

ESTUDOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DOS VEÍCULOS DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA: O CASO DO MAGLEV-COBRA

Renan Couto Lisboa Pereira
Marcelino Aurelio Vieira da Silva
Programa de Engenharia de Transporte
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Este trabalho visa elaborar uma análise dos veículos de levitação magnética, avaliando aspectos econômicos e ambientais a partir de comparações com outros meios de transporte ferroviários de média capacidade, como o VLT e o Monotrilho. A metodologia utilizada para este artigo foi um detalhamento das etapas de implantação e operação do sistema e aquisição dos veículos, aplicando no estudo de caso do Eixo Anhanguera de Goiânia/GO. A partir dos dados obtidos foram elaboradas análises econômicas em três cenários distintos comparando os sistemas de transporte a partir do fluxo de caixa e de indicadores como TIR, VPL e *payback*. Além disso, foram estudados os aspectos ambientais através de emissões de dióxido de carbono e consumo energético. Sob a ótica da análise econômica, pode destacar a vantagem do sistema maglev por conta do fato de possuir uma capacidade de transporte por veículo maior do que os demais sistemas, o que permite operar com uma frota menor, reduzindo seus custos de aquisição de veículos. No aspecto da análise ambiental, todos os sistemas analisados fazem uso da energia elétrica como fonte de propulsão, mas o maglev se destaca pela estrutura veicular mais leve necessitando menor geração de energia para locomoção.

ABSTRACT

This work aims to elaborate an analysis of magnetic levitation vehicles, evaluating economic and environmental aspects from comparisons with other medium-capacity transportation, such as LRT and monorail. The methodology used for this article was a detailing of the stages of implementation and operation of the system and acquisition of vehicles, applying in the case study of the Eixo Anhanguera of Goiânia/GO. Based on the data obtained, economic analyses were carried out in three different scenarios comparing transport systems from cash flow and indicators such as IRR, NPV and payback. In addition, environmental aspects were studied through carbon dioxide emissions and energy consumption. From the perspective of economic analysis, it can highlight the advantage of the maglev system because it has a higher transport capacity per vehicle than the other systems, which allows to operate with a smaller fleet, reducing its costs of vehicle acquisition. In the aspect of environmental analysis, all systems analyzed make use of electricity as a source of propulsion, but the maglev stands out for the lighter vehicle structure requiring less power generation for locomotion.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da ONU, 55% da população mundial viverá nas áreas urbanas até 2025, gerando maior necessidade de locomoção e demanda de novas soluções de sistemas de transportes com maior eficiência energética e baixos impactos urbanos e ambientais. No Brasil, 85% do transporte público é realizado por ônibus, que disputa espaço viário com o transporte individual e reduz sua velocidade operacional. Tal concorrência diminui um potencial demanda e aumenta o custo de transporte público (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2017).

Os gases de efeito estufa – GEE - lançados à atmosfera pela ação humana absorvem parte da radiação infravermelha refletida na Terra, potencializando um maior aquecimento do planeta. Os efeitos danosos dos GEE motivaram várias nações a assumirem compromissos de redução de emissões em vários setores, incluindo o de transporte, que responde por 23% do total oriundas do consumo de combustíveis fósseis (OECD, 2010). No pior cenário, sem esforços

de redução de emissão de GEE por parte das nações, é previsto que a temperatura média poderá subir até 4,8 °C ao longo do século XXI (IPCC, 2014).

Em vista disso, algumas nações assumiram compromissos de reduzir os gases de efeito estufa em determinados setores, incluindo o de transportes, responsável por 23% do total de emissões globais oriundas do consumo de combustíveis fósseis (OECD, 2010). Dentre os GEE emitidos por veículos citam-se o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). O CO₂ é o principal gás em termos de quantidade emitida, por isso é usado como referência.

Uma alternativa para reduzir esses impactos ambientais é o modo de transporte por tração elétrica, do qual fazem parte os veículos com levitação magnética. Estes demonstram ser uma alternativa promissora, em comparação aos meios de transporte de massa convencionais, devido à sua rapidez, ao seu conforto, à sua confiabilidade, à sua segurança e à sua contribuição para a organização do tráfego urbano. (Sucena & Stephan, 2012). Suas características técnicas proporcionam aumento de eficiência energética, impactos ambientais mitigados, pois emitem baixos níveis de emissões de CO₂ em função da sua geração de energia ser essencialmente elétrica e, por não haver atrito, reduz a poluição sonora em velocidades moderadas (STEPHAN, 2015).

O objetivo da pesquisa é elaborar uma análise de desempenho dos veículos de levitação magnética, avaliando aspectos econômicos e ambientais. Para balizar o estudo serão realizadas comparações com outros meios de transporte elétricos de média capacidade, como o VLT e o Monotrilho. Todas as tecnologias estudadas serão aplicadas no Eixo Anhanguera, em Goiânia/GO, como estudo de caso.

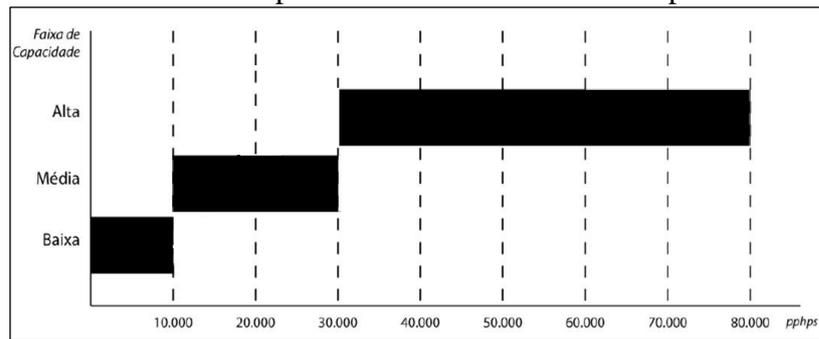
A estrutura do artigo é definida por sete tópicos. O artigo começa com uma introdução, contextualizando o problema envolvido e os objetivos da pesquisa. No tópico seguinte é realizado uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de transportes escolhidos para a análise comparativa. O terceiro tópico trata sobre o procedimento metodológico do artigo. Em seguida, o artigo aborda o estudo de caso, o Eixo Anhanguera, com suas características de demanda e horário de pico. A pesquisa apresenta características operacionais como capacidade do veículo, custos de implantação, de operação e aquisição do veículo, além de dados sobre suas emissões de poluentes e consumo energético. O sexto tópico apresenta os resultados sobre a análise de desempenho proposta e por fim apresenta as conclusões obtidas e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Classificação dos modos de Transporte

O transporte urbano de passageiros pode ser classificado de acordo com a sua capacidade: transporte de alta, média e baixa capacidade (Ferraz e Torres, 2004, Riccardi, 2011, Isoda, 2013). A capacidade é o quanto se oferta dentro dos critérios de projeto do sistema. Ela é medida em passageiros/hora/sentido (*pphs*), que corresponde ao número de pessoas que passam por um ponto da via ou em cada sentido em um determinado intervalo de tempo. As faixas de capacidade nos sistemas de transporte coletivo são arbitrarias para cada autor, mas a figura abaixo mostra um compilado dessas faixas.

Tabela 1: Faixas de capacidade dos sistemas de transporte coletivo.



Fonte: Reprodução própria.

Baseado no apresentado, os sistemas de baixa capacidade são aqueles cuja capacidade é até 10 mil passageiros por hora por sentido (*pphs*) como os ônibus, microônibus, vans e táxis. Os de média capacidade são aqueles que alcançam entre 10 e 30 mil *pphs*. Por fim, os sistemas de alta capacidade comportam entre 30 a 80 mil *pphs* como os trens metropolitanos e metrô.

2.2 Sistemas de transporte elétricos de média capacidade

O transporte de passageiros sobre trilhos abrange uma diversidade de modalidades que se distinguem quanto à capacidade de transporte, segregação de via, espaço no uso do solo e tecnologia de tração. Alguns exemplos de sistemas são: metrô, trens, VLT, monotrilho e veículos de levitação magnética, chamado de MagLev.

2.2.1 Veículo Leve sobre Trilhos - VLT

O Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) é um modo de transporte público sobre trilhos possuindo facilidade para sua inserção na estrutura viária existente, compartilhando ou não o espaço comum do tráfego, inclusive na convivência com os pedestres e áreas verdes e utilizando-se de energia elétrica. Apresentam soluções menos poluidoras contribuindo para a mobilidade urbana sustentável e inclusiva, além de agregar uma imagem positiva à cidade, onde sua implantação induz à renovação urbana e circula em centros históricos e atrai usuários de transporte público e de carro. Sua rede de alimentação de tração pode ser via catenária, quando há fios suspensos acima do veículo e ambos são ligados por um cabo, ou por alimentação pelo solo (APS). Somada a força motriz de origem elétrica, o VLT promove a revitalização urbana por ser um sistema não poluidor.

2.2.2 Monotrilho

Os Monotrilhos são sistemas de transporte de média capacidade, composto de um material rodante leve que circula em via elevada, podendo ser segregado ou integrar com edificações elevadas. Sua característica básica é a movimentação sobre uma viga-guia, sendo sustentado e guiado lateralmente por pneus ou trilhos que permitem a adoção de traçados com inclinações mais acentuadas, menores raios de curvatura e facilita a ordenação da malha urbana, uma vez que se utiliza de pouco espaço viário (CNT, 2016).

O Aparelho de Mudança de Via (AMV) de um Monotrilho é diferenciado pois a mudança de direção do trem é possibilitada pelo deslocamento da viga-guia, sobre suporte com baixa emissão de ruído, que se alinha à direção desejada, unindo-se à viga que dá continuidade ao percurso que se pretende tomar. Apenas 21 linhas de monotrilho do redor do mundo são

aplicados ao transporte urbano, com a maioria situada no continente asiático, em especial no Japão.

2.2.3. Trens de Levitação Magnética

Segundo Gou (2018), atualmente existem três conceitos de trens de levitação magnética estudados no mundo, sendo eles: eletromagnética (EML), eletrodinâmica (EDL) e supercondutora (SML). As principais vantagens destes veículos são o baixo consumo energético e emissão de poluentes, pois não utilizam combustíveis fósseis. Este artigo estudará a tecnologia supercondutora, já que este sistema já existe em processo de validação no Brasil. A levitação magnética por supercondutores é um novo sistema de transporte com vantagens como estabilidade de levitação sem a necessidade de controle, baixo consumo energético, limpo, baixo ruído e potencial para altas velocidades (Lee *et al.*, 2006).

Este tipo de levitação se baseia na propriedade diamagnética dos materiais supercondutores conhecido como *Efeito Meissner*. Esta propriedade representa a maior vantagem da levitação por supercondutores em relação aos demais.

A esbeltez da estrutura do sistema por supercondutores se deve à simplicidade da técnica de levitação, possibilitando uma melhor distribuição dos esforços atuantes ao longo do veículo, além da redução considerável na poluição sonora e no desgaste do material rodante. Segundo Cabral (2015), a levitação supercondutora é energeticamente mais eficiente do que a levitação EML, pois não há consumo de energia para garantir a levitação e estabilidade do sistema.

No entanto, esta tecnologia é recente e no Brasil há apenas um modelo em escala real denominado MagLev-Cobra com capacidade para 20 passageiros, projetado por equipe multidisciplinar da COPPE/UFRJ.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização deste trabalho, pesquisou-se a metodologia mais adequada para o atendimento dos objetivos propostos. O presente tópico descreve como esta pesquisa foi planejada, incluindo a área de estudo escolhida, os parâmetros da demanda, os meios de transportes analisados, suas características particulares e os cenários de aplicação.

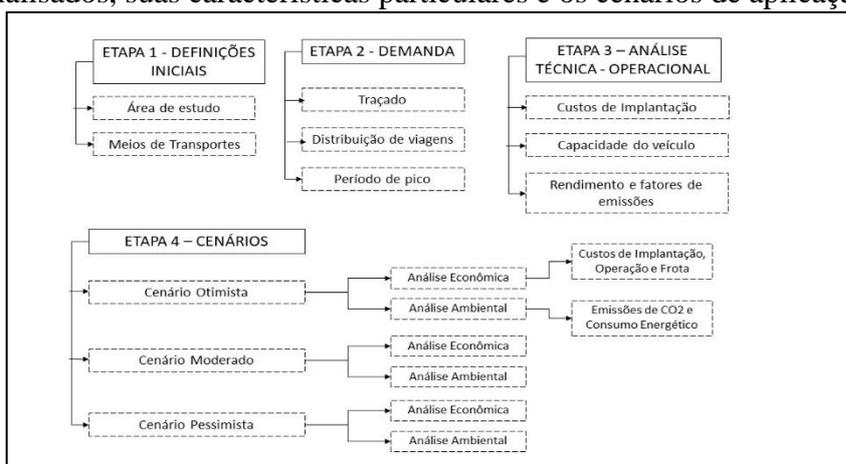


Figura 1: Fluxograma das etapas definidas para análise da viabilidade econômica e ambiental dos meios. Fonte: Reprodução própria.

A pesquisa deve estabelecer, a priori, o entendimento de conceitos necessários para a estruturação e o desenvolvimento do trabalho, tais como os aspectos do estudo de viabilidade e a classificação dos sistemas de transporte quanto à sua capacidade e/ou energia de

propulsão. Em seguida, deve-se determinar o enfoque do estudo; neste caso, os modos de transporte elétricos de média capacidade e a área de estudo para sua aplicação.

Com a área de estudo definida, o passo seguinte é identificar os meios de transporte coletivo urbano de média capacidade, sua disponibilidade na região e a disposição viária para sua implantação.

O estudo da demanda realizado neste trabalho baseou-se em três pontos: traçado, projeção da demanda e distribuição de viagens. A proposta de traçado envolve a análise estratégica de implantação de novas estações ou de readequação das existentes. A previsão da demanda futura, por sua vez, tem como objetivo orientar o estudo no que tange à variação da demanda em períodos futuros, com horizontes de tempo determinados de acordo com a necessidade de análise do trabalho. Por fim, o próximo passo é analisar a variação horária de viagens, identificando os horários de pico, uma vez que é a partir deles que o dimensionamento de frota é construído.

A etapa de análise técnica-operacional tem como objetivo identificar características técnicas e operacionais específicas dos meios de transportes escolhidos para o estudo, como o comprimento total do veículo, a largura, a declividade máxima operacional, o raio de curvatura, a velocidade média comercial, o intervalo mínimo entre trens, a capacidade da composição e a capacidade da linha.

Para melhor compreensão das análises a serem realizadas, os dados devem ser aplicados em diferentes cenários, seja por alteração de demanda, por horizonte de tempo, ou por qualquer delimitação desejada. Os cenários ajudam a observar os dados em diferentes situações, almejando resultados mais plausíveis e condizentes com a realidade do local.

O método para análise econômica pretendida foi o fluxo de caixa – ferramenta da gestão financeira em que se pode acompanhar as movimentações financeiras de uma empresa ou setor, identificando as entradas e saídas de recursos, além de taxas. Neste fluxo de caixa, foram estudados o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), o *break even point* e o aporte público necessário para zerar o VPL com a tarifa vigente da área de estudo.

O método para análise ambiental foi calcular as emissões de dióxido de carbono e o consumo energético aplicados aos três cenários em função dos rendimentos e emissões de cada sistema de transportes.

4 ÁREA DE ESTUDO E APLICAÇÃO

O artigo é desenvolvido em função do estudo de viabilidade da aplicação de três soluções em tecnologias ferroviárias de média capacidade no Eixo Anhanguera, localizado em Goiânia/GO sob a ótica da análise econômica, técnica e ambiental. Atualmente o Eixo Anhanguera conta com 23 pontos de embarque/desembarque de passageiros, sendo cinco deles associados a terminais de ônibus com o restante do sistema da RMTTC e outras 18 estações de atendimento a usuários lindeiros. Foi considerado neste trabalho um total de 250 dias úteis por ano, demonstrados na tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Projeção de embarque de passageiros por faixa horária no Eixo Anhanguera.

Período	Faixa Hora	Embarque Total	Pq. Pelágio - N.Mundo	N. Mundo - Pq. Pelágio
---------	------------	----------------	-----------------------	------------------------

Pré-pico manhã	5h – 6h	8.178	4.622	3.556
Pico manhã	6h – 7h	24.672	13.944	10.727
	7h – 8h	26.538	15.000	11.538
Entre-pico manhã	8h – 9h	14.939	8.444	6.495
	9h – 10h	12.715	6.594	6.122
	10h – 11h	13.314	6.904	6.410
	11h – 12h	13.371	6.934	6.438
Pico almoço	12h – 13h	16.426	8.621	7.805
	13h – 14h	15.599	8.186	7.413
Entre-pico tarde	14h – 15h	14.085	6.648	7.437
	15h – 16h	15.548	7.339	8.209
	16h – 17h	18.139	8.562	9.577
Pico tarde	17h – 18h	24.935	11.055	13.880
	18h – 19h	25.806	11.441	14.365
Noite 1	19h – 20h	10.038	4.451	5.587
	20h – 21h	5.152	2.283	2.868
	21h – 22h	5.025	2.230	2.795
Noite 2	22h – 23h	4.925	2.463	2.463
	23h – 24h	965	483	483

Fonte: RMTc (2011).

A demanda diária de VLT projetada é de 270.370 passageiros nos dias úteis. Os dados mostram um período de pico matutino entre 7h e 8h com 26.538 viagens, e um período vespertino entre 18h e 19h com 25.806 viagens.

5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA

5.1 Dados Operacionais

O veículo analisado neste trabalho para o sistema Monotrilho é o Innovia 300 da empresa Bombardier com 7 carros acoplados por composição e uma capacidade de 1000 passageiros por composição, seu headway é de 220 segundos e transporte de 16.000 *pphps* Tal escolha se deve pelo fato de ser o mesmo aplicado na Linha 15 – Prata do Metrô de São Paulo. O veículo do VLT é um biarticulado com capacidade para 300 passageiros por carro, semelhante ao utilizado no Rio de Janeiro. Para análise do MagLev foi projetado um veículo de 5 carros por composição, sendo 250 passageiros por carro. Com base nisso, foi elaborado um quadro comparativo com os veículos, já adaptados às exigências do ambiente.

Tabela 3: Quadro comparativo com as características operacionais das tecnologias abordadas.

CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	VLT	MONOTRILHO	MAGLEV
Comprimento Total (em mts)	44,00	85,00	138,50
Largura (em mts)	2,65	3,15	1,50
Altura Total (em mts)	3,60	2,10	2,70
Rampa Máxima Operacional	7%	6%	15%
Velocidade Máxima (km/h)	70,00	80,00	80,00
Velocidade Média Comercial (km/h)	20,00	35,00	15,00
Quantidade de Carros/Composição	2	7	5
Capacidade por Carro (pass.)	300	143	250
Capacidade da Linha (pass./hora.sentido)	15.000	20.000	15.000
Fonte:	RMTc (2011)	Pedroso (2017)	Reprodução Própria

5.2 Cálculo da Frota e Intervalo entre trens (Headway)

O cálculo da frota operante (FO) foi obtido a partir de uma equação entre a demanda de passageiros no sentido de maior fluxo no horário de pico (Pass.), tempo de ciclo (TC) em segundos e capacidade do veículo (Cv).

$$FO = \frac{(\text{Pass}/C_v) \times TC}{3600}, \text{ sendo } TC = \frac{(2 \times \text{ext. da linha})}{\text{Vel. Comercial}} \times 3600 \quad (1)$$

Nesse caso, o tempo de ciclo do VLT é de 4896 segundos, o do Monotrilho é de 2798 segundos e o do Maglev é de 3917 segundos. A frota reserva (FR) é igual a 10% da frota operante e a frota total é o somatório da frota operante e reserva. A capacidade de um veículo de VLT é de 600 passageiros, do Maglev é de 1250 passageiros e o Monotrilho comporta até 1000 passageiros.

Aplicando a equação (1) na faixa horária de maior fluxo (7h-8h) foi calculada a frota operante de cada sistema. O VLT necessita de 34 trens, o maglev de 14 trens e o monotrilho de 12 trens. Adicionando a frota reserva, temos o total de 38 trens de VLT, 16 de maglev e 14 de monotrilho. Sabendo a frota total de cada sistema, foi calculado o headway de cada meio de transporte. O VLT opera a cada 180 segundos, o monotrilho a cada 220s e o maglev tem um intervalo de 300s.

Para precificação do veículo de maglev, por não existir sistema em operação para obter dados reais, foi obtido valores hipotéticos a partir de elementos definidos para o veículo experimental do MagLev-Cobra. A carroceria do protótipo custou R\$ 99.310,00, sendo 1,5 m de comprimento e 2,5 m de largura, o que dá um custo de R\$ 26.482,76 /m² de carroceria. Esta taxa foi usada adiante para projetar o valor do veículo escolhido. Como demonstrado na tabela abaixo, as dimensões com menor custo por composição foram caros de 27,7m de comprimento, com 5 carros por composição.

Tabela 4: Dimensionamento do veículo MAGLEV

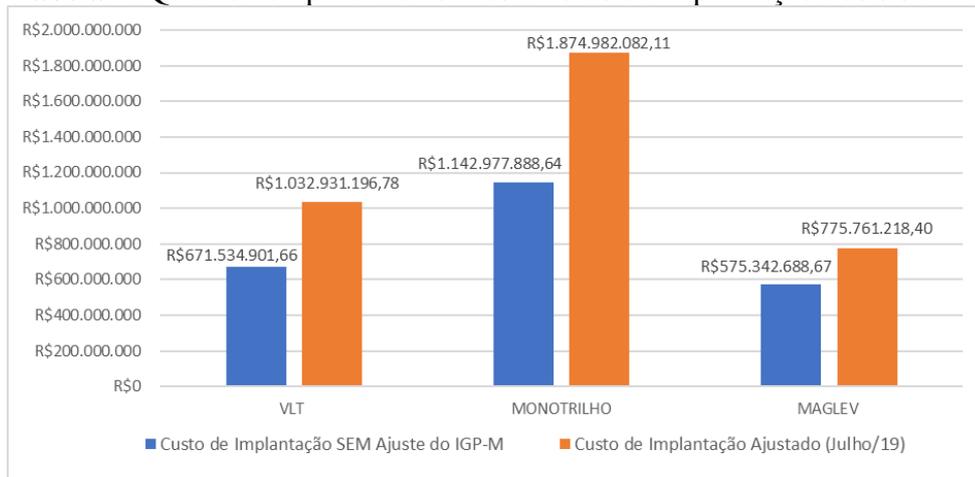
Número de Carros por Composição (n)	3	4	5	6
Comprimento do Carro em mts	46,30	34,70	27,7	13,1
Largura do Carro em mts	1,50	1,50	1,50	1,50
Custo da Carroceria por Carro (em Reais)	R\$ 1.839.228,00	R\$ 1.378.428,00	R\$ 1.100.359,00	R\$ 921.600,00
Custo da Carroceria por Composição (em Reais)	R\$ 5.517.684,00	R\$ 5.513.712,00	R\$ 5.501.795,00	R\$ 5.529.600,00

Fonte: Adaptado de Moura (2016).

5.3 Custo de Implantação

Para analisar os custos de implantação dos sistemas e aquisição dos veículos foram pesquisados exemplos de projetos baseados na data de referência dos respectivos trabalhos e em seguida convertidos para o valor presente com base no índice IGP-M, escolhido por registrar a inflação de bens de produção como matérias-primas e materiais de construção e por ser o índice adotado para reajustes de tarifas públicas.

Tabela 5: Quadro comparativo com os valores de implantação dos sistemas

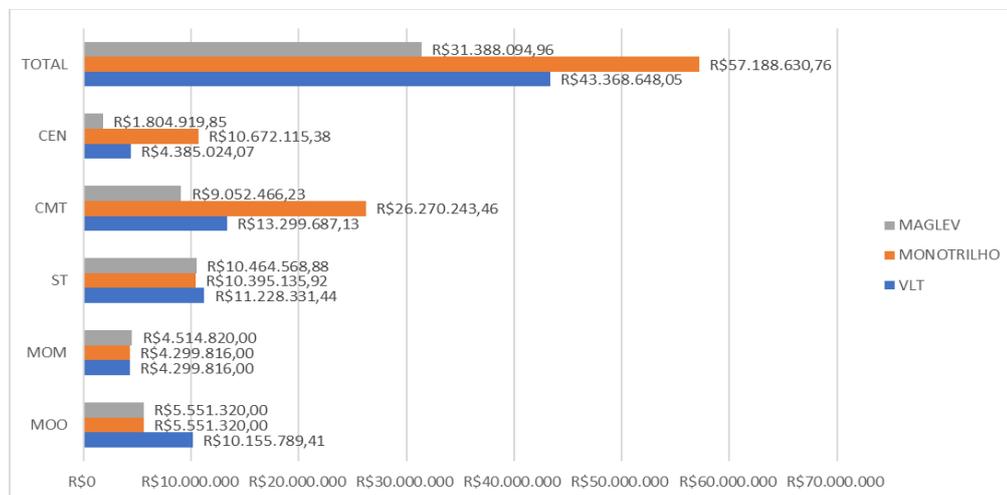


Fonte: RMTTC (2011) e CMSP (2011).

5.4 Custo de Operação

O custo operacional de cada tecnologia foi desmembrado em 5 categorias, mão de obra operacional (MOO), mão de obra de manutenção (MOM), serviços terceirizados (ST), custo de energia (CEN) e custos de manutenção (CMT). O levantamento dos custos, inclusive o salário bruto com encargos sociais de cada colaborador envolvido é baseado em dados apresentados nos relatórios de projeto do VLT de Goiânia e Cuiabá.

Tabela 6: Resumo dos custos de operação anuais detalhados dos sistemas estudados.



Fonte: Adaptado de RMTTC (2011), CMSP (2011) e KPMG (2016).

5.5 Aspectos Ambientais

Os parâmetros adotados para análise ambiental são as emissões de CO₂, dados em gCO₂, e consumo energético, dados em kWh. Para balizar este estudo foi aplicado os valores encontrados no Inventário da MCTIC de 2018. Pedroso (2017) realizou uma tese sobre a avaliação energética, econômica e socioambiental para sistemas de transportes urbanos. Nesta pesquisa, o autor propôs um inventário baseado nos dados fornecidos pelas principais fabricantes de veículos para o sistema Monotrilho no mundo, como apresentado abaixo.

Tabela 7: Inventário sobre dados de veículos de monotrilho

	HITACHI	SCOMI	BOMBARDIER
QUANTIDADE DE CARROS	4	4	7
CAPACIDADE (POR CARRO)	140	121	143
POTÊNCIA EM KW (POR CARRO)	180	200	200
VELOCIDADE MÉDIA (km/H)	35	35	35
INTENSIDADE ENERGÉTICA (kWh/PKM)	0,0367	0,0472	0,040
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PKM/kWh)	27,222	21,175	25,025

Fonte: Pedroso (2017).

Baseado no resultado encontrado pelo autor para o consumo energético do veículo Bombardier, que é o mesmo aplicado nesta dissertação, é possível calcular a emissão de CO₂eq do veículo adotando o valor de 74,00 gCO₂/kWh, estabelecido no inventário do MCTIC de 2019. O valor da emissão de CO₂ encontrado é de 2,957 gCO₂/PKM.

Moura (2016) realizou uma análise energética deste módulo de transporte com aferições in loco da energia consumida em um ciclo na linha experimental de 168m de extensão usando três situações de ocupação do veículo (20%, 30% e 55% da capacidade). O veículo vazio foi pesado e a massa encontrada foi de 2.240 kg. Além disso, foi adotado um peso padrão de 70 kg por passageiro. Com os resultados encontrados, adaptou os dados obtidos para a realidade da aplicação no artigo, com as mesmas dimensões e suas respectivas massas de acordo com o percentual de ocupação do veículo. Em função dos dados obtidos foi projetada uma nova equação que se encontra abaixo:

$$y = -(4 \times 10^{-10})x^2 + (9 \times 10^{-5})x - 1,0705 \quad (2)$$

onde y é o consumo energético, em kWh, de um ciclo de 10 minutos e x é a peso do veículo, em kg.

Para obter a unidade de medida em passageiro.km (PKM) no resultado obtido, podemos estimar o valor do consumo energético do veículo do MagLev-Cobra.

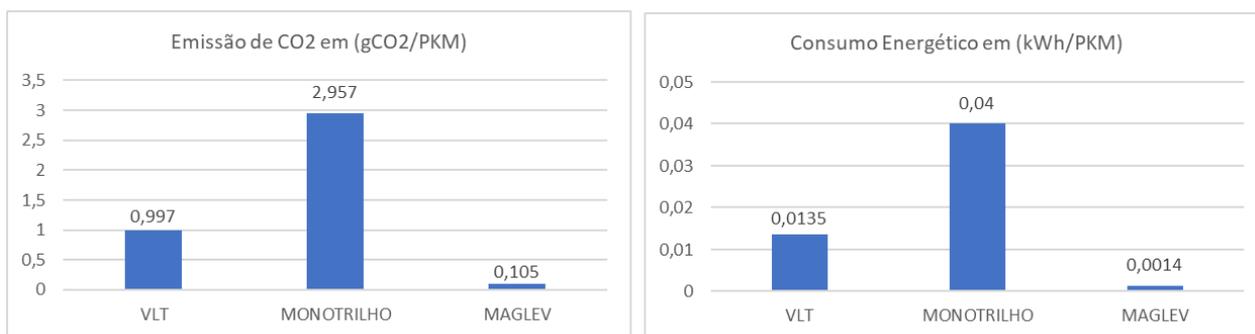
$$\text{Consumo Energético} = \frac{23,864 \text{ kWh}}{(1250 \text{ pass.} * (13,5 \text{ km}))} = 0,00141 \text{ kWh/PKM} \quad (3)$$

Aplicando o fator de conversão do inventário do MCTIC (2019) no valor de consumo energético acima, resultou no valor de referência de emissão de CO₂ para o MagLev.

$$\text{Emissão de CO}_2 = 0,00141 \frac{\text{kWh}}{\text{PKM}} * 74,00 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} = 0,1046 \text{ gCO}_2/\text{PKM} \quad (4)$$

Baseado nas referências pesquisadas foram obtidos tais valores de parâmetros para os sistemas estudados.

Tabela 8: Valores de parâmetros de emissões de CO₂ e consumo energético.



Fonte: Pedroso (2017) e MCTIC (2018).

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Análise Econômica

Para validar os dados, todos serão trazidos ao valor presente por um índice de conversão, o IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado) acumulado até o mês de julho de 2019 como data base.

Tabela 9: Compilado dos valores de implantação, operação e aquisição dos veículos ajustados pelo IGP-M.

MODO DE TRANSPORTE	ÍNDICE IGP-M	OBRAS CIVIS (R\$ em milhões)	VEÍCULO (R\$ em milhões)	OPERAÇÃO (R\$ em milhões)
VLT	1,5382	1.032,931	509,623	70,296
MONOTRILHO	1,6404	1.874,982	1.203,486	86,961
MAGLEV	1,3483	775,761	238,284	53,652

Fonte: RMTC (2011), CMSP (2011) e KPMG (2016).

Os resultados apresentados foram aplicados 3 cenários distintos de fluxos de caixa com projeção de 30 anos de operação e 2 anos de implantação com a tarifa vigente do transporte público no ano de 2019 em Goiânia, que era R\$ 4,30. O cenário realista é de 15 mil *pphps*, o que vai ao encontro da projeção do estudo de RMTC (2011) para a viabilidade do VLT na cidade de Goiânia. Partindo deste cenário, foram projetados o cenário pessimista (-20% de demanda = 12 mil *pphps*) e o cenário otimista (+20% de demanda = 18 mil *pphps*).

Neste fluxo de caixa serão estudados os seguintes aspectos: O VPL para cada sistema com a tarifa vigente ano de 2012, a taxa interna de retorno (TIR), a tarifa necessária para que o VPL zere e qual o aporte público necessário para que o VPL seja zero com a tarifa de R\$4,30. Para fins de simplificação, os cenários serão denominados de cenários mínimo, médio e máximo.

Tabela 10: Resultado da análise econômica por cenários.

12 mil <i>pphps</i>	VPL (8% a.a.)	TARIFA (VPL = 0)	APORTE PÚBLICO
VLT	- R\$ 9.937.191.718,94	R\$ 7,48	R\$ 869.015.497,01
MONOTRILHO	- R\$ 29.836.638.713,90	R\$ 13,85	R\$ 2.609.238.319,49
MAGLEV	- R\$ 4.154.579.482,25	R\$ 5,63	R\$ 363.321.354,34
15 mil <i>pphps</i>	VPL (8% a.a.)	TARIFA (VPL = 0)	APORTE PÚBLICO
VLT	- R\$ 10.002.048.132,34	R\$ 6,86	R\$ 874.687.243,11
MONOTRILHO	- R\$ 27.601.089.294,79	R\$ 11,37	R\$ 2.413.737.704,78
MAGLEV	- R\$ 3.370.192.724,90	R\$ 5,16	R\$ 294.726.094,52

18 mil <i>pphps</i>	VPL (8% a.a.)	TARIFA (VPL = 0)	APORTE PÚBLICO
VLТ	- R\$ 10.168.563.711,85	R\$ 6,47	R\$ 889.249.165,95
MONOTRILHO	- R\$ 29.468.927.050,52	R\$ 10,59	R\$ 2.577.081.635,49
MAGLEV	- R\$ 2.796.052.729,93	R\$ 4,90	R\$ 244.517.085,06

Fonte: Baseados nos valores de referência de MCTIC (2018) e Pedroso (2017).

Analisando os indicadores encontrados podemos afirmar que o sistema Maglev é o mais vantajoso em todos os cenários, pois possui o VPL menos oneroso, o menor aporte público para que o VPL zere na hipótese da tarifa a R\$4,30 e a menor tarifa hipotética que corrija o VPL. Também podemos destacar que o melhor cenário para o sistema Maglev é de 18 mil *pphps*.

6.2. Análise Ambiental

A avaliação dos meios de transportes sob a ótica ambiental foi baseada nos valores de referência encontrado na Tabela 8. Existe uma clara vantagem do sistema MAGLEV sobre os outros meios, principalmente quando comparado ao Monotrilho.

Tabela 11: Resultado da análise ambiental por cenários.

12 mil <i>pphps</i>	ton.CO ₂ em 1 ano	ton.CO ₂ em 30 anos	MWh em 1 ano	MWh em 30 anos
VLТ	53,69	1.863,00	728,19	25.175,69
MONOTRILHO	159,90	5.528,14	2.160,78	74.704,58
MAGLEV	5,62	194,43	54,07	1.869,48
15 mil <i>pphps</i>	ton.CO ₂ em 1 ano	ton.CO ₂ em 30 anos	MWh em 1 ano	MWh em 30 anos
VLТ	67,36	2.328,75	910,24	31.469,61
MONOTRILHO	199,87	6.910,17	2.700,98	93.380,72
MAGLEV	7,03	243,03	67,59	2.336,85
18 mil <i>pphps</i>	ton.CO ₂ em 1 ano	ton.CO ₂ em 30 anos	MWh em 1 ano	MWh em 30 anos
VLТ	80,83	2.794,50	1.092,29	37.763,54
MONOTRILHO	239,85	8.292,21	3.241,17	112.056,87
MAGLEV	8,44	291,64	81,11	2.804,22

Fonte: Baseados nos valores de referência de MCTIC (2018) e Pedroso (2017).

Os veículos de levitação magnética levam vantagem nas emissões de poluentes e consumo energético para todos os cenários e comparando com todos os meios. Ambos os parâmetros apontam valores 9,58 vezes menores do que o VLT e 28,43 vezes menores do que o sistema monotrilho.

7 CONCLUSÃO

Sob a ótica da análise econômica, pode destacar a vantagem do sistema Maglev em comparação aos demais, muito por conta do fato de possuir uma capacidade de transporte por veículo maior do que os demais sistemas, o que permite operar com uma frota menor, reduzindo seus custos de aquisição de veículos. Quanto ao investimento em infraestrutura do sistema, também é possível destacar que as estruturas são mais esbeltas, devido aos esforços serem reduzidos já que não há tração roda-trilho, produzindo um conjunto de esforços distribuídos ao invés de cargas pontuais no caso do VLT.

No aspecto da análise ambiental, apesar de todos os sistemas analisados fazerem uso da energia elétrica como fonte de propulsão, o maglev se destaca pela estrutura veicular mais leve necessitando de menor geração de energia para se locomover. Vale ressaltar que os valores de referência foram extraídos apenas na fase de operação do sistema, não

contemplando todo o Ciclo de Vida do processo, em virtude do ineditismo dos veículos de levitação magnética, em especial a técnica SML. Ou seja, como não há modelo de operação real no mundo, o dimensionamento das emissões na fase de descarte se torna muito complexo e subjetiva, sendo assim evitou-se uma análise completa de Ciclo de Vida e focou-se apenas na fase de operação do sistema.

Sendo assim, avaliando os resultados das análises econômica e ambiental foi possível concluir que, sob as condições encontradas, o MagLev é o que melhor se adequa à proposta de implantação no Eixo Anhanguera. Para recomendações futuras, o autor indica a importância de estudos mais aprofundados na questão dos custos de operação dos sistemas de levitação magnética para que a análise seja mais assertiva e que exija menos da comparação de parâmetros e segmentos com meios de transporte já consolidados no mercado, como o VLT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOUICHE, P.L. (2008) *VLT: um transporte moderno, sustentável e urbanisticamente correto para as cidades brasileiras*. Anais da 14ª Semana de Tecnologia Metroferroviária. 2008.
- CABRAL, T. (2015) *Dinâmica e controle de um sistema MagLev simplificado*. Dissertação (mestrado) - UNESP, São Paulo, 2015.
- CARVALHO, G. (2016). *Caracterização e Análise da Demanda por Transporte em um Campus Universitário: O caso da UFRJ*. Dissertação (mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- CMSP (2011). *Contrato de Prestação de Serviços de Implantação de um Sistema Monotrilho, incluindo o projeto, as obras civis, a fabricação, o fornecimento de sistemas e material rodante para a linha 17-Ouro do metrô de SP*. Contrato Nº 4220921301, São Paulo, 2011.
- CNT (2016) *Transporte metroferroviário de passageiros*. Confederação Nacional de Transporte, Brasília, 2016.
- FERRAZ, A. C. C. P.; TORRES, I. G. E. (2004) *Transporte Público Urbano*. 2ª. ed. São Carlos, SP: RiMa Editora, 2004.
- IPCC (2014) *IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2014 – Synthesis Report*. Intergovernmental panel on climate change, 2014.
- ISODA, M. (2013) *Transporte sobre Trilhos na Região Metropolitana de São Paulo: estudo sobre a concepção e inserção das redes de transporte de alta capacidade*. Dissertação de Mestrado – FAUUSP, São Paulo.
- KPMG (2016) *Produto 3 – Plano de Negócios e Estudos de Viabilidade Econômico-Financeira do VLT*. São Paulo, 2016.
- LEE, H.W. et al. (2006) *Review of Maglev train technologies*. IEEE Trans.Magn. 42,1917–1925, 2006.
- MOSKOWITZ, J.P., COHUAU, J.L (2009), “*STEEM: ALSTOM and RATP experience of supercapacitors in tramway operation*”, França, 2009.
- MOURA, V.R. (2016) *Análise Energética do Módulo de Transporte do Maglev-Cobra*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) Rio de Janeiro, UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.
- MCTIC. (2019) *A Planilha de Inventários Corporativos da MCTIC, 2019*. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acessado em: 30 de maio de 2019.
- OECD (2010) *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions Trends & Data 2010*. Leipzig, Alemanha 2010.
- PEDROSO, G. (2017) *Avaliação energética, econômica e socioambiental de alternativas para sistemas de transportes urbanos coletivos a partir do modelo de apoio multicritério à decisão*. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- RICCARDI, P. (2011) *Integração entre Modalidades de Transporte no Meio Urbano: Situação de Porto Alegre*. Departamento de Engenharia Civil - UFRGS, Porto Alegre.
- RMTC (2011). *Projeto de Implantação de VLT no Eixo Anhanguera/GO, Goiânia, 2011*.
- STEPHAN, R. M. (2012). *Superconducting light rail vehicle: A transportation solution for highly populated cities*. IEEE Vehicular Technology Magazine, 7(4), 122-127.
- STEPHAN, R.M (2015) *MagLev-Cobra: Tecnologia de levitação magnética no Brasil*. Ciência Hoje, v.55, p.20 - 25, 2015.
- STEPHAN R.M et al. (2018) *Retrospective and Perspectives of the Superconducting Magnetic Levitation (SML) Technology Applied to Urban Transportation*. Transportation Systems and Technology. 2018.
- VUCHIC, V. R. (2007) *Urban transit systems and technology*. John Wiley & Sons, 2007.