interligação dos afins e o comportamento quanto a sua importância. São definidos os critérios fundamentais; os critérios dos meios; os critérios redundantes e os critérios sem importância ou inconclusos.

Figura 6 - Mapa Cognitivo



#### 5.4 RESULTADO DA CONFRONTAÇÃO DOS CRITÉRIOS APRESENTADOS

O resultado da construção do mapa cognitivo e da planilha descritiva são os critérios consensuais e definidores que serão os critérios finais norteadores da pesquisa. No quadro 4 são apresentados estes critérios finais.

Quadro 4 - Resultado da confrontação e escolha dos critérios finais

|   | CRITÉRIOS CONSENSUAIS DEFINIDORES             |
|---|-----------------------------------------------|
| 1 | capacidade                                    |
| 2 | custo                                         |
| 3 | demanda                                       |
| 4 | energia                                       |
| 5 | impactos ambientais                           |
| 6 | sustentabilidade de integração / interligação |
| 7 | trafegabilidade                               |

Fonte: Autor

#### 5.5 ATRIBUIÇÃO DE PESOS DOS CRITÉRIOS CONSENSUAIS DEFINIDORES - 2ª RODADA (ENQUETE)

Este é o resultado do Questionário 2 - Atribuição dos pesos – 2ª Rodada (Enquete), que foi enviado por e-mail aos decisores, onde foi solicitada a valoração dos critérios através da atribuição de pesos, conforme sua avaliação, em atenção ao que pede o método AHP, este questionário consta do Apêndice C, e o resultado desta ação está no Quadro 5.

Quadro 5 - Resultado da atribuição de pesos dos critérios consensuais e definidores

|                     | 1  | 2  | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---------------------|----|----|---|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| capacidade          | 10 | 10 | 9 | 6  | 7  | 10 | 7 | 7 | 10 | 7  | 10 | 6  | 8  | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 9  | 5  |
| custos              | 8  | 10 | 8 | 10 | 9  | 10 | 7 | 6 | 10 | 9  | 8  | 7  | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 10 | 6  | 7  |
| demanda             | 10 | 8  | 9 | 6  | 10 | 10 | 9 | 6 | 10 | 10 | 8  | 8  | 9  | 10 | 10 | 8  | 9  | 10 | 9  | 9  |
| energia             | 10 | 7  | 9 | 10 | 8  | 10 | 7 | 7 | 7  | 8  | 9  | 9  | 8  | 7  | 1  | 7  | 7  | 9  | 8  | 8  |
| impactos ambientais | 10 | 5  | 8 | 10 | 8  | 10 | 7 | 7 | 8  | 5  | 10 | 9  | 8  | 7  | 10 | 9  | 8  | 9  | 9  | 9  |
| interligação        | 10 | 8  | 9 | 8  | 7  | 10 | 8 | 7 | 10 | 8  | 10 | 6  | 8  | 7  | 10 | 10 | 8  | 9  | 10 | 9  |
| trafegabilidade     | 10 | 7  | 9 | 7  | 7  | 10 | 8 | 5 | 8  | 8  | 10 | 6  | 10 | 10 | 1  | 6  | 7  | 9  | 8  | 8  |

Fonte: Autor

## 5.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A aplicação do MCDA, se inicia com a submissão dos critérios consensuais ao método Delphi e na sequência são hierarquizados pelo método AHP, finalizando com a Análise de Consistência para a conclusão ao processo empreendido.

### 5.6.1 Aplicação do Método Delphi ao AHP

Na presente dissertação, o método Delphi é aplicado à pesquisa baseada em especialistas, seguida pelo AHP usando a escala de julgamento da raiz quadrada de Harker e Vargas (1987) adaptado em uma abordagem estendida de Zuffo (2011). A articulação prévia de preferências entre os especialistas, desde a seleção até a atribuição de cada critério, foi posteriormente classificada em um mecanismo de priorização de comparações pareadas.

Conforme cita o desenvolvimento da pesquisa, foi feita entrevista pelo facilitador com o grupo de decisores para instrução da mesma, sugerindo um material sobre os procedimentos e em seguida foi aplicado o Questionário 1 da 1ª rodada, apresentados no Quadro 6, com a frequência e a porcentagem apresentada pelos decisores.



|    | 1ª rodada - atribuição dos critérios | critérios sugeridos + critérios propostos pelos decisores |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   |   |   |
|----|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|--|---|--|--|---|---|---|---|
| 33 | limpeza                              |                                                           |  |  |  |  |  |  | 1 |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 34 | organização                          |                                                           |  |  |  |  |  |  | 1 |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 35 | logística                            |                                                           |  |  |  |  |  |  |   | 1 |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 36 | rentabilidade                        |                                                           |  |  |  |  |  |  |   | 1 |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 37 | manutenção                           |                                                           |  |  |  |  |  |  |   | 1 |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 38 | confiabilidade                       |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  | 1 |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 39 | extensão da malha                    |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   | 1 |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 40 | demanda/capacidade de transporte     |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   | 1 |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 41 | mobilidade                           |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   | 1 |   |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 42 | capacidade de carga                  |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   | 1 |   |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 43 | integridade moral                    |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   | 1 |   |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 44 | passagem por áreas sensíveis         |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   | 1 |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 45 | gestão de risco                      |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   | 1 |   |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 46 | integração com outros modos          |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   | 1 |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 47 | tempo de implantação                 |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   | 1 |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 48 | capacidade                           |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   | 1 |  |   |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 49 | conforto no terminal                 |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  | 1 |  |  |   |   | 1 | 4 |
| 50 | modicidade tarifária                 |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  | 1 |   | 1 | 4 |
| 51 | integração modal                     |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  | 1 |   | 1 | 4 |
| 52 | acessibilidade das estações          |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  | 1 |   | 1 | 4 |
| 53 | modos alternativos                   |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   | 1 | 1 | 4 |
| 54 | tarifa                               |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   | 1 | 1 | 4 |
| 55 | relevância                           |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   | 1 | 1 | 4 |
| 56 | demanda                              |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   | 1 | 1 | 4 |
| 57 | tecnologia                           |                                                           |  |  |  |  |  |  |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |  |   |  |  |   | 1 | 1 | 4 |

Fonte: Autor



Este quadro mostra, pela média, que o tratamento estatístico fez algumas alterações nas prioridades se iniciando com custos (9,27), a demanda (9,22), a interligação (9,06), a capacidade (8,88), os impactos ambientais (8,64), a trafegabilidade (8,29), e a energia (7,94). Aqui, após o primeiro tratamento estatístico, os decisores foram informados para que a próxima etapa, 3ª Rodada, acontecesse com sua anuência. Assim fica a hierarquização dos critérios após a colocação original proposta pelos decisores.

No Quadro 9 está apresentado o tratamento estatístico nos dados da 2ª rodada citada no método Delphi, apresentando novos valores para média e para os 1º e 3º quartis.

Quadro 9 - Tratamento estatístico, novos valores com média e cálculos dos quartis

| 3ª rodada - atribuição dos critérios | tratamento estatístico anterior, atribuição de novas pontuações |    |   |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |            |            |  |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----|---|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------------|------------|--|
|                                      | 1                                                               | 2  | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | média | 1º quartil | 3º quartil |  |
| capacidade                           | 10                                                              | 10 | 9 |    |    | 10 |   |   | 10 |    | 10 |    | 8  | 10 | 10 | 10 | 9  | 8  | 9  |    | 9,46  | 9          | 10         |  |
| custos                               |                                                                 | 10 |   | 10 | 9  | 10 |   |   | 10 | 9  |    |    | 10 | 10 | 10 | 9  |    | 10 |    |    | 9,73  | 9,5        | 10         |  |
| demanda                              | 10                                                              |    | 9 |    | 10 | 10 | 9 |   | 10 | 10 |    |    | 9  | 10 | 10 |    | 9  | 10 | 9  | 9  | 9,57  | 9          | 10         |  |
| energia                              |                                                                 | 7  | 9 |    | 8  |    | 7 | 7 | 7  | 8  | 9  | 9  | 8  | 7  |    | 7  | 7  | 9  | 8  | 8  | 7,81  | 7          | 8,25       |  |
| impactos ambientais                  |                                                                 |    | 8 |    | 8  |    |   |   | 8  |    |    | 9  | 8  |    |    | 9  | 8  | 9  | 9  | 9  | 8,50  | 8          | 9          |  |
| interligação                         | 10                                                              | 8  | 9 | 8  |    | 10 | 8 |   | 10 | 8  | 10 |    | 8  |    | 10 | 10 | 8  | 9  | 10 | 9  | 9,06  | 8          | 10         |  |
| trafegabilidade                      |                                                                 |    | 9 |    |    |    | 8 |   | 8  | 8  | 10 |    | 10 | 10 |    |    |    | 9  | 8  | 8  | 8,80  | 8          | 9,75       |  |

Fonte: Autor

Este quadro mostra, pela média, que o tratamento estatístico fez algumas alterações nas prioridades se iniciando com custos (9,73), a demanda (9,57), a capacidade (9,46), a interligação manteve (9,06), a trafegabilidade (8,80), os impactos ambientais mantiveram (8,50), e a energia (7,81). Esta nova classificação hierárquica foi a proposta pelo balizamento dado pelos 1º e 3º quartis.

No Quadro 10 está apresentado o tratamento estatístico nos dados da 3ª Rodada, citada no método Delphi, apresentando novos valores para média e para os 1º e 3º quartis.

Quadro 10 - Tratamento estatístico, novos valores com média e cálculos dos quartis

| 4ª rodada - atribuição dos critérios | tratamento estatístico anterior, atribuição de novas pontuações |    |   |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |            |            |  |  |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----|---|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------------|------------|--|--|
|                                      | 1                                                               | 2  | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | média | 1º quartil | 3º quartil |  |  |
| capacidade                           | 10                                                              | 10 | 9 |    |    | 10 |   |   | 10 |    | 10 |    | 8  | 10 | 10 | 10 | 9  |    | 9  |    | 9,58  | 9,00       | 10,00      |  |  |
| custos                               |                                                                 | 10 |   | 10 |    | 10 |   |   | 10 |    |    |    | 10 | 10 | 10 |    |    | 10 |    |    | 10,00 | 10,00      | 10,00      |  |  |
| demanda                              | 10                                                              |    | 9 |    | 10 | 10 | 9 |   | 10 | 10 |    |    | 9  | 10 | 10 |    | 9  | 10 | 9  | 9  | 9,57  | 9,00       | 10,00      |  |  |
| energia                              |                                                                 | 7  |   |    | 8  |    | 7 | 7 | 7  | 8  |    |    | 8  | 7  |    | 7  | 7  |    | 8  | 8  | 7,42  | 7,00       | 8,00       |  |  |
| impactos ambientais                  |                                                                 |    | 8 |    | 8  |    |   |   | 8  |    |    | 9  | 8  |    |    | 9  | 8  | 9  | 9  | 9  | 8,50  | 8,00       | 9,00       |  |  |
| interligação                         | 10                                                              | 8  | 9 | 8  |    | 10 | 8 |   | 10 | 8  | 10 |    | 8  |    | 10 | 10 | 8  | 9  | 10 | 9  | 9,06  | 8,00       | 10,00      |  |  |
| trafegabilidade                      |                                                                 |    | 9 |    |    |    | 8 |   | 8  | 8  |    |    |    |    |    |    |    | 9  | 8  | 8  | 8,29  | 8,00       | 8,50       |  |  |

Fonte: Autor

Este quadro mostra, pela média, que o tratamento estatístico fez algumas alterações nas prioridades se iniciando com custos (10,00), a capacidade (9,58), a demanda mantendo (9,57), a interligação manteve (9,06), os impactos ambientais mantiveram (8,50), a trafegabilidade (8,29), e a energia (7,42). Finalizando assim a análise estatística à partir da pontuação máxima (10) no critério custos.

### **5.6.2 Análise dos resultados obtidos nas rodadas**

Inicialmente, onde os decisores atribuíram a pertinência dos critérios iniciais sugeridos na pesquisa feita na 1ª rodada (enquete), 8 critérios se destacaram dentre os 57 consultados: conforto, custos, energia, impactos ambientais, pontualidade, segurança, tempo de viagem e trafegabilidade.

Em seguida, a confrontação feita através do Mapa Cognitivo e da Planilha Dissertativa, utilizando a função de cada critério, concluiu apontando 7 critérios adotados com definidores: capacidade, custos, demanda, energia, impactos ambientais, interligação e trafegabilidade. Ou seja, dentre os 8 critérios que se destacaram, após a confrontação 4 permaneceram (custos, energia, impactos ambientais e trafegabilidade) e 3 novos foram incluídos (capacidade, demanda e interligação).

A atribuição dos pesos decorrentes da 2ª rodada, apresenta as prioridades hierárquicas nesta ordem: demanda, custos, interligação, capacidade, impactos ambientais, energia e trafegabilidade.

À partir dessa atribuição foi trabalhado o tratamento estatístico, que se desenvolveu em 4 rodadas obedecendo o balizamento dos 1º e 3º quartis, que no final atribuiu aos critérios a ordem de prioridade para sua adoção pelos gestores do transporte público nos estudos que porventura venham a se basear na presente pesquisa. São estes os finalistas na 4ª rodada, na ordem de prioridade: 1º - custos, 2º - demanda e capacidade (empatados), 3º - impactos ambientais, interligação e trafegabilidade (empatados) e 4º - energia.

### 5.6.3 Matrizes AHP com abordagem de Zuffo e a escala de julgamento da raiz quadrada do cenário atual.

Quadro 11 - Matrizes AHP

| Matrizes AHP com a abordagem estendida de Zuffo (2011) e a escala de julgamento da raiz quadrada (Harker & Vargas 1987) do cenário atual. |                 |        |          |              |            |                 |                 |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|----------|--------------|------------|-----------------|-----------------|---------|
| AHP abordagem estendida de Zuffo (2011)                                                                                                   | Critérios       | Custos | Demanda  | Interligação | Capacidade | Imp. Amb.       | Trafegabilidade | Energia |
|                                                                                                                                           | Peso            | 10     | 9,58     | 9,57         | 9,06       | 8,5             | 8,29            | 7,42    |
|                                                                                                                                           | Custos          | 0      | 0,42     | 0,43         | 0,94       | 1,5             | 1,71            | 2,58    |
|                                                                                                                                           | Demanda         |        | 0        | 0,01         | 0,52       | 1,08            | 1,29            | 2,16    |
|                                                                                                                                           | Interligação    |        |          | 0            | 0,51       | 1,07            | 1,28            | 2,15    |
|                                                                                                                                           | Capacidade      |        |          |              | 0          | 0,56            | 0,77            | 1,64    |
|                                                                                                                                           | Imp. Amb.       |        |          |              |            | 0               | 0,21            | 1,08    |
|                                                                                                                                           | Trafegabilidade |        |          |              |            |                 | 0               | 0,87    |
| Matriz de comparação de pares                                                                                                             | Energia         |        |          |              |            |                 |                 | 0       |
|                                                                                                                                           | Custos          | 1,000  | 1,732    | 1,732        | 2,000      | 2,450           | 2,646           | 3,000   |
|                                                                                                                                           | Demanda         | 0,577  | 1,000    | 1,414        | 1,732      | 2,236           | 2,450           | 2,828   |
|                                                                                                                                           | Interligação    | 0,577  | 0,707    | 1,000        | 1,732      | 2,236           | 2,236           | 2,828   |
|                                                                                                                                           | Capacidade      | 0,500  | 0,577    | 0,577        | 1,000      | 1,732           | 2,000           | 2,646   |
|                                                                                                                                           | Imp. Amb.       | 0,408  | 0,447    | 0,447        | 0,577      | 1,000           | 1,414           | 2,236   |
|                                                                                                                                           | Trafegabilidade | 0,378  | 0,408    | 0,447        | 0,500      | 0,707           | 1,000           | 2,000   |
|                                                                                                                                           | Energia         | 0,333  | 0,354    | 0,354        | 0,447      | 0,447           | 0,500           | 1,000   |
| Normalização                                                                                                                              | Total           | 3,774  | 5,226    | 5,972        | 7,989      | 10,808          | 12,246          | 16,539  |
|                                                                                                                                           | Custos          | 0,265  | 0,331    | 0,290        | 0,250      | 0,227           | 0,216           | 0,181   |
|                                                                                                                                           | Demanda         | 0,153  | 0,191    | 0,237        | 0,217      | 0,207           | 0,200           | 0,171   |
|                                                                                                                                           | Interligação    | 0,153  | 0,135    | 0,167        | 0,217      | 0,207           | 0,183           | 0,171   |
|                                                                                                                                           | Capacidade      | 0,132  | 0,110    | 0,097        | 0,125      | 0,160           | 0,163           | 0,160   |
|                                                                                                                                           | Imp. Amb.       | 0,108  | 0,086    | 0,075        | 0,072      | 0,093           | 0,115           | 0,135   |
|                                                                                                                                           | Trafegabilidade | 0,100  | 0,078    | 0,075        | 0,063      | 0,065           | 0,082           | 0,121   |
|                                                                                                                                           | Energia         | 0,088  | 0,068    | 0,059        | 0,056      | 0,041           | 0,041           | 0,060   |
| Auto valor da matriz                                                                                                                      | Critérios       | Média  | Vector V | Vector W     | $\lambda$  | $\lambda_{max}$ |                 |         |
|                                                                                                                                           | Custos          | 0,252  | 1,68     | 10,00        | 7,0936     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Demanda         | 0,197  | 1,31     | 7,84         | 7,2023     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Interligação    | 0,176  | 1,18     | 7,02         | 7,2054     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Capacidade      | 0,135  | 0,90     | 5,37         | 7,2696     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Imp. Amb.       | 0,098  | 0,65     | 3,86         | 7,2325     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Trafegabilidade | 0,083  | 0,55     | 3,29         | 7,1138     |                 |                 |         |
|                                                                                                                                           | Energia         | 0,059  | 0,39     | 2,34         | 6,9604     |                 |                 |         |

Fonte: Autor

### 5.6.4 Verificação da Consistência

Uma das vantagens do método AHP é o emprego da análise de consistência para avaliar os resultados. Saaty (2011), inicialmente, propôs uma metodologia onde o maior autovalor da matriz ( $\lambda_{max}$ ) e Índice de Consistência (CI) são calculados conforme a aplicação das equações (5), (6) e (7), maior autovalor da matriz ( $\lambda_{max}$ ), índice de consistência (CI) e razão da consistência, respectivamente, que fornecem os valores que permitem esta análise.

Sendo:

$$\lambda_{\max} = 7,151941083$$

$$CI = 0,025323514$$

$$RI = 1,32 \text{ para } n = 7 \text{ (Saaty),}$$

$$RC = 0,01918448, \text{ então,}$$

para  $RC < 0,10$ , fica concluída a análise onde a metodologia se mostra consistente.

### 5.6.5 Análise dos critérios resultantes

Em AA de Souza (2010), na publicação *Análise da Gestão de Custos no Transporte Público Urbano: um estudo de caso*, é feita uma explanação da importância de se trabalhar dentro do contratado com o órgão cedente, no caso o BHTRANS, empresa de economia mista da prefeitura de Belo Horizonte – MG. A não obediência às normas da BHTRANS levou ao insucesso de uma concessionária de transporte público, especificamente com relação à adequação à estrutura dos custos de mão de obra e insumos. Verificou-se também, que os gestores da operadora não compreendiam os métodos de custeio, que subsidiam a geração de informações de custos das empresas, especificamente o custeio variável. Se os fundamentos do método de custeio fossem utilizados pela empresa, possivelmente ela teria mais chances de lograr êxito no transporte público de Belo Horizonte.

Cristina Albuquerque, Guillermo Petzhold e Fernando Corrêa (2020), citam que a Covid-19, um evento fora da normalidade, impactou diretamente na Demanda e na Capacidade obrigando gestores e operadoras do transporte público a adotarem novas posturas compartilhando inquietações e experiências em práticas como gestão da demanda de viagens e ocupação da capacidade dos coletivos, priorização em faixas exclusivas e integração com mobilidade ativa. Embora previsível, o baque desafiou o sistema ônibus, já em crise nas cidades brasileiras, a buscar novos caminhos de financiamento para manter e reconquistar clientes. O setor enfrentou quedas de até 85 % na Demanda, principalmente com as restrições da capacidade de ocupação dos ônibus, durante o período de isolamento social. A adequação da oferta do serviço à demanda reduzida e à capacidade reprimida desafiou as cidades. Porto Alegre ajustou em 2020 a oferta para uma demanda até 74 % menor do que no mesmo período de 2019. Pioneiras no transporte coletivo sob demanda, Goiânia e Fortaleza relatam que o serviço teve queda maior de passageiros do que os ônibus convencionais. Falta um maior entendimento das razões: se é indicativo do receio dos

usuários de compartilharem viagens em veículos menores, ou uma consequência ligada a um maior poder aquisitivo dos clientes do serviço sob demanda, que poderiam migrar para o carro com mais facilidade ou realizar suas atividades de casa.

Kordani, Boroomandrad e Rooyintan (2020), Ebrahimi e Bridgelall (2021), citados na Revisão de Literatura, comentam a aplicação de tomada de decisão multicritério para escolha de modais como o BRT, o Tramway e o próprio monotrilho, para a cidade de Teerã.

Ainda, Haial, Berrado e Benabbou (2021), salientam a importância do MCDA para tomadas de decisão independente do tipo do modal, mas também para dirimir dúvidas quanto a traçado de rotas entre outras, o que sugere a importância do critério Trafegabilidade apontado neste trabalho.

Broniewicz (2020), considera que a Avaliação Ambiental Estratégica (SEA) e a Avaliação de Impacto Ambiental (EIA) são importantes instrumentos legais da política ambiental da União Europeia que permite identificar, prever, prevenir e mitigar e ou compensar esses efeitos adversos, reforçando o critério Impactos Ambientais aqui encontrado.

Bruen (2021), Simić, Soušek e Jovčić (2020), Stoilova (2020), Arias e Bachmann (2021), Hsu, Tsai e Shiau (2021), propõe ações semelhantes para transporte coletivo urbano, baseados em estudos que propõe a adoção de métodos multicritérios de tomada de decisão.

## 6 CONCLUSÃO

Para o atendimento ao objetivo geral, que foi solucionar problemas de subjetividade dos objetivos pretendidos na gestão das tomadas de decisão, a pesquisa foi feita com a atuação de um grupo dos tomadores de decisões, especialistas na área, baseada na literatura dos métodos de decisão multicritério e da gestão de transporte no modal monotrilho.

Esta pesquisa mostra sua eficiência para solução de problemas de transporte de pessoas no atendimento às regiões densamente povoadas, conforme a conclusão da consistência da metodologia baseada em multicritérios.

A metodologia baseada nos métodos Delphi e AHP, se mostrou consistente e factível, para subsidiar tomadas de decisão dos gestores. Sendo assim, o trabalho mostrou que o MCDA pode ser usado para solucionar os problemas de subjetividade na gestão do transporte de pessoas se contrapondo ao que propõe Dalbem (2014) citado no Estudo da Viabilidade para Implantação dos Projetos de Infraestrutura de Transporte que sugere medidas usuais como as práticas de avaliação econômica, por exemplo, que é uma forma usual nas análises deste gênero.

Quanto aos atendimentos aos três objetivos específicos, foram apresentadas as conclusões durante o processo do desenvolvimento da pesquisa. O primeiro objetivo específico, definição dos critérios pelo método Delphi, está satisfeito desde a participação do grupo de decisores na entrevista de instrução e na opinião sobre os objetivos que nortearam o trabalho, respondendo ao questionário dando início à geração do mapa cognitivo. O segundo objetivo específico, ponderação dos critérios segundo as premissas de Keeney (1996), foi atendido quando da conclusão das prioridades dos critérios, à partir do mapa cognitivo na confrontação destes critérios permitindo orientar suas propriedades. O terceiro objetivo específico, o emprego da metodologia AHP, foi atendido à partir do questionário, quando o grupo de decisores atribuiu pesos aos critérios decisores.

Portanto, o objetivo geral proposto foi atingido quando na aplicação do método de análise multicritério quando na verificação final, a fazendo uso de Análise Multicritério para Implantação de Monotrilho entre Regiões Metropolitanas.

A metodologia proposta no estudo foi útil para avaliar a consistência e a sensibilidade do modelo, fornecendo matrizes confiáveis e alocação apropriada de valores de prioridade.

Salienta-se também que o objetivo geral atendeu as normas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - FEG/UNESP, na área de Energia, na linha de

pesquisa de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, abordando especialmente neste trabalho o que concerne a Planejamento Urbano, ítem enfatizado na caracterização das Áreas do Programa, além de atender a posturas sugeridas em ESG, de atender a questões ambientais, sociais e de governança, fazendo uma avaliação mais holística.

Para trabalhos futuros, novas pesquisas poderiam ser realizadas ampliando a abrangência desta mesma pesquisa com outros grupos de decisores para implantação de outros modais, para ampliação de horizontes dentro do mesmo modelo de serviços. Com isso, haveria uma interação e sistematização da adoção das pesquisas de tomada de decisão, nos casos de haver objetivos que não possam ser mensurados na escolha de pertinências no processo.

Muitas outras pesquisas além do segmento de transporte poderiam ser realizadas utilizando esta metodologia, como: nas telecomunicações, nas finanças, na educação, na saúde, etc., observadas as preferências e necessidades, se conduzido um processo de seleção com critérios e pesos diferenciados.

## **7 ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS DURANTE O CURSO**

Estas foram as principais atividades desenvolvidas durante o curso de mestrado, entre 2016 e 2021:

- Artigo publicado “The use of electric boats and photovoltaic energy as a good practice for regional sustainable development”. – João Dalton Daibert; Teófilo Miguel De Souza; Vassiliki T. G. Boulomytis - REVISTA AIDIS DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES, v. 14, p. 1170-1179, 2021;

- Trabalho apresentado “Alternativa Sustentável para uma Nova Ligação Rio -São Paulo: Monotrilho de Alta Velocidade” – João Dalton Daibert; Teófilo Miguel De Souza; Vassiliki T. G. Boulomytis - durante a WEB CONFERENCE DO XLIII INTERNATIONAL SODEBRAS CONGRESS, realizado entre os dias 19 a 21 de novembro de 2020;

- Artigo publicado “Alternativa Sustentável para uma Nova Ligação Rio -São Paulo: Monotrilho de Alta Velocidade” – “Sustainable Alternative for a New Rio-São Paulo Connection: High Speed Monorail” – João Dalton Daibert; Teófilo Miguel De Souza; Vassiliki T. G. Boulomytis REVISTA SODEBRÁS VOLUME 15 - Nº 180 - DEZEMBRO/ 2020 ISSN - 1809-3957;

- Trabalho apresentado “Trem sobre monotrilho na faixa de domínio da Via Dutra” no III WORKSHOP DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, realizado nos dias 01 e 02 de Outubro de 2019, na Faculdade de Engenharia - UNESP, Guaratinguetá – SP;

- Participação no WORKSHOP REDAÇÃO DE PATENTES: “ALÉM DOS GUIAS + OFICINAS PRÁTICAS” nos dias 25 e 26 de Março de 2019, na Faculdade de Engenharia - UNESP, Guaratinguetá – SP.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE C. *et al.* **Prévia de pesquisa revela impactos da pandemia na mobilidade urbana de capitais brasileiras**, 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/tags/quali%C3%B4nibus>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ALOUCHE, P. **Monotrilho e VLT, modalidades diferentes?** 2019. Disponível em: <https://www.anpt.org.br>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ARAGÃO, J. J. G. *et al.* Transportes no Brasil: que história contar ? **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 87–107, 2001. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/172>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ARIAS, J. F.; BACHMANN, C. Evaluating the role and evolution of factors influencing rapid transit planning in ecuador. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 2021. Disponível em: <https://www.worldtransitresearch.info/research/8638/>. Acesso em: 15 out. 2021.

BOULOMYTIS, V. T. G. *et al.* Detection of flood influence criteria in ungauged basins on a combined Delphi-AHP approach. **Operations Research Perspectives**, v. 6, n. October 2018, p. 100116, 2019.

BRONIEWICZ, E.; OGRODNIK, K. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 83, n. April, p. 102351, 2020. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/1703488> Acesso em: 10 jul. 2021.

BRUEN, M. Uptake and dissemination of multi-criteria decision support methods in civil engineering: lessons from the literature. **Applied Sciences**, Switzerland, v. 11, n. 7, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/2940> Acesso em: 20 nov. 2021.

BUSSINGER, F. Novos caminhos ferroviários. **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 110–116, 2015. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/310> Acesso em: 20 jul. 2021.

CEDER, A. *et al.* Investigation of skycabs monorail system in urban regions. **Journal of Transportation Technologies**, v. 04, n. 01, p. 31–43, 2014. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=42049> Acesso em: 20 jul. 2021.

CHUNG, E. S.; LEE, K. S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1502–1511, 1 mar. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258492393> Acesso em: 12 ago. 2021.

COLLUCCI, C. **Transporte publico de qualidade reduz doencas e mortes**. Disponível em: <https://m.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/08/1328474> Acesso em: 05 dez. 2021.

DAIBERT, J. D. **Topografia: técnicas e práticas de campo**. São Paulo: Saraiva, 2014.

DALBEM, M. C.; BRANDÃO, L. Avaliação econômica de projetos de transporte : melhores

práticas e recomendações para o Brasil. **Revista da Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 1, p. 87–117, 2010. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6918>. Acesso em: 15 mar. 2019.

DINIZ, P. C. **Construção de um modelo para análise e avaliação de projetos de investimentos em uma empresa agro-industrial: um estudo de caso**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85382>. Acesso em: 15 mar. 2019.

EBRAHIMI, S.; BRIDGELALL, R. A fuzzy Delphi analytic hierarchy model to rank factors influencing public transit mode choice: a case study. **Research in Transportation Business and Management**, v. 39, n. June, p. 10–11, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Raj-Bridgelall/publication/342119215>. Acesso em: 15 ago. 2019.

ESTADÃO. **Summit mobilidade urbana**. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FERREIRA, M. **A história dos transportes no Brasil**. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.itl.org.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1038> Acesso em: 27 set. 2021.

FERRETTI, V. From stakeholders analysis to cognitive mapping and Multi-Attribute value theory: an integrated approach for policy support. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 2, p. 524–541, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221716301072> Acesso em: 22 out. 2021.

FRANEK, J.; KRESTA, A. Judgment scales and consistency measure in AHP. **Procedia Economics and Finance**, v. 12, n. March, p. 164–173, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567114003323> Acesso em: 12 out. 2020.

GARCÍA-MELÓN, M. *et al.* Combined ANP-delphi approach to evaluate sustainable tourism. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 34, p. 41– 50. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925511001338> Acesso em: 12 out. 2019.

GREGORY, ROBIN S.; KEENEY, R. L. Making smarter environmental management decisions. **JAWRA: Journal of the American Water Resources Association**, 2002. Disponível em: <https://training.fws.gov/courses/ALC/ALC3159/resources/> Acesso em: 11 jun. 2019.

HAIAL, A. *et al.* Designing a transportation-strategy decision-making process for a supply chain: Case of a pharmaceutical supply chain. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 4, p. 1–29, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33669997/> Acesso em: 15 nov. 2021

HARKER, P. T.; VARGAS, L. G. Theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. **Management Science**, v. 33, n. 1, p. 1383–1403, 1987. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/227445821> Acesso em: 01 jul. 2020.

HITACHI AND MITSUBISHI CORPORATION. **Sign a memorandum of understanding with Metro de Panamá, S.A. to provide a monorail system.** 2018. Disponível em: <https://www.mitsubishicorp.com>. Acesso em 17 abr. 2019.

HSU, W. L. *et al.* **Planning and assessment system for light rail transit construction in Taiwan Microsystem Technologies**, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326168150> Acesso em: 05 out. 2021.

KEENEY, R. L. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. **European Journal of Operational Research**, v. 92, n. 3, p. 537–549, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221796000045> Acesso em: 15 maio 2019.

KORDANI, A. A. *et al.* Preference analysis of Light-Rail and BRT using TOPSIS method and Delphi analysis, Tehran case study. **International Journal of Railway Research**, v. 2020, n. May 21, p. 95–102, 2020. Disponível em: <http://ijrare.iust.ac.ir/article-1-258-en.html> Acesso em: 05 jan. 2021.

LIMA, G. C. L.de S. *et al.* **Transporte Público e Covid - 19.** Rio de Janeiro: FGV - CERI, 2020. Disponível em: <https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes> Acesso em: 05 fev. 2021.

LIMA, T. C. S.; MIOTO R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, v. 10, n. especial, p. 37–45, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/HSF5Ns7dkTNjQVpRyvhc8RR/abstract/?lang=pt> Acesso em: 10 jan. 2019.

LOBO, R. Doria diz que deve apresentar trem intercity até o Vale do Paraíba ainda neste ano. **Via Trolebus**. Disponível em: <https://viatrolebus.com.br> . Acesso em: 10 jul. 2021.

OLIVEIRA *et al.* Monotrilho: uma opção de transporte público para a região metropolitana da grande Vitória. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42, 2010, Vitória. **Anais [...]**. Vitória, 2010. Disponível em: <http://www.sobrapo.org.br/sbpo2010> Acesso em: 10 jan. 2021.

OTHA, R. **Análise multicritério com incerteza aplicada à gestão da manutenção industrial.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020. Disponível em <http://hdl.handle.net/11449/196480>. Acesso em: 10 jan. 2021.

PEDERSEN, K. Definition of monorail. **Monorail Society**. Disponível em: <http://www.monorails.org>. Acesso em: 10 jan. 2021.

PENA, R. F. A. **Problemas no transporte público.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia>. Acesso em: 10 set. 2021.

PEREIRA, A. C.; NETO, O. S. Viabilidade econômica de projetos e aspectos particulares em empreendimentos tipo project finance aplicados a investimentos em infraestrutura de transportes. **HOLOS**, Natal, v. 6, n. 2012, p. 203–219, 2013. Disponível em:

<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1189>. Acesso em: 10 set. 2019.

PUCHER, J. *et al.* The crisis of public transport in india: overwhelming needs but limited resources. **Journal of Public Transportation**, v. 7, n. 4, p. 1–20, 2004. <https://digitalcommons.usf.edu/jpt/vol7/iss4/1>. Acesso em: 27 set. 2020.

RUNGE M. C.; WALSH, T. **Identifying objectives and alternative actions to frame a decision problem**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287700522>. Acesso em: 11 set. 2020.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 147, p. 577–591, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221790900571>. Acesso em: 11 maio 2019.

SERPA, A. M. M. **Eixo Rio-Campinas: uma análise do projeto de trem de alta velocidade no Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1191.pdf>. Acesso em: 21 maio 2019.

SHIN, Y. B. A Critical review of popular multi-criteria decision making methodologies. **Issues in information systems**, v. 14, n. 1, p. 358–365, 2013. Disponível em: SIMIĆ, V. *et al.* Picture fuzzy MCDM approach for risk assessment of railway infrastructure. **Mathematics**, v. 8, n. 12, p. 1–29, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/12/2259>. Acesso em: 21 fev. 2019.

SIMÕES, R. B. A. *et al.* Sistemas de transporte de passageiros de interesse regional e a revitalização da ferrovia. **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, 1997. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/281>. Acesso: 06 abr. 2019.

SOUZA, A. A. Análise da gestão de custos no transporte público urbano. **Revista Mineira de Contabilidade**, v. 1, n. 37, p. 32 – 39, 2010. Disponível em: <https://revista.crcmg.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SOUZA, F.; PASQUALETTO, A. A tecnologia de monotrilho para o transporte de passageiros. **Revista EVS: Revista de Ciências Ambientais e Saúde**, v. 41, p. 43–55, 2014. Disponível em: <http://seer.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/view/3722/2159> Acesso em: 20 set. 2021.

STOILOVA, S. An integrated multi-criteria approach for planning railway passenger transport in the case of uncertainty. **Symmetry**, v. 12, n. 6, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com>. Acesso em: 06 abr. 2021.

TERA AMBIENTAL. **Tratamento de efluentes e reciclagem agrícola**, 2021. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br>. Acesso em: 10 out. 2021.

WRIGHT J. T. C; GIOVINAZZO R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 12, p. 54–65, 2000. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001173053> Acesso em: 05 mar. 2019.

WUPPERTAL **Die Schwebebahn**: der stahlharte Drache. [2019]. Disponível em:

<https://www.wuppertal.de/>. Acesso em: 17 fev. 2019.

ZHANG, L. Comparison of classical analytic hierarchy process (AHP) approach and fuzzy ahp approach in multiple-criteria decision making for commercial vehicle information systems and networks. **CVISN Project**, p. 1–93, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/300158866>. Acesso em: 10 out. 2019.

ZUFFO, A. Incorporação de Matemática Fuzzy em métodos multicriteriais para descrever critérios subjetivos em planejamento de recursos hídricos: Fuzzy - CP e Fuzzy - CGT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 29–40, 2011. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3>. Acesso em: 17 ago. 2020

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DA 1ª RODADA (ENQUETE)

**Prezado(a) Especialista,**

Vimos solicitar sua colaboração nesta pesquisa que tem como finalidade propor uma metodologia para o **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA IMPLANTAÇÃO DE MONOTRILHO NA INTERLIGAÇÃO ENTRE REGIÕES METROPOLITANAS**, utilizando-se de análise multicritérios para auxílio à tomada de decisão (MCDA).

O tempo de resposta estimado para preencher o formulário é de 5 minutos. As respostas podem ser editadas no próprio corpo do e-mail ou, caso prefira, no word em anexo.

Esta pesquisa faz parte de uma dissertação de mestrado em engenharia mecânica e está sendo desenvolvida na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, da Universidade Estadual Paulista (FEC/UNESP).

O quadro a seguir, contém alguns possíveis critérios que se pretende avaliar. Solicitamos que assinale na coluna Relevância, a situação do critério, sim – S (critério relevante) e não – N (critério não relevante).

### CRITÉRIOS SUGERIDOS PARA AVALIAÇÃO

| Item | CRITÉRIO                   | DESCRIÇÃO                                                         | RELEVÂNCIA  |
|------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1    | <b>CONFORTO</b>            | Arranjo espacial dos usuários no interior dos vagões.             | ( ) S ( ) N |
| 2    | <b>SEGURANÇA</b>           | Condição de trafegabilidade do monotrilho                         | ( ) S ( ) N |
| 3    | <b>PONTUALIDADE</b>        | Condição que o modal pode oferecer sobre a eficácia dos horários. | ( ) S ( ) N |
| 4    | <b>TEMPO DE VIAGEM</b>     | Possibilidade dos usuários de programarem os seus eventos.        | ( ) S ( ) N |
| 5    | <b>PAISAGEM</b>            | Qualidade visual ao passageiro durante a viagem.                  | ( ) S ( ) N |
| 6    | <b>TRAFEGABILIDADE</b>     | Local de implantação do monotrilho                                | ( ) S ( ) N |
| 7    | <b>IMPACTOS AMBIENTAIS</b> | Causados e/ou evitados na construção e na operação deste modal.   | ( ) S ( ) N |
| 8    | <b>ENERGIA</b>             | Forma de energia de operação do monotrilho.                       | ( ) S ( ) N |
| 9    | <b>CUSTO</b>               | Valores de implantação e operação do monotrilho.                  | ( ) S ( ) N |

Contamos também com sua sugestão, de outros critérios que julgue relevantes para aprimorar o estudo.

**Sugestões de critérios (e respectiva descrição):**

| CRITÉRIO | DESCRIÇÃO |
|----------|-----------|
|          |           |
|          |           |
|          |           |

A sua contribuição será importante para que uma ponderação adequada possa ser atribuída a cada um dos critérios considerados. Após compilação, as avaliações representarão o grau de importância que um determinado critério tem sobre os demais, na opinião dos diversos especialistas consultados. Esta pesquisa poderá ser desenvolvida em até três rodadas. O valor final dos pesos será obtido após verificar a coerência dos dados e realizado o tratamento estatístico dos resultados.

**João Dalton Daibert (mestrando)**

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP

e-mail: [prof.joaodalton@ifsp.edu.br](mailto:prof.joaodalton@ifsp.edu.br)

WhatsApp: (12) 99115-3983

**Dr. Teofilo Miguel de Souza (orientador)**

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP

e-mail: [teofilo.souza@unesp.br](mailto:teofilo.souza@unesp.br)

**Dra. Vassiliki T. G. Boulomytis (coorientadora)**

Engenharia Civil, IFSP Câmpus Caraguatatuba

e-mail: [vassiliki@ifsp.edu.br](mailto:vassiliki@ifsp.edu.br)

Agradecemos o seu apoio para a realização e sucesso dessa pesquisa.

**OBS:** Somente os pesquisadores supracitados terão acesso aos nomes dos entrevistados, os quais serão mantidos em anonimato no ato da divulgação da pesquisa.

Caraguatatuba, 22 de março de 2021

## APÊNDICE B – CRITÉRIOS INICIAIS E SUGERIDOS

Este apêndice traz o exposto no subitem 5.1 onde se colheu a primeira impressão dos decisores sobre os critérios com a aplicação do Questionário da 1ª Rodada.

### Critérios iniciais e critérios sugeridos

| CRITÉRIOS JULGADOS |                                     | DESCRIÇÃO SUSCINTA                                                                                                                             |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                  | Conforto                            | Arranjo espacial dos usuários no interior dos vagões. Exemplo: tamanho das poltronas e espaço entre elas                                       |
| 2                  | Segurança                           | Condição de continuidade da viagem. Exemplo: pane elétrica                                                                                     |
| 3                  | Pontualidade                        | Condição a ser oferecida de eficiência dos horários. Exemplo: tempo mínimo nas chegadas e partidas                                             |
| 4                  | Tempo de viagem                     | Possibilidade dos usuários de programarem os seus eventos. Exemplo: condição de velocidade média de operação                                   |
| 5                  | Paisagem                            | Qualidade visual ao passageiro durante a viagem. Exemplo: visão de horizonte mais amplo, pois trafega acima dos veículos.                      |
| 6                  | Trafegabilidade                     | Local de implantação do monotrilho. Exemplo: área entre o acostamento e as divisas, na Faixa de Domínio                                        |
| 7                  | Impactos ambientais                 | Causados e/ou evitados na construção e na operação deste modal. Exemplos: uso de materiais recicláveis na construção e baixo ruído na operação |
| 8                  | Energia                             | Forma de energia de operação do monotrilho. Exemplo: uso de energia fotovoltaica com placas instaladas na Faixa de Domínio                     |
| 9                  | Custo                               | Valores de implantação e operação do monotrilho. Exemplo: comparativo com outros modais com a mesma utilização                                 |
| 10                 | Horários                            | Disponibilidade / diversidades                                                                                                                 |
| 11                 | Convênios                           | Facilidade de pagamento para o usuário                                                                                                         |
| 12                 | Higiene                             | Limpeza e desinfecção dos vagões (covid 19 e outros virus)                                                                                     |
| 13                 | Acessibilidade                      | Acesso aos deficientes físicos                                                                                                                 |
| 14                 | Acesso á internet                   | Wi fi para os usuarios                                                                                                                         |
| 15                 | Nº de veículos                      | Menor quantidade de Veículos em outros modais.                                                                                                 |
| 16                 | Concorrência                        | Menor valor no transporte de passageiros                                                                                                       |
| 17                 | Arquitetura e urbanismo             | Análise critica junto às edificações lindeiras                                                                                                 |
| 18                 | Demanda regional                    | Capacidade de absorção de demanda de outros modais ou falta de oferta de transporte entre as capitais.                                         |
| 19                 | Percepção da qualidade pelo usuário | Percepção de qualidade em comparação aos demais modais disponíveis                                                                             |

| CRITÉRIOS JULGADOS |                                              | DESCRIÇÃO SUSCINTA (cont.)                                                                                            |
|--------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20                 | Vontade do poder públ dos estados em questão | Viabilidade de execução do projeto dadas as eventuais restrições políticas regionais                                  |
| 21                 | Interesse de invest pela iniciativa privada  | Mapeamento de interesse da iniciativa privada no investimento em questão                                              |
| 22                 | Suporte do governo federal                   | Iniciativas do governo federal na direção de demonstrar interesse pelo projeto                                        |
| 23                 | Fontes de financiamento                      | Entendimento de quais os agentes (nacionais e internacionais) estariam dispostos a financiar o projeto                |
| 24                 | Marketing                                    | Para informar a sociedade sobre os eventos, tanto na obra quanto na operação, cuidando permanentemente com sua imagem |
| 25                 | Sustentabilidade tarifária                   | Garantia da modicidade tarifária                                                                                      |
| 26                 | Sustentabilidade urbanística                 | Contribuição para melhoria do trânsito urbano                                                                         |
| 27                 | Sustentabilidade de integração               | Facilidade de integração com os modos ativos (ciclovário e a pé)                                                      |
| 28                 | Estações 1                                   | Conforto e tranquilidade enquanto espera o trem                                                                       |
| 29                 | Estações 2                                   | Segurança pessoal interna nas estações                                                                                |
| 30                 | Estações 3                                   | Distância entre as estações                                                                                           |
| 31                 | Informação                                   | Clara, objetiva e de fácil visualização dos horários do trem                                                          |
| 32                 | Limpeza                                      | Interna dos vagões e estações                                                                                         |
| 33                 | Organização                                  | Dentro das estações direcionando os usuários                                                                          |
| 34                 | Logística                                    | Definição dos locais de implantação dos terminais de passageiros em função da densidade demográfica.                  |
| 35                 | Rentabilidade                                | Retorno financeiro do empreendimento.                                                                                 |
| 36                 | Manutenção                                   | Disponibilidade de peças de reposição.                                                                                |
| 37                 | Demanda/capacidade de transporte             | Demanda mínima esperada para o monotrilho, constituindo-se no fator gerador de receitas.                              |
| 38                 | Mobilidade                                   | Rede integrada e multimodal que atendam às necessidades de deslocamento dos pontos de origem aos de destino.          |
| 39                 | Capacidade de carga                          | Quantidade de passageiros que poderão ser transportados simultaneamente                                               |
| 40                 | Passagem por áreas sensíveis                 | Existência no trajeto de áreas indígenas, quilombolas, áreas demarcadas de qualquer tipo.                             |
| 41                 | Gestão de risco                              | Possíveis riscos não mensuráveis na fase de projeto que pode impactar na implantação e manutenção do empreendimento   |

| CRITÉRIOS JULGADOS |                             | DESCRIÇÃO SUSCINTA (cont.)                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 42                 | Integração com outros modos | O monotrilho se conecta a outras modalidades, como o automóvel, linhas de ônibus e bicicleta?              |
| 44                 | Capacidade                  | O monotrilho se mostra mais capaz do que sistemas de ônibus operados por um sistema BRT, por exemplo?      |
| 45                 | Conforto no terminal        | Segurança pública, iluminação, limpeza, número de pessoas/capacidade, proteção contra intempéries.         |
| 46                 | Modicidade tarifária        | Valor pago pelo usuário para utilização do sistema                                                         |
| 47                 | Integração modal            | Conectividade com outros modos de transporte                                                               |
| 48                 | Acessibilidade das estações | Facilidade com que um usuário pode acessar a estação do monotrilho                                         |
| 49                 | Higiene                     | Condições para a prevenção de infecções                                                                    |
| 50                 | Integridade moral           | Condições para prevenção de agressões ou assédio moral                                                     |
| 51                 | Acessibilidade              | Adequação à Lei 13.146                                                                                     |
| 52                 | Confiabilidade              | Quantifica a eficácia em relação à disponibilidade e à pontualidade (engloba o critério “pontualidade”)    |
| 53                 | Modos alternativos          | Disponibilidade de outros modos de transporte para o mesmo trajeto e seus respectivos custos ao passageiro |
| 54                 | Tarifa                      | Valor estimado para custo final da tarifa ao passageiro, identificação de previsão de subsídios            |
| 55                 | Relevância                  | Pertinência da rota prevista em relação ao uso do solo atual e futuro                                      |
| 56                 | Demanda                     | Numero estimado de passageiros realizando o trajeto através de modo sobre trilhos                          |
| 57                 | Tecnologia                  | Tecnologia prevista para os veículos e a operação do sistema e viabilidade de modernização futura          |



3. CUSTO - Referem-se ao custo para a implantação, funcionamento e manutenção dos monotrilhos (GHAFOORIPOUR; OGWUDA; REZAEI, 2012). \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

4. DEMANDA - Verificação do número de passageiros a serem atendidos pelo monotrilho. (GARCIA, 2014). Relaciona-se com a escolha dos locais de implantação para os terminais de passageiros em função da densidade demográfica (PASQUALETTO, 2014). \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

5. ENERGIA - É o tipo de energia (i.e. de propulsão), utilizada nos trens do monotrilho (PATEL, 2021). \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

6. IMPACTOS AMBIENTAIS - São resultantes da implantação e operação do monotrilho (KIMIJIMA, 2010). \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

7. INTERLIGAÇÃO - É a capacidade de incorporação do monotrilho à rede de outros modais (ATOBE; ANDRADE, 2014). \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

8. TRAFEGABILIDADE - Refere-se à diretriz horizontal de projeto e ao traçado do corredor de implantação (RIBEIRO; PINTO; FIGUEIRA, 2013) \*

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |