



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

SARA ROSA VENTURA

**Aspectos ambientais e socioeconômicos de um monotrilho elétrico para transporte
público no eixo Rio – São Paulo**

GUARATINGUETÁ - SP

2021

Sara Rosa Ventura

Aspectos ambientais e socioeconômicos de um monotrilho elétrico para transporte público no eixo Rio-São Paulo

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin

Coorientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

GUARATINGUETÁ - SP

2021

V469a	Ventura, Sara Rosa Aspectos ambientais e socioeconômicos de um monotrilho elétrico para transporte público no eixo Rio-São Paulo / Sara Rosa Ventura – Guaratinguetá, 2021. 56 f : il. Bibliografia: f. 47-54 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin Coorientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza 1. Transportes coletivos. 2. Veículos elétricos. 3. Poluentes. I. Título. CDU 621.337
-------	---



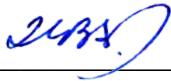
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

SARA ROSA VENTURA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
UNESP-FEG


Drª. Eliana Cristina Moraes dos Santos
UNESP-FEG

Guaratinguetá – SP

Agosto de 2021

DADOS CURRICULARES

SARA ROSA VENTURA

NASCIMENTO	10.02.1998 – São Paulo/SP
FILIAÇÃO	Silvio Pereira Ventura Cleunice Rosa Pires Ventura
2017/2021	Curso de Graduação em Engenharia Civil Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais, que me possibilitaram alcançar lugares que nem eu mesmo achei que alcançaria.

AGRADECIMENTOS

A minha família que sempre me apoiou e me mostrou a importância do estudo para minha formação, desde coisas simples como me livrar de tarefas domésticas para estudar até me apoiar quando eu achei que não conseguiria. Agradeço a minha irmã que me ajudou na reta final deste trabalho, mesmo que reclamando.

Ao Jorge, meu companheiro de vida e meu maior incentivador para continuar acreditando em mim e nos meus sonhos. Obrigada por ter lido inúmeras vezes este trabalho e ter participado de cada etapa, por todas as vezes que eu falei animada de um novo avanço e, por fim, pelas revisões finais que fizemos viajando. Você é um exemplo para mim!

Aos meus amigos, Isabelle, Cleiton e Mylena, vocês me proporcionaram viver o verdadeiro significado da palavra amizade. Agradeço por todos os momentos que vivemos, por todos os ensinamentos e por todas as provas e trabalhos que fizemos juntos. Vocês foram essenciais e extremamente importantes nessa minha caminhada, tanto acadêmica como pessoal.

À Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin, por toda calma e paciência desde o começo deste trabalho, pois foi um período de altos e baixos até que eu aprendesse a me organizar. Agradeço por todos os ensinamentos e lições tanto acadêmicas como pessoais, sou muito grata por ter você como orientadora e que, muitas vezes, assumiu mais um papel de amiga. Muito obrigada!

Ao professor Teófilo por ter me dado a oportunidade de realizar uma iniciação científica, que sempre foi meu sonho dentro da graduação. Muito obrigada por todas as conversas e histórias que melhoravam o meu dia ao descobrir algo novo.

Agradeço a todos os professores e funcionários da UNESP, *campus* de Guaratinguetá, que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

A todos que participaram dessa jornada, deixo aqui o meu muito obrigada.

RESUMO

O monotrilho é um veículo que apresenta um único trilho, podendo circular acima ou abaixo deles. O presente trabalho apresenta um estudo dos principais aspectos ambientais na implantação de um monotrilho elétrico na faixa de servidão da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), interligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. A faixa de servidão da Rodovia Presidente Dutra, atravessa o Vale do Paraíba, região muito importante no cenário econômico brasileiro. O estudo permitiu constatar que o monotrilho é um veículo sustentável e viável do ponto de vista ambiental, e sua instalação no trecho em questão, não teria como consequência a desapropriação da população e a intervenção em áreas vegetadas e de preservação. Além disso, em longo prazo, o monotrilho trará melhorias ambientais, visto que reduzirá as emissões de poluentes atmosféricos, quando comparado aos modais atuais dos veículos terrestres e aéreos que realizam o transporte de cargas e pessoas no eixo Rio de Janeiro e São Paulo, que atualmente emitem o correspondente a 0,05% do gás carbônico e 0,01% de óxidos nitrosos, dos totais emitidos no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte público. Mobilidade. Veículos elétricos. Poluentes atmosféricos.

ABSTRACT

The monorail is a vehicle that presents a single rail, which can run above or below them. The present work presents a study of the principal environmental aspects of the implementation of an electric monorail on the right-of-way of Rodovia Presidente Dutra (BR-116), connecting the cities of São Paulo and Rio de Janeiro. The right-of-way of Rodovia Presidente Dutra, crosses Vale do Paraíba, a very important region in the Brazilian economic scenario. The study found that the monorail is a sustainable and viable vehicle from the environmental point of view, and its installation on the stretch in question would not result in the expropriation of the population and intervention in vegetated and preserved areas. Besides, in the long run, the monorail will bring environmental improvements, since it will reduce the emission of atmospheric pollutants, when compared to the current land and air vehicles that transport cargo and people in the Rio de Janeiro and São Paulo axis. Currently they emit 0.05% of carbon dioxide and 0.01% of nitrous oxides, of the total emitted in Brazil, as will be seen at the end of this project.

KEYWORDS: Public transport. Mobility. Electric vehicles. Atmospheric pollutants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Representação esquemática de um monotrilho trafegando sobre rodovia.....	15
Figura 02. Esquema de funcionamento do monotrilho da linha 15 na cidade de São Paulo...	17
Figura 03. Infográfico da Rodovia Presidente Dutra (BR-116 RJ/SP)	20
Figura 04. Trecho da BR-116 interligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.....	21
Figura 05. Bioma de Mata Atlântica no Eixo Rio – São Paulo.....	25
Figura 06. Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e sub-bacias afluentes.....	26
Figura 07. Mapa altimétrico do trecho da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), entre São Paulo e Rio de Janeiro.....	27
Figura 08. Área de Preservação permanente próximo ao eixo Rio – São Paulo, ao longo da Rodovia Presidente Dutra (BR -116)	29
Figura 09. Áreas de Proteção ambiental no eixo Rio – São Paulo.....	30
Figura 10. Principais motivos de deslocamento no eixo Rio – São Paulo.....	34
Figura 11. Dimensões INNOVIA 300 da empresa Bombardier.....	44
Figura 12. Pontos de parada do monotrilho no trajeto São Paulo e Rio de Janeiro.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Especificações técnicas de monotrilhos fornecidos por três empresas que atuam no Brasil.....	16
Tabela 02. Informações socioeconômicas das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.....	19
Tabela 03. Cidades influenciadas pela Rodovia Presidente Dutra (BR-116) no eixo Rio – São Paulo.....	22
Tabela 04. Caracterização socioeconômica da área de estudo que compreende o eixo Rio – São Paulo.....	23
Tabela 05. Valor de referência GWP de gases do efeito estufa.....	31
Tabela 06. Comparação entre os meios de transporte do eixo Rio – São Paulo	35
Tabela 07. Custo de implantação de monotrilho em diferentes países e para a linha 15, no eixo Rio-São Paulo	36
Tabela 08. Número de veículos pedagiados no sentido bidirecional da Rodovia Presidente Dutra (BR – 116) em 2019	38
Tabela 09. Fatores de emissões atmosféricas aplicados a veículos rodoviários.....	38
Tabela 10. Emissões gasosas totais dos veículos que trafegaram na Rodovia Presidente Dutra em 2019.....	39
Tabela 11. Concentração dos poluentes a fim de classificar a qualidade do ar.....	40
Tabela 12. Limites máximos de emissão de poluentes para veículos de Fase Proconve L7... 41	
Tabela 13. Rotas aéreas entre São Paulo e Rio de Janeiro em 2019	41
Tabela 14. Emissões de poluentes totais no eixo RJ – SP (A320) no ano de 2019	42
Tabela 15. Emissões atmosféricas de todos os modais que trafegaram no eixo Rio - São Paulo.....	43
Tabela 16. Emissões de poluentes atmosféricos no Brasil e gradadas pelos modais que trafegaram no eixo Rio -São Paulo em 2019	44

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANAC	Agência Nacional da Aviação Civil
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Áreas de Preservação Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Gás carbônico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças no Clima
COP – 26	26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DENTRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
GWP	Potencial de aquecimento global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IFC	Internacional Finance Corporation
IPCC	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
LTO	<i>Landing and Take Off</i> (Pouso e Decolagem)
MP	Material Particulado
N ₂ O	Óxido nitroso
NMHC	Hidrocarboneto não metano
Nox	Óxidos de nitrogênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PMNC	Política Nacional sobre Mudança no Clima
PMNU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
TAV	Trem de Alta Velocidade

TOTAL HC	Total de Hidrocarboneto
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i> (Fundo Mundial para Natureza)
QAV	Querosene de Aviação
NO	Óxido nítrico
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
SO ₂	Dióxido de enxofre
CO	Monóxido de carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	PANORAMA DO USO DO MONOTRILHO.....	15
3.2	IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DE UM MONOTRILHO...	16
3.3	AS CAPITAIS: RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO.....	18
3.4	A RODOVIA PRESIDENTE DUTRA NO EIXO RIO - SÃO PAULO.....	19
4	MATERIAL E MÉTODO	21
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.1.1	Dados populacionais e econômicos.....	22
4.1.2	Bioma e clima da região estudada.....	24
4.1.3	Topografia	26
4.1.4	Faixa de Servidão da Rodovia Presidente Dutra.....	27
4.2	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E APPs DA REGIÃO ESTUDADA.....	28
4.2.1	Poluentes atmosféricos	30
4.3	METODOLOGIA.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1	ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DO MONOTRILHO	34
5.2	MODAL RODOVIÁRIO.....	37
5.3	MODAL AÉREO.....	41
5.4	MODAL FERROVIÁRIO.....	42
5.5	EMISSÕES TOTAIS DE TODOS OS MODAIS.....	43
5.6	MONOTRILHO.....	44
5.7	PONTOS DE PARADA.....	45
6	CONCLUSÕES.....	46
7	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana e os meios de transporte são temas que estão ganhando notoriedade nas discussões sobre sustentabilidade e planejamento urbano, principalmente acerca dos aspectos negativos, associados ao meio ambiente e à qualidade de vida da população (POLETTE; TISCHER, 2020). Além disso, são pautas em discussão no governo brasileiro a necessidade de melhoria da interligação entre territórios e dos meios de transportes públicos para que sejam realizados de forma a conciliar o crescimento econômico à sustentabilidade e ao desenvolvimento social (RUBIM; LEITÃO, 2013).

De acordo com relatos da Organização das Nações Unidas, os países em desenvolvimento podem apresentar um rápido crescimento com viagens motorizadas oferecidas para grupos de pessoas, enquanto as viagens em veículos individuais, em longos percursos, provocam problemas de cunho ambiental, social e econômico (ONU, 2020).

No Brasil, as ações de planejamento urbano são recentes, especialmente, em relação à mobilidade urbana sustentável. A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) teve início há apenas 8 anos, com a promulgação da Lei 12.587, que passou a evidenciar a importância dos transportes coletivos, bem como, incentivar o desenvolvimento tecnológico e o uso de energia renovável e não poluente (BRASIL, 2012).

Neste cenário, o monotrilho surgiu como uma alternativa de meio de transporte coletivo para atender às expectativas da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PMNU), bem como, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, de permitir o acesso a modais seguros, sustentáveis e de preço acessível, especialmente para o transporte público (BRASIL, 2017). O monotrilho é um veículo que corre sobre um único trilho, com vagões se deslocando acima ou abaixo deste trilho, mas em ambos os casos, suspensos.

Este estudo teve como objetivo avaliar os principais aspectos da instalação de um monotrilho interligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro na faixa de servidão da Rodovia Presidente Dutra, tendo em vista a necessidade e a importância da melhoria do transporte coletivo associado à preocupação ambiental. O trecho selecionado é de relevância nacional, porque interliga duas grandes capitais brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro, e possui elevados índices de transporte de carga e de passageiros, o que possibilitou a realização de uma análise dos impactos ambientais, sociais e econômicos da implantação do monotrilho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos da instalação de um monotrilho elétrico, como alternativa para transporte de passageiros no eixo Rio de Janeiro-São Paulo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar técnica e cientificamente o estudo por meio de revisão bibliográfica;
- Diagnosticar a situação atual dos meios de transporte que trafegam no eixo Rio de Janeiro - São Paulo, para caracterizar os impactos deste tráfego sobre as condições ambientais, em especial, sobre as emissões atmosféricas, considerando a legislação brasileira de qualidade ambiental;
- Identificar o uso e ocupação das Áreas de Preservação Ambiental (APAs) na faixa de servidão da Rodovia Presidente;
- Analisar os impactos ambientais, sociais e econômicos da possível instalação de um monotrilho interligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro;
- Analisar, comparativamente, as condições ambientais atuais com a possível instalação de um monotrilho, avaliando as vantagens e limitações para essa alternativa de transporte de passageiros, bem como, os impactos nos municípios que terão pontos de parada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PANORAMA DO USO DO MONOTRILHO

O monotrilho, em inglês *monorail*, é um veículo coletivo elétrico de média-alta capacidade que corre sobre um único trilho, com vagões se deslocando acima ou abaixo destes trilhos, sendo em ambos os casos, suspensos. Uma imagem ilustrativa do monotrilho sobre uma via rodoviária é apresentada na Figura 01. O monotrilho teve os seus primeiros protótipos ainda na metade do século XX, paralelamente às locomotivas à vapor (GARCIA, 2014). O primeiro registro de um *monorail* foi patenteado em 1820 por Henry Robinson Palmer (HODSON, 1836).

Figura 01 - Representação esquemática de um monotrilho trafegando sobre rodovia



Fonte: Companhia Metropolitana de São Paulo (2013).

Este veículo já existe em diversos países como Japão, Estados Unidos, Índia, Paquistão, Irã, Tailândia, Malásia, China e, na Alemanha, se encontra um dos mais antigos monotrilhos, o de Wuppertal (SEKITANI et al, 2005). Estes países adotaram este modal para solucionar os problemas de engarrafamento em grandes metrópoles, com vantagens como, conforto, baixo ruído e custo, forte capacidade de escalada e pouco impacto nas áreas de entorno (SHAMSI; GHANBARI, 2020). A condução do *monorail* é realizada por meio de rodas com pneus de borracha que correm no trilho horizontalmente (ENCYCLOPEDIA BRITÂNICA, 2019). Por outro lado, os monotrilhos de *maglev* são vagões que correm acima dos trilhos, como ilustrado na Figura 01 e usam ímãs que são responsáveis pela impulsão para atingir altas velocidades (COLUMBIA ELETRONIC ENCYCLOPEDIA, 2019).

No Brasil existem quatro empresas que trabalham com projetos de monotrilhos, a Hitach, a Scomi, a Bombardier e a BYD. A Hitachi Rail Systems Co apresenta produtos aprovados pelo sistema de transporte ferroviário do Japão, alta confiança, segurança e flexibilidade operacional com o uso das mais modernas tecnologias. A Bombardier é responsável pelo projeto de monotrilho em São Paulo e possui o sistema de monotrilho mais usado no mundo, adotado, por exemplo, pela Walt Disney World Monorail, que atende cerca de 200.000 pessoas por dia. A Scomi venceu a concorrência para fornecer o monotrilho de Mumbai, na Índia, o maior projeto de monotrilho para transporte público.

As especificações técnicas dos monotrilhos fornecidos por três das quatro empresas que atuam no Brasil são apresentadas na Tabela 01, sendo possível observar que as velocidades máximas se mantêm, relativamente, próximas. O trem com maior capacidade de transporte é o da Bombardier, que também apresenta facilidade de adaptação à topografia, conseguindo vencer gradientes topográficos de até 6%.

Tabela 01 – Especificações técnicas de monotrilhos fornecidos por três empresas que atuam no Brasil

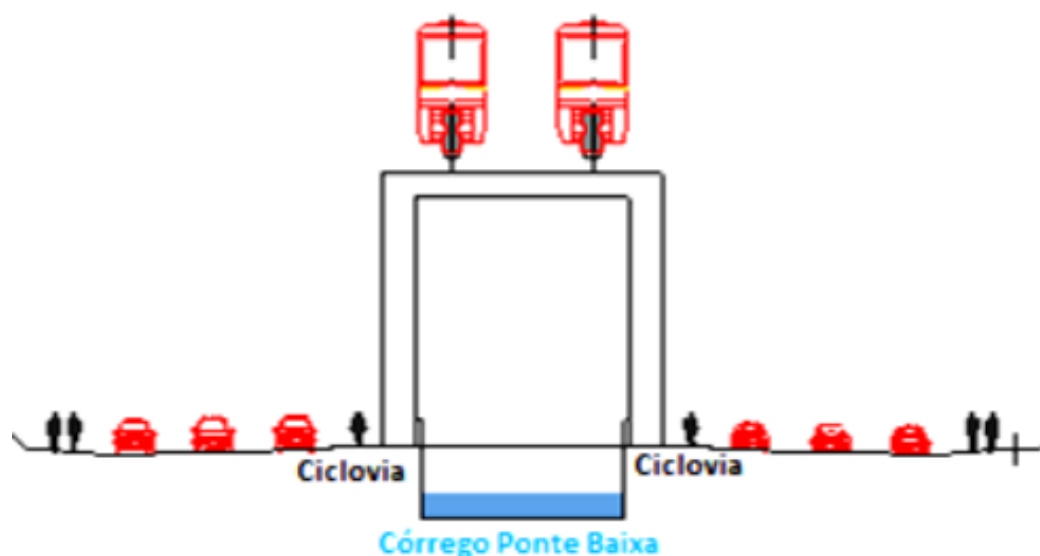
Característica	Bombardier	Hitachi	Scomi
Capacidade por vagão	224 a 350	98 a 440	139
Velocidade máxima [km/h]	80	80	90
Menor raio de curvatura [m]	45	65 a 100	50
Gradiente de elevação	6,50%	6%	6%
Configurações	Até 6 carros	Até 9 carros	Até 4 carros
Largura dos postes de apoio [m]	0,8 a 1,2	0,8 a 1,5	0,8 a 1,0
Altura típica da via elevada [m]	6 a 8	6 a 12	6 a 10

Fonte: Prime Engenharia (2009).

3.2. IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DE UM MONOTRILHO

O sistema de monotrilho não apresenta limitações relacionadas a barreiras físicas ou áreas ocupadas, pois sua estrutura é elevada, delgada e possui uma importante característica, que é a não ocupação do solo. A Figura 02 apresenta o esquema de funcionamento do monotrilho da linha 15 do metrô de São Paulo, que interliga as regiões da Vila Sônia à Vila Olímpia, um ramal ainda precário, mas que auxilia muitas pessoas que, anteriormente, dependiam de ônibus na capital Paulista (SP TRANS, 2012).

Figura 02 – Esquema de funcionamento do monotrilho da linha 15 na cidade de São Paulo



Fonte: SPTrans (2012).

No espaço urbano, os monotrilhos modernos possuem boa adaptação, por apresentarem pneus de borracha, que rolam pelos lados e acima dos trilhos, propiciando um sistema de propulsão silencioso, contribuindo para diminuir a poluição sonora e suas interferências no ambiente (PASQUALETTO; SOUZA, 2014).

O monotrilho de Chongqing, em fase de operação, apresentou emissão de CO₂ de 3,32 kg km⁻¹ e 0,07 kg por passageiro transportado, sendo valores muito menores que os do metrô convencional presente na mesma cidade (Chongqing) que apresenta especificações de 5,39 kg km⁻¹ e 0,10 kg por passageiro (TENG LI *et al.*, 2021).

No Cairo há um projeto de implantação de duas linhas de monotrilho que se apresentará uma extensão de 96 km. Estes monotrilhos fazem parte de um projeto de integração de comunidades e melhoria do transporte público. Além disso, essa implantação gerará um impacto nas sociedades de entrono e permitirá o deslocamento populacional para sua construção. Essa inovação apresenta uma documentação que respeita os Padrões de Desempenho (PS) da *Internacional Finance Corporation* (IFC), no que diz respeito à sustentabilidade socioambiental, sendo este um documento que apresenta oito padrões de desempenho que dizem respeito a à sustentabilidade socioambiental, bem como, as diretrizes ambientais, sanitárias e de segurança do Grupo do Banco Mundial. Dessa forma, o governo investiu cerca de 1,9 bilhões de euros na implantação destes monotrilhos, visando a diminuição

do uso de modais, que geram impactos negativos ao ambiente (UK EXPORT FINANCES, 2021).

3.3. AS CAPITAIS: RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO

As capitais brasileiras, Rio de Janeiro e São Paulo, representam a base da demanda do turismo internacional. No ano de 2019, dos 6,35 milhões de turistas internacionais que visitaram o Brasil, cerca de 2,35 milhões entraram no país por São Paulo e 1,25 milhão via Rio de Janeiro (BRASIL, 2019), que somados, representam 56,69% do total de turistas internacionais que chegam ao país. As cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo estão entre as maiores capitais do hemisfério Sul e atuam como ponto de partida para o deslocamento de turistas para outras localidades, sendo relevante também para o cenário de turismo interno.

O deslocamento no trecho São Paulo – Rio de Janeiro é realizado majoritariamente pela Rodovia Presidente Dutra (BR-116/RJ/SP), que em temporada de férias, feriados prolongados e épocas festivas, apresenta dificuldades no trânsito. Neste trecho, além do modal rodoviário, existem outros dois tipos de transportes, o ferroviário e o aéreo. O transporte ferroviário tem pequena participação, por se restringir a cargas, enquanto o aéreo é realizado, principalmente, para passageiros (SANTANA *et al.*, 2012).

A ferrovia Central do Brasil, no passado, ligava as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, mas foi desativada em outubro de 1998, quando o último trem deixou a estação Barra Funda, em São Paulo, em direção à Barão de Mauá, no Rio de Janeiro (LOBO, 2018).

É preciso destacar que o Projeto do Trem de Alta Velocidade - TAV BRASIL, foi proposto pelo Governo Federal, por intermédio da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), visando a implantação de um monotrilho de liga leve para gerar melhorias no deslocamento entre São Paulo e Rio de Janeiro, com previsão de ter esta solução pronta para a Copa do Mundo realizada no Brasil em 2014. No entanto, além da complexidade intrínseca ao projeto, o alto custo de implantação, estimado em cerca de R\$ 34 bilhões em 2010, inviabilizou a execução desta obra.

Na Tabela 02 são apresentadas as informações socioeconômicas das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, que evidenciam a relevância destas duas metrópoles nacionais em

número de habitantes e PIB *per capita*. Em 2020, o número total de habitantes das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro representava 9,01 % da população brasileira, estimada em 211,80 milhões de habitantes (IBGE, 2020), além de se destacarem como as mais ricas em seus respectivos estados.

Tabela 02 – Informações socioeconômicas das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro

Cidades	Área territorial, km ²	População, nº hab.	PIB <i>per capita</i> , R\$
Rio de Janeiro	1.200,33	6.747.815	54.426,08
São Paulo	1.521,11	12.325.232	58.691,90
Total	2.721	19.073.047	-

Fonte: IBGE (2020).

Utilizando as informações disponibilizadas na tabela 02 verifica-se que as duas cidades apresentam elevada densidade populacional, de 6921,63 hab. Km⁻² e 8.102,79 hab. km⁻² para São Paulo e Rio de Janeiro, respectivamente.

3.4. A RODOVIA PRESIDENTE DUTRA NO EIXO RIO - SÃO PAULO

Com os avanços nas invenções dos meios de transporte e investimentos em rodovias e ferrovias, houve uma grande expansão da ocupação territorial em todo o mundo. Dessa forma, juntamente com a função de locomoção dos povos, o transporte atuou como um elemento desbravador e incentivador econômico, além de propiciar a difusão de ideias e culturas, sendo de grande relevância sua função social (MARKOVICH; LUCAS, 2011).

Com o passar dos anos, em especial com a revolução industrial, as grandes cidades se tornaram polos de desenvolvimento, por apresentarem maior concentração populacional e expressivo deslocamento de mercadorias e pessoas, como ocorreu nas capitais, Rio de Janeiro e São Paulo.

A BR-116 RJ/SP, denominada Rodovia Presidente Dutra, foi inaugurada em 1951 e apresenta uma extensão de 442 km (ANTT, 2019), com tempo médio de viagem entre São Paulo e Rio de cerca de 5,5 a 6 horas. Além de unir estas duas grandes cidades, esta Rodovia atravessa a região do Vale do Paraíba, onde existem diversas indústrias de importância para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 03).

Figura 03 – Infográfico da Rodovia Presidente Dutra (BR-116 RJ/SP)



Fonte: Santos (2018).

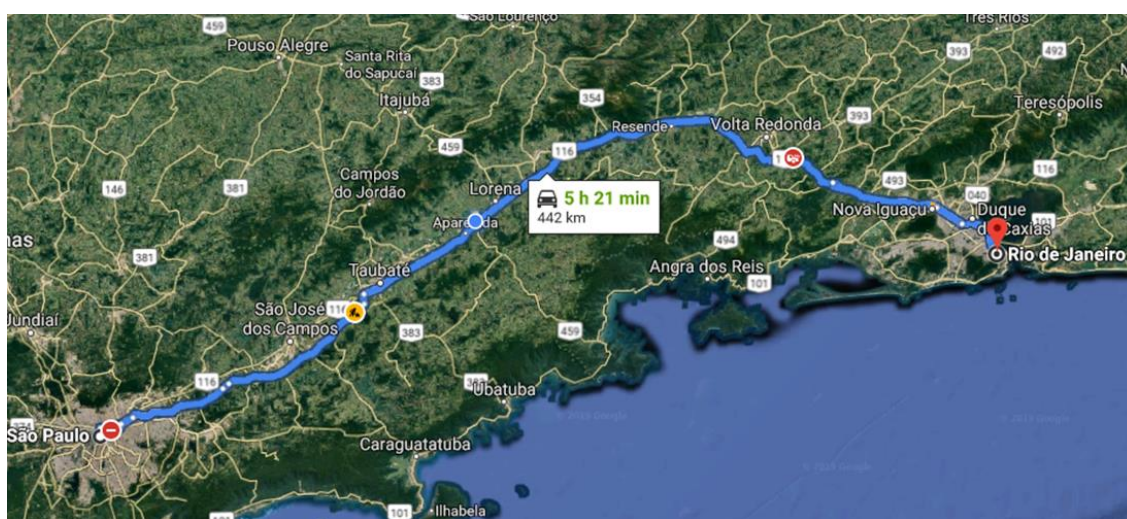
A rodovia é também a principal conexão da região Nordeste à região sul do Brasil, atravessando 34 cidades. A responsável pelo empreendimento é a Concessionária Rodovia Presidente Dutra S/A – Nova Dutra, contratada para o período de 2007 a março de 2021 (ANTT, 2019). Em 2018, o número de veículos pedagiados nesta Rodovia foi de 86.140.599, sendo de 127.008.541 para os veículos equivalentes bidirecionais (SÃO PAULO, 2019). Até a conclusão deste trabalho de graduação ainda não foi finalizado o novo processo para concessão desta Rodovia (PPI, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trecho da Rodovia Presidente Dutra (BR-116) analisado neste estudo corresponde à 442 km e o transporte entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro é realizado em uma média de 5 horas e meia a seis horas, por meio de automóveis particulares e ônibus (Figura 04).

Figura 04 – Trecho da Rodovia Presidente Dutra (BR-116) que interliga as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro



Fonte: Google Maps (2020).

4.1.1. Dados populacionais e econômicos

O território entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo é historicamente importante, pois com a construção da Rodovia Presidente Dutra houve o deslocamento de trabalhadores oriundos de diversas localidades do Brasil, que começaram a se instalar na região, atraídos pelos novos empreendimentos e dinâmica econômica (ABEP, 2012). O eixo da Rodovia Presidente Dutra atravessa 34 cidades, destas 19 são do Estado de São Paulo e 15 do Estado do Rio de Janeiro. Além destas, existem as cidades do Vale do Paraíba que são diretamente influenciadas pela rodovia Presidente Dutra. Na Tabela 03 são apresentados os dados socioeconômicos do ano de 2019 para todas as cidades que são influenciadas por esta Rodovia, sendo possível verificar que naquele ano a cidade de Ilhabela (SP) apresentou o maior PIB *per capita*, de R\$419.457,22, seguida de Itatiaia (RJ) com R\$156.381,39.

Tabela 03 – Características socioeconômicas das cidades influenciadas pela Rodovia Presidente Dutra (BR-116) no eixo Rio - São Paulo no ano de 2019 (continua)

Cidades	Área territorial [km ²]	População [nº hab.]	Densidade demográfica [hab. km ⁻²]	PIB <i>per capita</i> [R\$]
Aparecida - SP	121,08	35.640	294,35	29.969,65
Arapeí - SP	156,90	2.472	15,76	12.390,56
Areias -SP	305,23	3.825	12,53	11.126,84
Arujá - SP	96,17	88.232	917,46	69.588,09
Bananal -SP	616,43	10.605	17,20	16.937,75
Barra Mansa - RJ	547,13	184.412	337,05	28.067,77
Belford Roxo - RJ	78,99	510.906	6467,98	15.598,12
Caçapava - SP	368,99	90.636	245,63	46.192,50
Cachoeira paulista - SP	287,99	32.027	111,21	18.401,78
Campos do Jordão - SP	290,52	49.892	171,73	24.107,48
Canas - SP	53,26	4.996	93,80	20.623,06
Caragatatuba-SP	484,95	114.648	236,41	27.802,88
Cruzeiro - SP	305,70	79.656	260,57	29.743,19
Guararema - SP	270,82	29.058	107,30	47.997,77
Guaratinguetá - SP	752,64	117.760	156,46	46.849,29
Guarulhos - SP	318,68	1.338.452	4199,99	44.897,70
Igaratá-SP	292,95	9.264	31,62	19.049,08
Ilhabela-SP	346,39	9.264	26,74	419.457,22
Itaguaí - RJ	282,61	133.019	470,68	63.968,12
Itatiaia - RJ	241,04	31.805	131,95	156.381,39
Jacareí - SP	464,28	226.355	487,54	54.796,98
Jambeiro-SP	184,41	6.138	33,28	36.754,00
Lagoinha-SP	255,47	4.819	18,86	11.542,06
Lavrinhas - SP	167,07	7.109	42,55	15.256,91
Lorena - SP	414,16	86.238	208,22	32.021,36
Mesquita - RJ	41,17	176.103	4277,46	12.879,91
Monteiro Lobato-SP	332,74	4.431	13,32	14.173,68
Natividade da Serra-SP	833,37	6.694	8,03	10.848,03
Nova Iguaçu - RJ	520,58	821.128	1577,33	20.538,67
Paracambi - RJ	200,87	52.257	260,15	18.799,04
Paraibuna-SP	809,58	18.145	22,41	15.336,37
Pindamonhangaba - SP	730,00	16.152	22,13	51.761,18
Pinheiral - RJ	82,25	25.156	305,85	21.732,84
Piquete-SP	176,00	13.683	77,74	11.973,44
Piraí - RJ	490,26	29.277	59,72	63.885,00
Porto Real - RJ	50,89	19.683	386,78	147.371,58
Potim-SP	44,47	20.568	462,51	9.005,43
Quatis-RJ	284,83	14.302	50,21	18.706,57
Queimados-RJ	75,93	150.319	1979,70	24.050,05
Queluz - SP	249,40	12.523	50,21	25.423,85
Redenção da Serra -SP	309,44	3.839	12,41	13.767,32

Tabela 03 – Características socioeconômicas das cidades influenciadas pela Rodovia Presidente Dutra (BR-116) no eixo Rio - São Paulo no ano de 2019 (conclusão)

Cidades	Área territorial [km ²]	População [hab.]	Densidade demográfica hab. km ⁻²	PIB <i>per capita</i> [R\$]
Resende - RJ	1.099,34	131.341	119,47	64.649,16
Rio Claro-SP	1.345,22	199.765	148,50	47.851,56
Rio de Janeiro - RJ	1.200,33	6.718.903	5597,55	54.426,08
Roseira - SP	130,65	10.540	81,45	27.647,35
Santa Branca-SP	272,24	14.138	52,08	16.610,52
Santa Isabel - SP	363,33	54.637	152,58	27.752,63
Santo Antônio do Pinhal-SP	133,01	6.612	49,83	16.258,73
São Bento do Sapucaí-SP	252,58	10.520	41,69	18.725,82
São João do Meriti - RJ	35,22	472.406	13428,73	19.726,47
São José do Barreiro-SP	570,69	4.069	7,13	12.761,63
São José dos Campos - SP	1.099,41	702.866	646,40	55.603,18
São Luiz do Paraitinga-SP	617,32	10.549	17,12	15.394,97
São Paulo-SP	1.521,11	11.811.516		58.691,90
São Sebastião-SP	402,40	85.843	216,54	43.173,65
Silveiras - SP	414,78	6.162	14,96	11.685,72
Taubaté - SP	625,00	304.596	491,78	55.369,58
Tremembé-SP	191,09	45.519	240,61	16.194,84
Ubatuba-SP	708,11	87.887	125,57	23.826,80
Volta Redonda - RJ	182,11	273.012	1499,20	50.606,58

Fonte: Adaptada de IBGE (2019) e Seade (2019).

A população beneficiada pela existência da Rodovia Presidente Dutra, conta com as cidades que são atravessadas pela rodovia; com as cidades que fazem parte da região do Vale do Paraíba e são diretamente impactadas pela rodovia; somada a das capitais São Paulo e Rio de Janeiro, que no ano de 2019 totalizou 25.452.369 habitantes, com um PIB total de R\$1.328.862.337.757,63 (Tabela 04).

Tabela 04 – Caracterização socioeconômica da área de estudo que compreende o eixo Rio - São Paulo.

Parâmetros	Dados Socioeconômicos
Número total de habitantes	25.542.369, habitantes
Área territorial total	24.099,58 km ²
Densidade demográfica	1.060 hab./km ²
PIB total	R\$ 1.328.862.337.757,63

Fonte: Adaptada de IBGE (2019) e Seade (2019).

Considerando que o Brasil apresenta uma área de 8.510.295,91 km² e 210.147.125 habitantes (IBGE, 2019) o número de habitantes da região do eixo São Paulo-Rio de Janeiro,

somada ao das duas capitais, corresponde à 12,15% da população brasileira, que ocupa 0,29% do território nacional.

As atividades econômicas desenvolvidas na Região do Vale do Paraíba são diversas, destacando-se as indústrias automobilística, aeroespacial e bélica, que são desenvolvidas por municípios que compõem a região de entorno da Rodovia Presidente Dutra entre São Paulo e Rio de Janeiro. O turismo também se apresenta como uma atividade importante, principalmente na Região da Serra da Mantiqueira e no Litoral Norte, também havendo o turismo religioso, em cidades como Aparecida, Cachoeira Paulista e Guaratinguetá. A agropecuária é outra atividade que merece destaque, permitindo que o Vale do Paraíba fosse caracterizado como bacia leiteira, além da agricultura familiar que também contribui com o PIB destes municípios (ABREU, 2015).

4.1.2. Bioma e clima da região estudada

O clima subtropical predomina na região, caracterizando-se por verões chuvosos e invernos secos, com temperatura média de 21°C ao ano. O Vale do Paraíba é cercado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira, ocorrendo um alto índice pluviométrico (BROMANA; AZEVEDO, 2019).

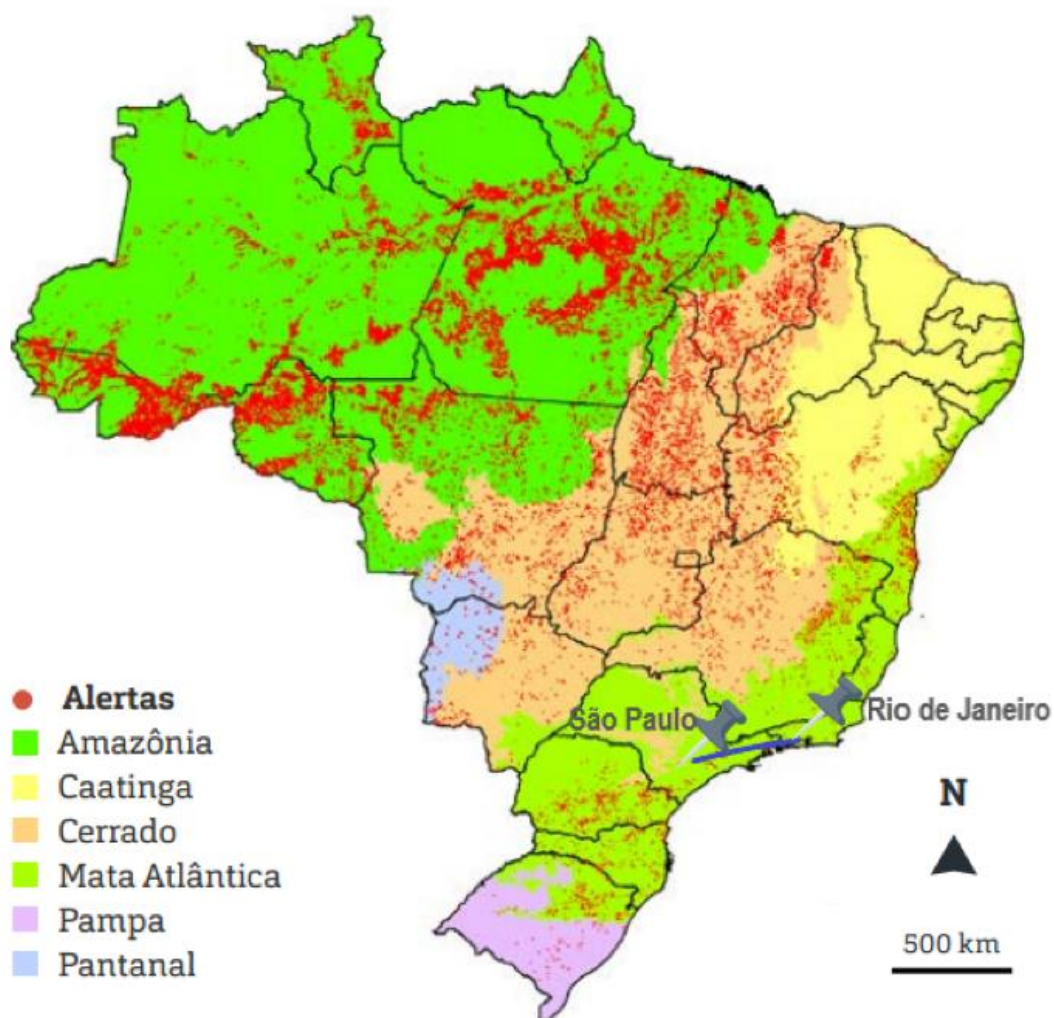
No eixo Rio de Janeiro-São Paulo ocorre o bioma de Mata Atlântica, como é possível observar na Figura 05. Atualmente, o bioma de Mata Atlântica está reduzido a 8% da cobertura vegetal que existia na época em que os portugueses chegaram ao Brasil (CEIVAP, 2019). Os mais expressivos remanescentes deste bioma se localizam na Serra do Mar e da Mantiqueira, que por serem de difícil acesso possuem menor desmatamento.

Neste mesmo mapa, Figura 05, é possível observar que neste eixo também existem algumas regiões no estado de São Paulo que existe o cerrado. O cerrado é o segundo bioma da América do Sul, sendo este caracterizado por locais de savana. Ambos os biomas, Cerrado e Mata Atlântica, em conjunto, corresponderam a 96% dos alertas e 96,7% da área total desmatada em 2019, segundo o Relatório Anual de Desmatamento (MAPBIOMAS, 2019).

Quanto à vegetação de cobertura, as florestas que predominavam no eixo Rio de Janeiro-São Paulo perderam uma grande quantidade de sua biodiversidade e os recursos hídricos recebem constantemente diferentes fontes de poluentes. A vegetação de cobertura da

região é representada, predominantemente, por campos e pastagens, florestas e fragmentos florestais e áreas agrícolas (CEIVAP, 2019).

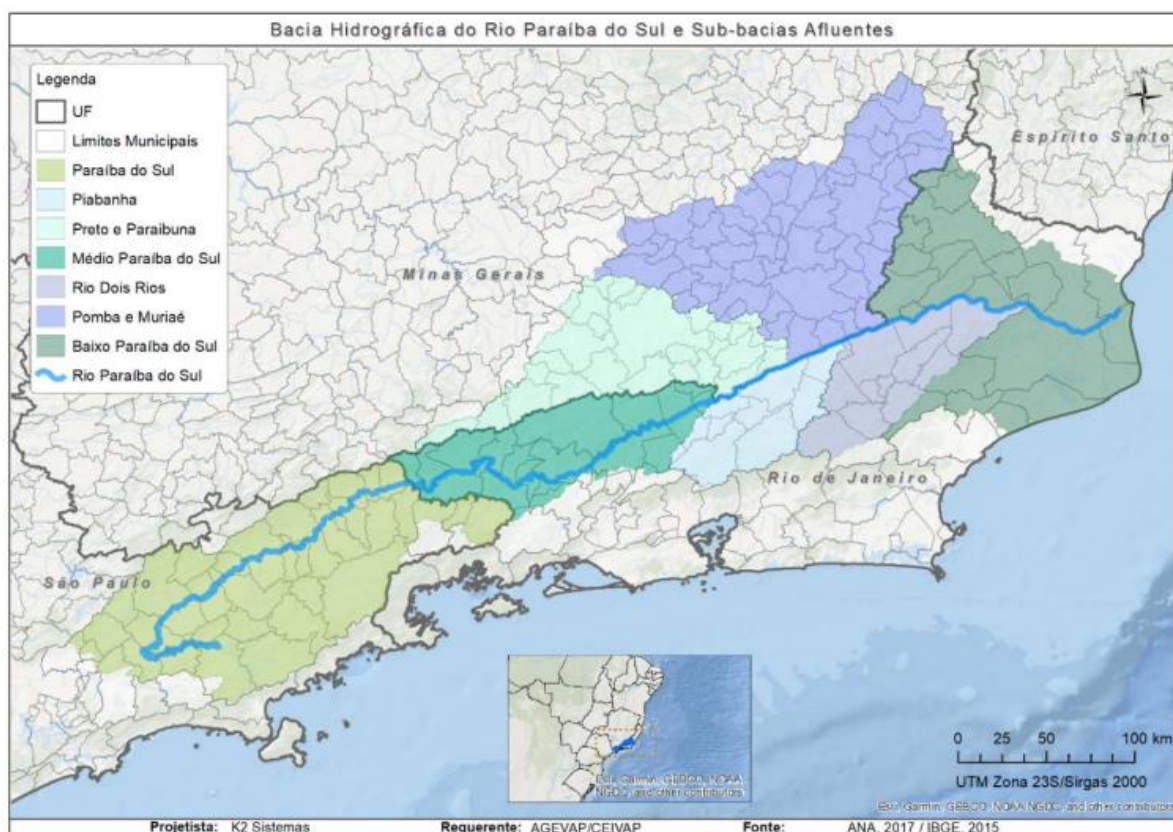
Figura 05 – Bioma de Mata Atlântica no Eixo Rio – São Paulo.



Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2019).

Em relação aos recursos hídricos, a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul está localizada entre as Serras da Mantiqueira e do Mar, região onde ocorre a conexão entre os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, como pode ser observado na Figura 06. O Rio Paraíba do Sul possui declividades e sinuosidades diferentes em seu caminho interestadual. Neste trajeto, a partir de Jacareí, o rio abandona os terrenos cristalinos e meandra em extensa planície sobre os sedimentos da Bacia de Taubaté (CEIVAP, 2019).

Figura 06 – Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e sub-bacias afluentes

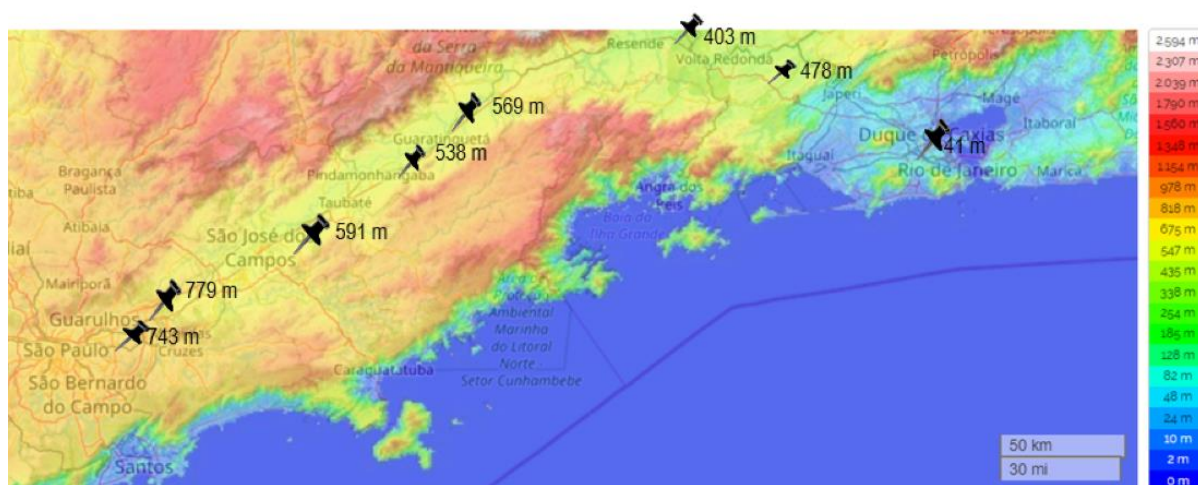


Fonte: CEIVAP (2019).

4.1.3. Topografia

Na avaliação do potencial de implantação de um monotrilha é necessário conhecer a topografia da região. No caso do eixo Rio-São Paulo, é preciso considerar a topografia da região do Vale do Paraíba, que integra o Planalto Atlântico, sendo uma depressão de origem tectônica com declividade variável (IBGE, 2009). No levantamento altimétrico da região, foi utilizada a plataforma Topographic (2020), considerando os trechos da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, como é apresentado na Figura 08.

Figura 07 - Mapa altimétrico do trecho da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), entre São Paulo e Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Topographic (2020).

De acordo com a Figura 07 é possível observar que as cidades de São Paulo e Guarulhos apresentam níveis altimétricos muito próximos, de 743 e 779 metros, respectivamente. Estas cidades possuem altitudes mais elevadas em relação às cidades da Região do Vale do Paraíba, como São José dos Campos e Pindamonhangaba, que apresentam níveis altimétricos de, aproximadamente, 591 e 590 metros. Existe uma depressão no relevo entre as cidades de São José dos Campos (591 metros) e Taubaté (588 metros) e, a partir desta cidade, o trecho permanece predominantemente plano. No trajeto entre as cidades de Resende até Rio de Janeiro ocorre uma depressão acentuada, variando de 403 metros até aproximadamente zero, no Rio de Janeiro, que se encontra próxima do nível do mar.

4.1.4. Faixa de Servidão da Rodovia Presidente Dutra

A Rodovia Presidente Dutra apresenta uma faixa de servidão em toda a sua extensão, que corresponde a um agrupamento de áreas públicas e pertencentes à rodovia, utilizada para manutenção e construção de postos de serviço, pistas de acostamento, rolamento, canteiro central e também como pontos de escape. Na BR 116-RJ/SP a faixa de domínio apresenta uma largura média, em função do trecho, sendo de 80 metros do km 231,6 ao km 88; de 80 a 60 metros do km 88 ao km 207; e de 60 metros do km 207 ao km 163. Como o monotrilho apresenta 3 metros de largura poderá ser inserido nesta área de servidão (ANTT, 2019)

Embora a faixa de servidão pertença à rodovia, poderá ser outorgada para uso de terceiros, desde que sejam atendidas as restrições dos órgãos reguladores. Em São Paulo as faixas de domínio das rodovias são regulamentadas pelo Departamento de Estradas de Rodagem, que na Portaria SUP/DER-050/2009 autoriza o uso da Faixa de domínio de estradas e rodovias integrantes da malha rodoviária do DER, para implantação e utilização de dispositivos destinados a serviços de terceiros, públicos ou particulares, desde que haja remuneração pelo uso (SÃO PAULO, 2009). No estado do Rio de Janeiro as faixas de domínio das estradas de rodagem são regulamentadas pelo Regimento Interno do DER/RJ e deliberação de nº 34 de setembro de 1991 do DER/RJ (RIO DE JANEIRO, 1991). De acordo com as informações do Relatório Anual de Atividades da ANTT para o ano 2019, este procedimento de ocupação de faixas de domínio ocorre normalmente e, dessa forma, o monotrilho poderá ser implantado sem problemas (ANTT, 2019).

4.2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E APPs DA REGIÃO ESTUDADA

A Lei nº 12.651, também conhecida como Novo Código Florestal, estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa, incluindo áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito. Esta lei também normatiza a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais bem como o controle e prevenção dos incêndios florestais, além de prever instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos (BRASIL, 2012). O Novo Código Florestal determina os órgãos federais responsáveis por garantir o cumprimento de suas cláusulas, sendo estes, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

De acordo com a definição da Lei nº 12.651, uma área de preservação permanente (APP) é uma área protegida sendo esta coberta ou não por vegetação nativa com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, a fim de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. No eixo Rio - São Paulo ainda são encontrados remanescentes do bioma de Mata Atlântica que precisam ser preservados (BRASIL, 2012). Nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo existem APPs hídricas e de encosta que correspondem à área hachurada no mapa apresentado na Figura 08.

Figura 08 – Áreas de Preservação Permanente próximo ao eixo Rio-São Paulo, ao longo da Rodovia Presidente Dutra (BR-116)



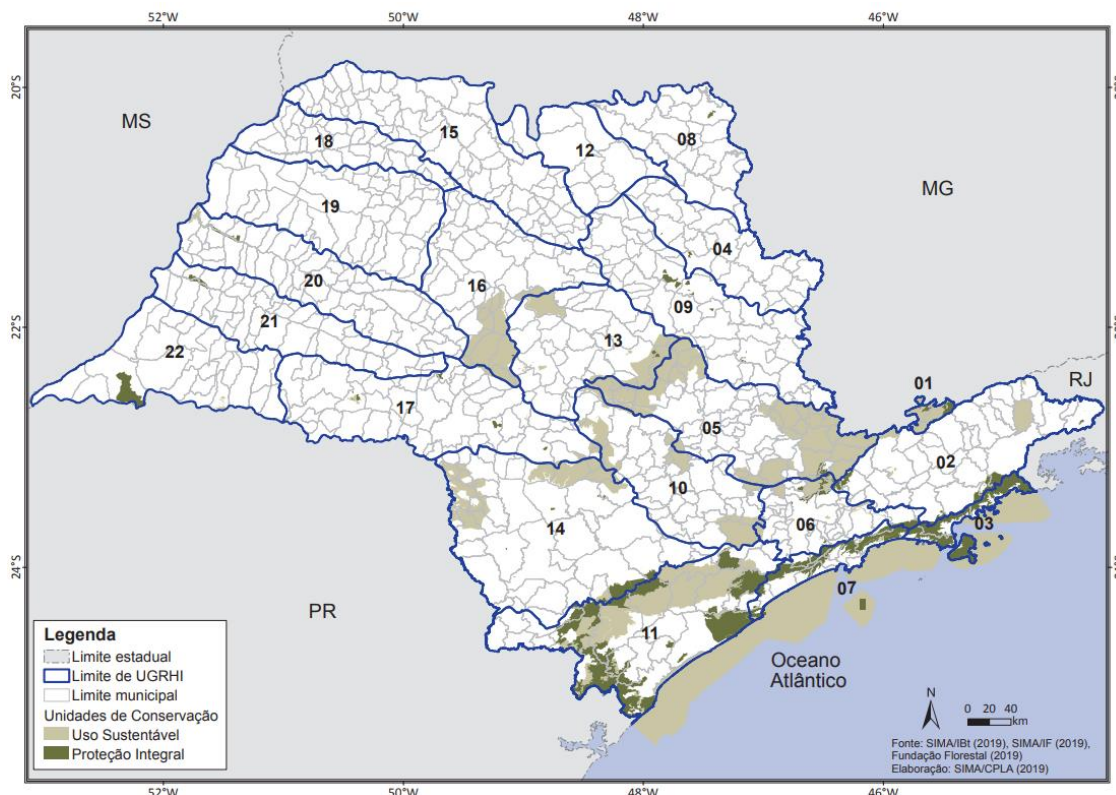
Fonte: Google Earth (2021).

Como pode ser observado na Figura 08, existe cobertura vegetal ao longo de todo o eixo Rio-São Paulo que, de acordo com a legislação vigente, são áreas caracterizadas como Unidades de Proteção Integral, que têm como objetivo básico a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais (Figura 09).

As diretrizes para a criação e para obtenção de permissão para utilização dessas áreas são estabelecidas pela Lei 6.902 de 1981. Além das Unidades de Proteção Integral, no mapa apresentado na Figura 09 podem ser observadas as Unidades de Uso Sustentável, que são áreas que permitem o consumo sustentável de parte dos recursos naturais (BRASIL, 1981).

A Lei 12.651 também estabelece diretrizes para a preservação da vegetação nativa nas margens dos recursos hídricos, com o estabelecimento de faixas de preservação delimitadas a partir da borda da calha do leito regular dos cursos d'água (BRASIL, 2012). Como pode ser observado na Figura 06 deste estudo, o Rio Paraíba do Sul, no trecho entre Lavrinhas (SP) a Itatiaia (RJ), percorre bem próximo à Rodovia Presidente Dutra (BR-116) o que precisa ser observado na implantação do monotrilho, para que sejam respeitadas estas áreas de preservação ilustradas na Figura 09.

Figura 09 - Áreas de Proteção ambiental no eixo Rio de Janeiro – São Paulo



Fonte: Brasil (2019).

4.2.1 Poluentes atmosféricos

As mudanças climáticas são pauta de diversas convenções, tanto nacionais como internacionais. Um bom exemplo é a COP26 – Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, que em 2021, acontecerá entre setembro e novembro. A urgência e repetitividade deste tema acontece, pois, a cada ano, a temperatura terrestre se eleva em função do agravamento do aquecimento global. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) prevê um aumento de 2,5 a 10° F na temperatura da Terra ao longo do século XXI (IPCC, 2007).

Segundo a WWF, as principais sugestões para a redução dos gases do efeito estufa são o investimento em energias renováveis e redução do uso de combustíveis fósseis como gasolina e biodiesel (WWF, 2021). O Ministério do Meio Ambiente define os poluentes atmosféricos como gases e partículas sólidas oriundas de ações antrópicas e naturais (BRASIL, 2015). Entre as principais emissões destacam-se as originadas pelos meios de transportes, com os automóveis, trens e aviões. No Brasil a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi instituída pela Lei nº 12.187 (BRASIL, 2009), oficializando o compromisso do Brasil junto

à Convenção das Nações Unidas, de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esta lei busca garantir que o desenvolvimento econômico e social do país contribua para a proteção do sistema climático global, com menor impacto ao meio ambiente e, conseqüentemente, menor impacto na temperatura da Terra, pela diminuição de poluentes atmosféricos.

Os gases do efeito estufa são poluentes atmosféricos, como o dióxido de carbono, óxido nitroso, hidroclorofluorcarbonetos e hexafluoretos de enxofre, que apresentam tempo de vida e potencial de aquecimento global (GWP) diferentes, como pode ser observado na Tabela 05. O gás carbônico (CO₂) contribui massivamente para o aquecimento global em comparação com os outros gases e a principal fonte de emissão são os combustíveis fósseis e o desmatamento sendo o gás de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) (CETESB, 2021).

Estudos comprovam que o metano (CH₄) apresentou um aumento de 151% em relação ao período anterior à Revolução Industrial, em 1750 e que este gás absorve 21 vezes mais radiação infravermelha que o monóxido de carbono (CO), considerando um período de 100 anos. Desta forma, o impacto de algo realizado no ano de 2021, por exemplo, impactará daqui a 500 anos, justificando a importância deste tema e da melhoria dos atuais padrões de qualidade do ar.

A tabela 05 apresenta os principais gases relacionados ao GWP das emissões dos meios de transporte. Os valores do GWP são importantes para estimar o impacto dos veículos utilizados para transporte, considerando que quanto maior o valor do GWP, maior será o impacto no aquecimento global, utilizando como referência o gás carbônico (ALVES, 2017).

Tabela 05 – Valores de referência de GWP de gases do efeito estufa

Gases	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	GWP (no horizonte de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Metano	CH ₄	12±3	56	21	6.5
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	1
Óxido nitroso	N ₂ O	120	280	310	170

Fonte: CETESB (2019); ANAC (2019).

4.3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o estudo da emissão de gases e o impacto gerado por cada um deles se iniciou pela pesquisa sobre os modais que trafegaram no eixo Rio-São Paulo, o número de viagens e de pessoas transportadas. Este estudo utilizou como embasamento os anuários e relatórios específicos para cada meio de transporte.

Para a análise dos impactos socioeconômicos e ambientais foi realizada uma análise comparativa entre o monotrilho e os modais que trafegam o eixo Rio-São Paulo e que realizam o transporte de pessoas e pequenas cargas. As informações obtidas foram reunidas para o ano de 2019, que foi utilizado como referência, para que os dados pudessem ser analisados de forma individual, no decorrer dos doze meses do ano.

Para o transporte aéreo foi considerado o número de voos da ponte aérea São Paulo-Rio de Janeiro, por meio dos dados fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Nesta base existem inúmeras companhias e o critério de seleção teve como base a empresa com número majoritário de voos neste trecho. Após obter estas informações, foram pesquisados os relatórios da companhia que dispõe da maior frota dos modelos utilizados para voos domésticos, sendo selecionada a aeronave padrão para o estudo e análise das emissões atmosféricas. Para o cálculo das emissões atmosféricas foram consideradas as diretrizes estabelecidas pela ANAC, responsável pela definição do método *Tier*, indicador que mapeia as emissões, de modo a garantir maior precisão aos cálculos e consistência ao estudo.

O método Tier 1, utilizado neste estudo, é fundamentado em uma abordagem top-down, que considera apenas o consumo de combustível agregado da aviação civil, sem uma discriminação das emissões por fases de voo. Dessa forma, este método é utilizado nos casos onde não há informações disponíveis sobre as operações aéreas individuais, mas apenas em dados consolidados de consumo de combustível. Por este método é possível estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) diretos, como o CO₂, CH₄ e N₂O. Por este método, a emissão de cada gás poluente é encontrada em função do consumo de combustível multiplicado por fatores de emissão tabelados para cada uma das duas etapas do voo, o Ciclo LTO e cruzeiro, nomenclaturas mundialmente usadas.

O ciclo LTO é composto pela decolagem, taxiamento e pouso, que é basicamente o movimento de subida, descida e estabilização. Quando a aeronave alcança altitudes superiores a 914,4 metros ocorre a segunda fase, de Cruzeiro. A medição das emissões em cada fase é

realizada separadamente, sendo para o ciclo LTO usado o consumo médio em função do tipo de aeronave e na fase Cruzeiro considera-se também a distância percorrida. A metodologia aplicada e os valores de referência seguiram as diretrizes estabelecidas pela ANAC, para que fosse possível obter o consumo de querosene, por meio da interpolação de milhas náuticas para a distância do trecho.

Para o estudo do transporte rodoviário, considerou-se o número de veículos que trafegam o eixo Rio-São Paulo, fornecido pelo Relatório de Tráfego da Rodovia Presidente Dutra de 2018, neste relatório obtém-se o número de veículos pedagiados nas categorias: veículos leves, comerciais pesados e motos. Como o ano referência é 2019, realiza-se uma projeção conforme dados fornecidos pelo Relatório Anual da CCR Nova Dutra de 2019, obtendo-se assim o número de veículos totais por praça de pedágio. De maneira semelhante ao modal aéreo, por meio das categorias similares às estabelecidas pela Cetesb aplica-se os fatores de emissão. Para os veículos leves utilizou-se dados do Denatran para segregar a frota movida à gasolina, diesel e *flex* em 2019 (BRASIL, 2019). Para os veículos pesados estes dados foram obtidos nesta mesma base de dados que disponibiliza informações organizadas por estado e por tipo de veículo pesado. Por meio de um tratamento de dados foi obtida a porcentagem de caminhões e ônibus enquadrados na categoria de veículos pesados comerciais. Com esses dados foi possível estimar a emissão total, multiplicando o número de veículos pelo consumo de combustível usado. Para as motocicletas, verificou-se que mais de 60% da frota comercializada no atacado em 2019 corresponderam a modelos com até 150 cilindradas e motor *flex*, segundo o Anuário das Empresas Brasileiras Sobre Duas Rodas (ABRACICLIO, 2019).

O estudo de viabilidade de implantação de um monotrilho é amplo e envolve um conjunto de diferentes áreas, como viabilidade técnica, econômica e socioambiental. O modelo de monotrilho considerado neste estudo foi o da Empresa Bombardier, utilizando as especificações técnicas fornecidas pelo catálogo desta empresa para a análise comparativa dos impactos socioeconômicos e ambientais, em relação aos demais modais que trafegam normalmente no Eixo Rio-São Paulo. Com base na análise de viabilidade de 2019 identificou-se os principais motivos de deslocamento entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Essas informações, somadas a outras como, número de veículos, dados censitários da região, topografia, clima e emissões atmosféricas, permitiram a análise dos impactos socioeconômicos

e ambientais e da viabilidade da implantação de um monotrilho para o transporte público e de pequenas cargas no eixo Rio-São Paulo.

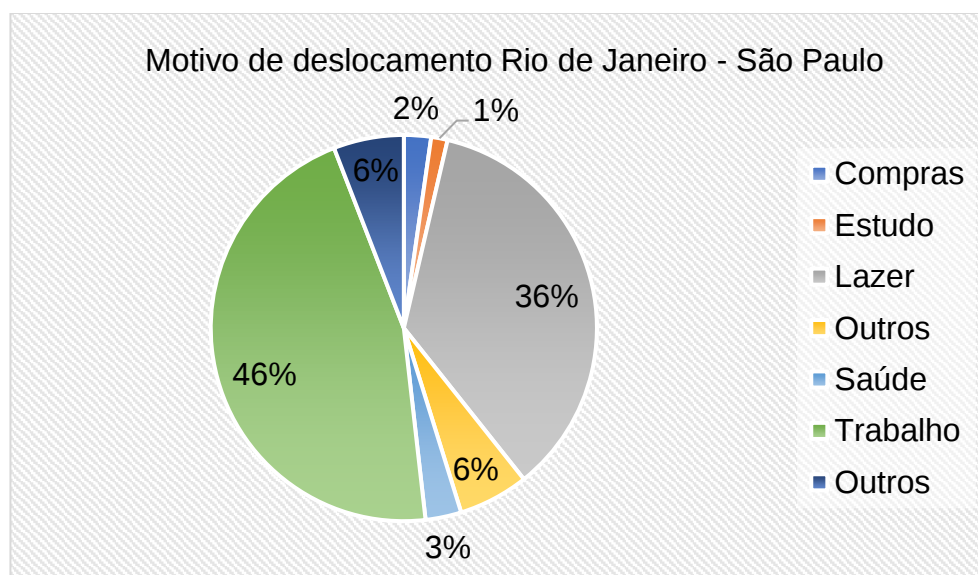
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DO MONOTRILHO

O eixo Rio de Janeiro-São Paulo envolve a região do Vale do Paraíba, que é um importante polo industrial brasileiro. Por isso, identificar o motivo de deslocamento da população entre estas duas capitais e cidades que pertencem a essa região, permite a análise da viabilidade da implantação de um monotrilho e de seus potenciais impactos socioeconômicos e ambientais.

Na Figura 10 são representados os principais motivos de deslocamento no eixo Rio-São Paulo pela Rodovia Presidente Dutra (BR-116). O principal motivo é o deslocamento imposto pelo trabalho, seguido da categoria ‘lazer’, que integra a somatória de motivos como compras, turismo e assuntos pessoais

Figura 10 – Principais motivos de deslocamento no eixo Rio-São Paulo



Fonte: adaptado de LOGIT (2019).

Nas notícias publicadas no ano de 2019, o transporte individual se destaca em relação aos demais, justificando os grandes congestionamentos nos horários de maior fluxo na rodovia Presidente Dutra, que compreendem os períodos entre seis e dez horas e dezesseis e dezoito

horas (LOGIT, 2019) De acordo com esses resultados, a implantação de um monotrilho poderia solucionar estes problemas e ainda incentivar a utilização de transporte público. É notório que o deslocamento populacional neste trecho é de grande impacto e quanto mais opções mais rápido e eficiente se torna o transporte.

Neste contexto, a implantação de um monotrilho no eixo Rio-São Paulo tem potencial para impactar positivamente os usuários das duas capitais e da região de entorno, bem como, turistas, além de gerar vários postos de trabalho. Além destes impactos positivos diretos na melhoria da qualidade do transporte dos usuários, esse investimento também se reverteria em impactos socioeconômicos relevantes para muitas cidades pequenas da região. Quanto aos potenciais impactos negativos desta obra é preciso considerar que projetos desta ordem de grandeza, geralmente, apresentam medidas compensatórias e de responsabilidade social e ambiental, possibilitando muitas vezes, a criação de programas de auxílio às comunidades locais.

Do ponto de vista econômico, verificou-se que a passagem para o deslocamento de avião entre São Paulo e Rio de Janeiro apresentou preço médio de R\$ 420,87, com tempo de viagem de cerca de uma hora (ANAC, 2019). Para a viagem de ônibus o tempo foi de 6 horas e 15 minutos, com um custo médio de R\$133,20 para passagem de assento semileito (KAISSARA, 2019). O modal rodoviário individual custa em torno de R\$150,00 de gasolina e R\$55,80, é o valor do pedágio totalizando R\$175,80 e apresenta um tempo médio de 5 horas e 20 minutos.

Tabela 06 – Comparação entre os meios de transporte do eixo Rio-São Paulo

Meio de transporte	Custo, R\$	Tempo, horas
Avião	R\$ 420,87	1:00
Carro particular	R\$ 175,80	6:15
Ônibus	R\$ 133,20	5:20

Fonte: Kaissara (2019); ANAC (2019).

Assim, o modelo de monotrilho considerado neste estudo tem potencial para realizar a viagem entre São Paulo e Rio de Janeiro em cerca de 90 minutos, tempo estabelecido pelo Projeto do Trem de Alta Velocidade, se apresentando, portanto, com um modal com um custo entre o do carro e do avião, e que resulta em economia de tempo e comodidade aos usuários.

Para a análise do custo de implantação do monotrilho foram considerados os valores obtidos em estudos de caso e projetos de diferentes países, incluindo o Brasil, em que o valor calculado se refere ao trecho de 442 km do atual estudo (Tabela 07).

Tabela 07– Custo de implantação de monotrilho em diferentes países e para a linha 15, no eixo Rio – São Paulo.

Referência	Custo [R\$ milhões/km]	Dados	Custo Total [R\$ bilhões]
Oliveira et al. (2010)	207,40 a 362,90	Estudo	126
Medeiros (2012)	97,50	Estudo	43
Parekn et al. (2013)	82,20	Estudo	36
Linha 15 – Prata (Brasil) ¹	354,00	Projeto	157
Chonhqing - (China) 2005	325,00	Projeto	144
Naha (Japão) (2003) ²	477,10	Projeto	211
Kuala (Malásia) (2003) ²	414,00	Projeto	182
Egito (2021) ³	102,45	Projeto	45

*Os monotrilhos avaliados são majoritariamente da Empresa Bombardier, com exceção de Naha (Japão), em que o projeto do monotrilho foi realizado pela Hitach e; de Medeiros (2012), que não especificou o modelo.

Fonte: ²Kennedy (2003), Oliveira et al. (2010), Medeiros (2012), Perekn et al. (2013), Garcia (2014), ¹Giancola et al. (2016), ³UK Export Finances (2021).

De acordo com estes dados, verificou-se que o custo de implantação de um monotrilho variou de R\$82,20 milhões até R\$477,00 milhões por quilômetro. O projeto de investimento mais recente é o do monotrilho do Egito, que também será realizado pela empresa Bombardier e cobrirá uma longa extensão (duas linhas de 96 km) e será instalado em área com relevo semelhante ao do trecho Rio-São Paulo, e o custo aproximado do monotrilho foi de R\$ 45 bilhões de reais.

A vida útil do monotrilho é de 30 anos e como o modelo a ser implantado não usará pneus, será possível obter redução de até um terço do custo de manutenção do mecanismo de rolamento, sendo essa uma das vantagens deste modal.

Ao analisar o cenário do ano de 2019, a Concessionária Nova Dutra investiu aproximadamente R\$183 milhões de reais em manutenção e melhoria da Rodovia Presidente Dutra, sendo R\$125,44 milhões utilizados para a recuperação do pavimento asfáltico e da sinalização (BRASIL, 2019). Como esta rodovia foi construída em um período em que a moeda era o cruzeiro, para fins de comparação foi utilizado o valor do leilão denominado Via Dutra para concessão atual com previsão de R\$ 15 bilhões em investimentos para melhorias, como o aumento do número de faixas (BRASIL, 2021).

De acordo com os estudos realizados pela BCA (2002), que teve como base o monotrilho de Seattle, a taxa de retorno do investimento no monotrilho seria de 9,9% para os anos de 2003 a 2050, assim o tempo de retorno de 11 anos. Como no atual estudo utilizou-se o ano de 2019 como referência, verificou-se que, de acordo com a Resolução nº 5.850/2019, a taxa de retorno de rodovias seria de 7,2% considerando estudos de viabilidade (BRASIL, 2018)

A rodovia Presidente Dutra apresenta um custo de manutenção muito mais elevado que o do monotrilho e a taxa de retorno do investimento é menor que a do monotrilho. Embora o monotrilho apresente inúmeras vantagens socioambientais, o investimento inicial é muito elevado, o que não o torna competitivo, se comparado aos modais rodoviários e aéreos que trafegam no eixo Rio-São Paulo.

5.2. MODAL RODOVIÁRIO

O transporte rodoviário merece destaque no cenário brasileiro, entretanto, essa modalidade resulta em grande prejuízo ambiental por depender de derivados de petróleo, que são combustíveis fósseis responsáveis pela emissão de muitos poluentes atmosféricos, que geram impactos negativos para o ambiente e para a qualidade de vida da população.

A pesquisa em bases de dados como, por exemplo, Google Scholar e Research Gate, resultaram em grande número de artigos relacionados aos impactos negativos da utilização do modal rodoviário. Entre os principais impactos destacam-se a aumento no tempo de deslocamento e de consumo de combustíveis fósseis, redução da produtividade dos trabalhadores, aumento de conflitos sociais, redução na qualidade do ar e aumento do nível de ruído (POLETTE; TISCHER, 2020).

Para a obtenção do número de veículos pedagiados no sentido bidirecional (Tabela 08) na Rodovia Presidente Dutra (BR-116) utilizou-se dados disponibilizados pelo Relatório de Tráfego publicado em 2019 (LOGIT, 2019), que apresenta valores do volume diário médio por praça de pedágio para o ano de 2018. Conforme manual do DNIT para obter o volume total anual é só multiplicar o volume diário médio por 365 (total de dias no ano) (BRASIL, 2006).

Como o ano utilizado como referência foi 2019, realizou-se uma projeção do número de veículos para o ano de 2019 por meio de dados do aumento de volume diário médio fornecidos pela CCR Nova Dutra de 2018 para 2019 publicado no Diário Oficial em março de 2020, obtendo-se assim os dados fornecidos na tabela 07 (BRASIL, 2020).

Tabela 08 - Número de veículos pedagiados no sentido bidirecional da Rodovia Presidente Dutra (BR-116) em 2019

Praças de pedágio	Automóveis pedagiados na Rodovia Presidente Dutra			
	Motos	Comerciais pesados	Comerciais leves	Automóveis
P1 - Km 204 (Arujá)	774.616	1.069.542	2.444.834	15.610.989
P2 - Km 182 (Guararema)	299.178	280.238	730.055	6.091.019
P3 - Km 165 (Jacareí)	370.301	3.111.220	2.939.212	13.785.384
P4 - Km 123 (Caçapava)	240.811	2.347.814	2.341.629	7.644.503
P5 - Km 87 (Pindamonhangaba)	119.439	1.787.338	1.676.016	3.781.858
P6 - Km 18 (Lavrinhas)	120.599	1.123.271	1.313.059	5.007.561
P7 - Km 318 (Itatiaia)	147.656	2.187.788	1.781.926	4.719.979
P8 - Km 257 (Volta Redonda)	140.699	1.263.583	1.456.850	5.676.266
P9 - Km 207 (Viúva da Graça)	296.086	2.147.202	3.188.527	15.369.405

Fonte: LOGIT (2019), BRASIL (2020).

Como pode ser observado na Tabela 07, o trecho de maior tráfego é o de Viúva da Graça com cerca de 18 milhões de veículos, somando-se todas as categorias. Outro ponto com elevado tráfego é Arujá, com um número de automóveis próximo a 17,05 milhões, devido ao fato de ser o primeiro ponto na rodovia saindo de São Paulo. Os veículos comerciais trafegam em maior proporção que os demais tipos de veículos nos trechos entre Caçapava, Volta Redonda e Guararema que são cidades com maior fluxo de trabalhadores.

Os fatores de emissão são valores representativos que estimam o quanto um determinado poluente é emitido quando associado a um combustível ou a uma atividade. Estes fatores são, em geral, fornecidos por órgãos governamentais como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, usado como referência neste trabalho. Os fatores de emissão utilizados no presente estudo para os cálculos de emissão atmosférica são apresentados na Tabela 08.

Tabela 09 – Fatores de emissões atmosféricas aplicados a veículos rodoviários

Categoria		CO	Total HC	NMHC	CH ₄	NO _x	MP	CO ₂	N ₂ O
		----- [g/km] -----							
Veículos leves	Gasolina	0,166	0,014	0,011	0,003	0,014	0,0010	184	0,020
	Flex-Gasol.	0,275	0,024	0,020	0,004	0,011	0,0010	152	0,018
	Flex-Etanol	0,339	0,069	0,45	0,023	0,010	-	146	0,017
Veículos comerciais leves	Gasolina	0,116	0,010	0,008	0,003	0,070	0,001	163	0,022
	Flex-Gasol.	0,208	0,019	0,016	0,005	0,016	0,001	193	0,024
	Flex-Etanol	0,301	0,059	0,037	0,015	0,014	-	197	0,017
	Diesel	0,035	0,020	0,008	0,010	0,248	0,014	236	0,020
Ônibus rodoviário		0,434	0,023	-	0,06	2,310	0,023	-	0,030
Micro-ônibus		0,154	0,008	-	0,06	1,472	0,0008	-	0,030
Motocicleta e similares Flex-gasolina (≤150 cc)		0,834	0,123	0,093	0,031	0,029	0,035	49	-

Fonte: Adaptada de Cetesb (2019).

Em relação ao tipo de motor dos veículos comerciais leves e automóveis, que trafegaram o eixo Rio-São Paulo em 2019, 30,31% foram movidos à gasolina; 37,67% corresponderam à modalidade *flex* e 19,96% fizeram uso de etanol (SÃO PAULO, 2019). Para os veículos pesados, foi considerado o levantamento do IBGE para a obtenção da frota do Rio de Janeiro e São Paulo, considerando nessa categoria (veículos pesados) somente os ônibus, que representam um percentual de 13,47% do total (LOGIT, 2019).

De acordo com o Anuário das Empresas Brasileiras sobre Duas Rodas (ABRACICLO, 2019), verificou-se que mais de 60% da frota comercializada de motocicletas, no atacado e no varejo, no ano de 2019 corresponderam à modalidade *flex*, mas que fazem uso de gasolina, e com cilindradas menor ou igual a 150, modelo que foi utilizado como padrão neste estudo.

Quanto aos veículos pesados, foram considerados os dados fornecidos pelo IBGE, que permitiram identificar a porcentagem de ônibus rodoviários entre os veículos pesados, que trafegaram na Rodovia Presidente Dutra no ano de 2019. Considerando o número de veículos pedagiados no sentido bidirecional da Rodovia Presidente Dutra (Tabela 08), as emissões gasosas destes veículos rodoviários (Tabela 09) e a distância (em quilômetros) de cada uma das praças de pedágio foram estimadas as emissões totais dos poluentes atmosféricos geradas pelos veículos que trafegaram na Rodovia Presidente Dutra no ano de 2019 (Tabela 10).

Tabela 10 – Emissões gasosas totais dos veículos que trafegaram na Rodovia Presidente Dutra em 2019

Praças de Pedágio	CO	Total HC	CH ₄	NOx	MP	CO ₂	N ₂ O
	----- Kg -----						
P1	136.221,94	20.687,27	1.183,00	35.067,53	1.758,35	114.960.252,66	13.717,49
P2	29.066,49	3.142,29	237,49	7.003,77	375,58	24.536.207,12	2.918,02
P3	52.874,05	5.944,60	603,73	21.520,46	571,34	46.186.088,97	5.672,44
P4	73.505,62	8.143,12	1.002,99	33.471,88	845,58	63.295.704,53	7.848,89
P5	41.607,71	4.564,66	711,58	22.945,84	494,98	35.462.007,16	4.480,28
P6	80.227,22	9.118,31	859,40	32.226,20	822,84	70.793.951,85	8.683,78
P7	46.034,70	5.030,03	807,20	25.740,13	556,48	39.084.833,43	4.946,17
P8	80.193,11	9.097,40	863,26	32.106,79	830,30	70.642.129,15	8.663,37
P9	167.112,54	19.399,43	1.282,20	56.530,64	1.540,67	150.508.383,66	18.237,31
TOTAL	706.843,38	85.127,09	7.550,85	266.613,24	7.796,11	615.469.558,53	75.167,74

Fonte: Adaptada de ANTT (2019), Cetesb (2019), Abraciclo (2019), São Paulo (2019).

Em todos os modais, o poluente mais emitido é o dióxido de carbono (CO₂), seguido do monóxido de carbono (CO), responsável pela fadiga, dor no peito e que, mesmo em baixas concentrações, pode causar asfixia e a morte (CETESB, 2019). Tanto o estado do Rio de

Janeiro como de São Paulo, a partir de 2019 usa os padrões estabelecidos pelo Conama nº 491 para classificar a qualidade do ar (Tabela 11), assim emissões superiores as estabelecidas oferecem riscos para a saúde da população.

Tabela 11 – Concentração dos poluentes a fim de classificar a qualidade do ar segundo o Conama nº 491

Categoria	MP	NO ₂	CO
	10 ⁻³ g m ⁻³		
Boa	0 - 50	0 - 200	0 - 10.000
Moderada	>50 - 120	>200 - 240	>10.000 - 13.000
Ruim	>120 - 250	>240 - 320	>13.000 - 15.000
Muito Ruim	>150 - 250	>320 - 1.130	>15.000 - 17.000
Péssima	>250	>1.300	>17.000

Fonte: BRASIL (2018).

Na Tabela 11, para garantir um controle da qualidade seguro existe um período de tempo de mensuração de cada um dos poluentes, sendo o material particulado (MP) medido a cada 24 horas e a partir da quantidade de poluentes o governo de cada um dos municípios divulgam em seus sites oficiais à Cetesb (SP) e ao MonitorAR Rio (RJ). Para o dióxido de nitrogênio (NO₂) é medido a cada 8 horas e o monóxido de carbono a cada hora. Ao analisar a emissão dos gases apresentados na Tabela 09, observou-se que o modal rodoviário contribui significativamente para a diminuição da qualidade do ar e quando a qualidade do ar está ruim a população apresenta diversos sintomas como tosse seca, ardência nos olhos e nariz, além de cansaço (CONAMA, 2018). Assim, para evitar que a qualidade do ar fique ruim e haja uma diminuição nas emissões foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve).

O Proconve tem como objetivo reduzir as emissões de poluentes por veículos novos, promover a atualização tecnológica da indústria automobilística e estabelecer mecanismos de controle baseados em parâmetros e critérios de qualidade ambiental já adotados pela legislação dos Estados Unidos. A partir de dezembro de 2018, a Resolução nº 492 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, passou a estabelecer as fases Proconve L7 e L8 que estabelece os limites máximos de emissão para os veículos automotivos novos. Neste estudo foram consideradas as emissões estabelecidas pela Proconve L7 que era a fase vigente em 2019 (Tabela 12).

Tabela 12 – Limites máximos de emissão de poluentes para veículos da Fase Proconve L7

Categoria	Nox	MP	CO	Total HC
	g kg ⁻¹			
Leve passageiro	80	80	1000	15
Leve comercial	140	140	-	-

Fonte: CONAMA (2018)

5.3. MODAL AÉREO

Para o modal aéreo existem três rotas que estão descritas na Tabela 01, que conectam os aeroportos Internacional de Guarulhos (SP), de Congonhas (SP), de Santos Dummont (RJ) e São Galeão (RJ), segundo a ANAC para os anos de 2019. Estas rotas apresentam elevado transporte de cargas leves e passageiros. De acordo com a base de dados da ANAC, em 2019, semanalmente ocorreram cerca de 856 voos diretos entre estas duas capitais, sendo as principais companhias que atuam nestas linhas, a LATAM Airlines, Azul e Gol. Segundo o Portal da Infraero a LATAM é a responsável pela maior quantidade de passageiros transportados (INFRAERO, 2019).

Como a empresa LATAM foi a mais atuante nesta ponte aérea em 2019, apresentando a maior frota de aviões para estes voos domésticos, foi utilizada como padrão neste estudo, a aeronave A320, fabricada pela Airbus com motor de V2500-A5 e com capacidade de 174 passageiros e transporte de até 89 toneladas. As rotas desta aeronave, a capacidade de passageiros e de carga, e o número de voos necessários para atender esta demanda no ano de 2019, são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Rotas aéreas entre São Paulo e Rio de Janeiro em 2019

Rotas selecionada	Passageiros transportados	Quantidade de carga transportada, [kg]	Nº de voos no trecho
Aeroporto Santos Dumont (RJ) / Congonhas (SP).	4.060.240	29.675.120	23.668
Aeroporto Galeão (RJ) / Guarulhos (SP)	1.124.847	6.631.823	6.540
Aeroporto Galeão (RJ) / Congonhas (SP)	979.605	2.922.434	5.663
TOTAL	6.164.692	39.229.377	35.871

Fonte: Adaptada de ANAC (2019) e Latam (2019)

O consumo de querosene de aviação (QAV) por essa aeronave no ciclo LTO é de 770kg de QAV/LTO/voo. Na fase cruzeiro foi utilizada a tabela da Agência Nacional da Aviação Civil considerando o tipo de aeronave e combustível e a distância percorrida no eixo Rio de

Janeiro a São Paulo de 357,48 km (193,02 milhas náuticas), resultando no consumo de 1460,00 kg de QAV/voo. Com os dados de número de voos, consumo de combustível e os fatores de cada gás poluente, foi possível estimar as emissões atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), de óxidos nitrosos (NO_x) como o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), de dióxido de enxofre (SO₂) e de monóxido de carbono (CO), geradas pela combustão do QAV utilizado e com a multiplicação pelo número de voos foram obtidas as emissões totais deste modal (Tabela 14).

Tabela 14 – Emissão de poluentes totais no eixo RJ – SP (A320) para o ano de 2019

Gases	Fator de emissão g/kg de combustível/voo		Emissões totais no eixo Rio de Janeiro – São Paulo, kg
	Ciclo LTO	Cruzeiro	
CO	5,40	8,04	172.343,34
CO ₂	3.155,0	3.155,00	80.914.171,65
NO _x	16,70	11,70	365.331,97
SO ₂	0,80	1,00	23.081,70

Fonte: Adaptada de ANAC (2019).

Com base nestes resultados verificou-se que o poluente mais emitido foi o dióxido de carbono (C₂O), principal gás de efeito estufa, seguido dos óxidos nitrosos, que junto com o dióxido de enxofre causam a chuva ácida, que afeta a qualidade das águas de rios e lagos, destrói edificações e monumentos e reduz a visibilidade. Também foi observada a emissão de grandes quantidades de monóxido de carbono (CO), gás tóxico, que é emitido pela combustão incompleta de combustíveis que possuem fósseis, que em caso de inalação, pode causar intoxicação por asfixia química em pouco tempo de exposição (CETESB, 2019).

Além destes gases, os aviões também emitem vapor d'água, que impede a emissão da energia absorvida pela Terra para o espaço e acaba por manter esse vapor quente em superfície, elevando a temperatura terrestre, resultando em maiores amplitudes térmicas. No ano de 2019, considerando o fator de emissão d'água de 1237 g/kg de combustível/voo e o número de voos realizados, foi estimada a emissão de cerca de 31.724,51 toneladas de vapor d'água.

5.4 MODAL FERROVIÁRIO

A antiga Central do Brasil, que mantinha a ferrovia ligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, foi privatizada em 1996, com uma malha de 1674 km coberta pela MRS Logística. Nos primeiros anos de administração privada, as ferrovias de São Paulo já

apresentavam um péssimo estado de conservação e como a especialidade dessa empresa era o transporte de cargas, esta malha se tornou exclusiva para este fim (GILANI, 2001). Atualmente, a empresa MRS mantém este transporte de cargas e atua com cerca de 22% da movimentação concentrada na região do Vale do Paraíba. Como as cargas transportadas por esta ferrovia são, geralmente, pesadas, não existe possibilidade de transferência destas cargas para o monotrilho. Portanto, o transporte ferroviário neste eixo não sofrerá influência da implantação do monotrilho.

5.5. EMISSÕES TOTAIS DE TODOS OS MODAIS

Ao realizar o somatório das emissões geradas pelos modais aéreo e rodoviário, verificou-se que a emissão de dióxido de carbono é muito maior que os demais gases, seguido pelo óxido nitroso (Tabela 15).

Tabela 15 - Emissões atmosféricas de todos os modais que trafegaram no eixo Rio-São Paulo no ano de 2019

Gases	Emissões totais [toneladas]
CH ₄	7,55
MP	8,83
N ₂ O	76,68
Total HC	86,64
NO _x	285,76
CO	881,84
CO ₂	714.254,79

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A contribuição dos modais que trafegam no eixo Rio-São Paulo para as emissões totais brasileiras de poluentes atmosféricos podem ser observadas na Tabela 16. Os resultados evidenciam a necessidade da implantação de um modal como o monotrilho movido à energia elétrica, para que o país consiga cumprir o compromisso de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, tendo em vista que os deslocamentos no eixo equivalem a 0,05% do total de CO₂ e 0,01% do total de NO_x emitidos pelo Brasil.

Tabela 16 – Emissões de poluentes atmosféricos no Brasil e geradas pelos modais que trafegaram o eixo São Paulo - Rio de Janeiro em 2019

Gases	Emissões totais brasileiras, toneladas	Emissões no eixo Rio – São Paulo Toneladas	Porcentagem das emissões totais
CO ₂	1.388.519.254	714.254,79	0,0514%
NO _x	2.766.581	285,76	0,0103%
CO	12.461.831	881,84	0,0071%
CH ₄	20.286.721	7,55	0,00004%
N ₂ O	710.775	76,68	0,01080%

Fonte: Adaptada de SEEG (2019).

5.6. MONOTRILHO

De acordo com as especificações do catálogo da empresa Bombardier, o monotrilho do modelo INNOVIA 300, selecionado para este estudo, apresenta velocidade de 200 km/h, capacidade para 103 passageiros em cada vagão, com peso médio 90 kg. Considerando que o monotrilho será composto por oito vagões, nas dimensões de 4,05m de altura x 3,15m de largura cada um, a capacidade total de transporte é de 824 pessoas por viagem (Figura 11). Essas dimensões do monotrilho permitem sua implantação na faixa de servidão da Rodovia Presidente Dutra, que apresenta largura média de 80 metros e gradientes topográficos de até 6,5%.

Figura 11 – Dimensões do modelo INNOVIA 300 da empresa Bombardier



Fonte: Bombardier (2020).

O monotrilho não apresenta emissões de poluentes atmosféricos, porque sua locomoção ocorre por indução magnética promovida por eletricidade. Além disso, como o projeto propõe a implantação do monotrilho na área de servidão da Rodovia Presidente Dutra, que já é utilizada para fins de transporte, não seriam gerados impactos negativos relacionados à desapropriação de áreas e à retirada da fauna e da flora, sendo uma alternativa de grande relevância socioeconômica e ambiental para a Região do Vale do Paraíba.

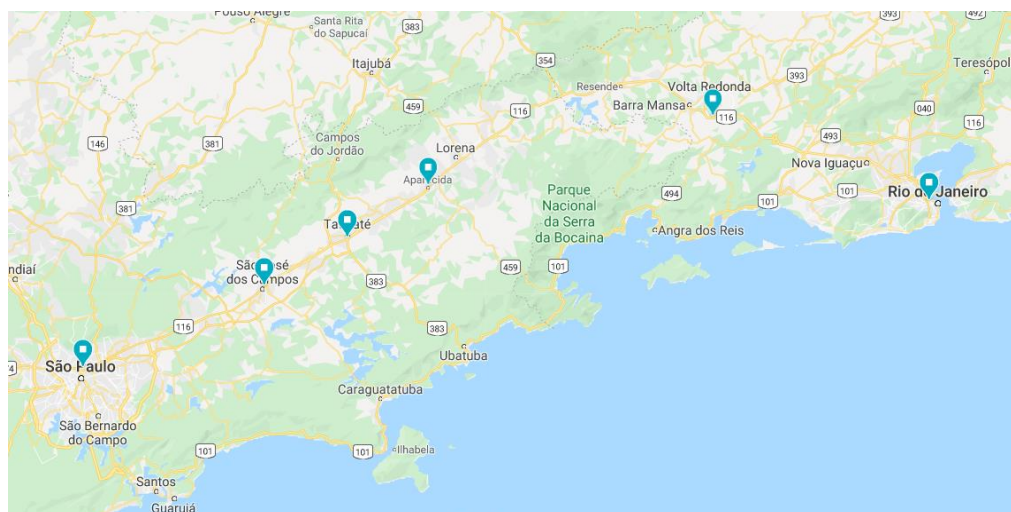
Este monotrilho da Bombardier apresenta um custo médio de 40 a 70 milhões de US\$/km, gera um ruído de 60 a 80 decibéis e apresenta um modal com prazo de implantação de 3 a 5 anos (MARCONDES, 2020). O monotrilho será um modal com um valor menor que o modal aéreo e maior se considerado os modais rodoviários, entretanto na economia de tempo o monotrilho também se encontra entre os dois modais, sendo uma alternativa de deslocamento com maior custo-benefício.

5.7. PONTOS DE PARADA

Por meio da análise do traçado do percurso do monotrilho, utilizando o Google Earth, o perfil geográfico do terreno foi dividido em três perfis principais. O primeiro que corresponde ao eixo da Rodoviária Tietê até o município de Volta Redonda, caracterizado por se localizar no planalto oriental do estado de São Paulo. O segundo, entre Volta Redonda a Piraí, municípios localizados no estado do Rio de Janeiro, descendo a Serra do Mar e o terceiro que corresponde ao percurso de Piraí, atravessando a Baixada Fluminense até à Rodoviária Novo Rio, localizada na cidade do Rio de Janeiro.

Cada perfil de percurso apresenta características geomorfológicas específicas, que devem ser analisadas para determinar os custos para a construção do monotrilho. Um ponto positivo está associado a inexistência de grandes diferenças de altitudes o que viabiliza a instalação do monotrilho, sem que exceda as especificações de gradientes topográficos estabelecidas. Dessa forma, foram selecionados os pontos de parada, para embarque e desembarque de passageiros (Figura 12).

Figura 12 – Pontos de parada do monotrilho no trajeto entre São Paulo e Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

Como pode ser observado na Figura 12, serão instalados 6 pontos de parada, incluindo o primeiro e o último ponto que correspondem, respectivamente, à saída do monotrilho da Rodoviária Tietê, na cidade de São Paulo e à chegada na Rodoviária Novo Rio, na cidade do Rio de Janeiro. Estes pontos foram estabelecidos, visando a interligação com os demais modais, como metrô e ônibus, que já existem por serem locais de embarque e desembarque. A segunda parada no Shopping Vale Sul, em São José dos Campos, é estratégica para que o monotrilho não saia de seu percurso, além de se tratar de um local seguro para os usuários, com conexão com os ônibus da cidade. A terceira parada na Rodoviária Nova de Taubaté foi selecionada devido à proximidade com a BR-116 RJ/SP e à fácil interação com a rede municipal e intermunicipal de ônibus. O quarto ponto de parada no município de Aparecida, próximo ao posto da Polícia Federal, também corresponde a um local seguro. A quinta parada no município de Volta Redonda, próximo ao posto da CCR Nova Dutra, foi indicado tendo em vista a proximidade da entrada da cidade e da Rodovia Presidente Dutra.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que há necessidade da implantação de um meio de transporte seguro, que interligue as capitais, São Paulo e Rio de Janeiro e, ao mesmo tempo, reduza as emissões atmosféricas de CO₂ e de outros gases do efeito estufa, que utilize energias renováveis e que traga facilidade, agilidade e integração dos usuários de forma eficaz, e que a adoção de um monotrilho elétrico deve fazer parte das metas do governo para o desenvolvimento sustentável, a fim de reduzir as emissões dos modais (aéreos e rodoviário) que atualmente circulam no eixo e fazem uso de combustíveis fósseis.

Neste trabalho, conclui-se que como a faixa de servidão apresenta uma largura média de 80 metros, o monotrilho poderia ser instalado sem grandes problemas, considerando as dimensões do monotrilho INOVIA 300 da Bombardier 3,15 m x 50,11 m x 4,05 m. Além disso, como essa faixa pode ser concedida a terceiros e não possui áreas denominadas de preservação permanente observa-se que não há desafios físicos e ambientais para sua implantação.

A implantação do monotrilho na área de Servidão da Rodovia Presidente Dutra resultaria em impactos socioeconômicos e ambientais positivos e beneficiaria toda a região que compreende o eixo Rio-São Paulo, mas os custos elevadíssimos de instalação ainda não viabilizaram até o momento, a realização deste projeto.

7. PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, deixo aqui a recomendação para a realização de levantamentos *in loco* em cada praça de pedágio para a obtenção do número de veículos de forma mais consistente e atualizada. Além disso, sugiro também a mensuração dos impactos sonoros e térmicos destes veículos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS - XVIII. **População e desenvolvimento na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo**. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236633046_populacao_e_desenvolvimento_na_Regiao_metropolitana_do_Vale_do_Paraiba_e_Litoral_Norte_de_Sao_Paulo_desafios_atuais_e_futuros. Acesso em: 3 maio 2020.

ABRACICLO. **Anuário da Indústria brasileira de duas rodas**. São Paulo: Abraciclo, 2019. 156p.

ABREU, J. **Região metropolitana: desafio da gestão regional: um estudo de caso da região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte** - SO. Orientador: Emmanuel Antônio dos Santos. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2015.

ALVES, J. W. S. **Cenários quantitativos de gases do efeito estufa e energia pela gestão de resíduos na macrometrópole paulista**. 2017. 268 f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Anuário do Transporte Aéreo 2019**. Brasília: ANAC, 2019.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2019**. volume único. Brasília: ANAC, 2019.

BCA - Transportation Benefit-Cost Analysis. **Seattle Monorail**: Seattle, Washington, 2002. Disponível em: <http://bca.transportationeconomics.org/case-studies/public-transport>. Acesso em: 5 ago. 2021

BOMBARDIER. **Sistema de monotrilho INNOVIA [2020]**. Disponível em: <https://rail.bombardier.com/en/solutions-and-technologies/urban/monorail.html>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Relatório de estudos de tráfego**. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf Acesso em: 5 ago. 2021.

BRASIL. Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima -PNMC. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2012, n 12.587, p.109, 29 dez. 2009.

BRASIL. Lei 12.587 de 03 de janeiro de 2012. Institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2012, n 12.587, p.1, 04 jan. 2012. PL 694/1995.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2012, n 12.651, p.1, 28 maio 2021. PL 1876/1999

BRASIL. Lei 6.902 de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 2012, n 6.902, p.7557, 28 abr. 1981. PL 2139/1979.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Relatório da administração. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-5.850-de-16-de-julho-de-2019-196324921>. Acesso em: 03 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Resolução nº 5.850 /2019 de 16 de julho de 2019 – Estabelece os procedimentos a serem observados pela Agência Nacional de transportes terrestres para o reequilíbrio econômico – financeiro dos contratos de concessão de rodovias. Brasil: Agência Nacional dos Transportes Terrestres, 2019.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. "Maior da história", projeto de concessão das rodovias Dutra e Rio-Santos é aprovado pelo TCU. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/tcu-aprova-leilao-dutra-rio-santos-r-14-8-bilhoes-investimentos>. Acesso em: 2 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Frota de veículos: frota por UF e tipo de veículo dez/.2019. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2019>. Acesso em: 20 fev. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério das Cidades. ONU HABITAT. Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes. ONU HABITAT, Brasil, v. 2, ed. 1, p. 1-172, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Brasil perto de cumprir meta de redução de CO2 em 2020: análise do Ipea feita com base em indicadores de 2005 a 2015, último ano antes da entrada em vigor da Agenda 2030. Brasília. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/15650-brasil-perto-de-cumprir-meta-de-redu%C3%A7%C3%A3o-de-co2-em-2020.html>. Acesso em: 3 ago. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. EBC. O que são os poluentes atmosféricos?. 20 ago. 2015. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/infantil/voce-sabia/2015/08/poluicao-do-ar-o-que-sao-os-poluentes-atmosfericos>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional sobre Mudança do Clima. 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima.html>. Acesso em: 11 jul. 2021.

BRASIL. Ministério do Turismo. Anuário estatístico de turismo 2020 – Ano base 2019. Disponível em: <http://www.dadosefatos.turismo.gov.br/2016-02-04-11-53-05.html>. Acesso em 12 jul. 2020

BRASIL. Resolução 5.580 de 16 de julho 2019. Estabelece os procedimentos a serem observados pela Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT para o reequilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão de rodovias. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2019, n 136, p.23, 28 abr. 1981. PL 2139/1979.

BROMANA, T.; AZEVEDO, M. Lista vermelha da flora do Vale e bacia do Paraíba do Sul Fluminense. Diversidade e Gestão, v.3, n.1, p. 13-22, 2019. Disponível em: https://itr.ufrj.br/diversidadeegestao/wp-content/uploads/2019/09/DG050_Bromana_Milward-de-Azevedo.pdf. Acesso em: 15 jan. 2020.

BYD. Skyrail. Estados Unidos, [2019]. Disponível em: <https://en.byd.com/skyrail/>. Acesso em: 16 ago. 2019.

CEIVAP - COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. Relatório de Situação: Bacia do Paraíba do Sul 2019, SP -RJ- MG. Associação Pró-Gestão das águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro: AGEVAP, 2019.

CETESB. Fator de emissão 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso 12 de jul. 2020.

CETESB. PROCLIMA. Gases do Efeito Estufa. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

COLUMBIA ELETRONIC ENCYCLOPEDIA. Monorail. 2019, 6 ed., p 1-1, 1p, 2019.

COMPANHIA METROPOLITANA DE SÃO PAULO. São Paulo. Monotrilho. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://sergionobre.wordpress.com/tag/metro/>. Acesso em: 10 out. 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2018. Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 223, n., p.155, 21 nov. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em: 21 ago. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2018. Resolução CONAMA nº 492 de 20 de dezembro de 2018. Estabelece as Fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 246, p.141, 24 dez. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56643907/do1-2018-12-24-resolucao-n-492-de-20-de-dezembro-de-2018-56643731. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA PRESIDENTE DUTRA S. A. Relatório da administração. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo: Empresarial, São Paulo, v. 130, n. 44, p. 145, 6 mar. 2020. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=%2f2020%2fempresarial%2fmarco%2f06%2fpag_0145_f6d50bcbd74b7702dca26404f84b80a6.pdf&pagina=145&data=06/03/2020&caderno=Empresarial&paginaordenacao=100145. Acesso em: 3 ago. 2021.

CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA PRESIDENTE DUTRA S. A. Relatório da administração. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo: Empresarial, São Paulo, v. 129, n. 172, p. 5, 12 set. 2019. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/Certificacao/Certificador.aspx?link=%2f2019%2fempresarial%2fsetembro%2f12%2fpag_0005_4c6abab18b08a9e8cc21f07b7a7cee38.pdf&pagina=5&data=12/09/2019&caderno=Empresarial. Acesso em: 3 ago. 2021.

CONSULTA de trajeto realizada entre a Rodoviária do Tiête (São Paulo) até a Rodoviária Novo Rio (Rio de Janeiro). Google Maps, 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/dir/Rodoviaria+Tiete+-+Terminal+Rodovi%C3%A1rio+do+Tiet%C3%AA+-+Vila+Guilherme,+S%C3%A3o+Paulo+-+SP,+Brasil/Rua+Vale+das+Rosas+-+Curicica,+Rio+de+Janeiro+-+RJ,+22710-665,+Brasil/@-23.0735809,-49.4109285,6z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x94ce599d0094fb05:0x5dbe77483f8f2ce3!2m2!1d-46.6244071!2d-23.5173176!1m5!1m1!1s0x9bd9159f2e2d9b:0x262d6c5886106a20!2m2!1d-43.3849904!2d-22.948495!3e3>. Acesso em: 13 jul. 2020

EBC - EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. Taxa de retorno para concessão de rodovia sobe para 7,2%. Mariana Branco, 8 maio 2013. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/noticias/economia/2013/05/taxa-de-retorno-para-concessao-de-rodovia-sobe-para-72>. Acesso em: 5 mar. 2021.

ENCYCLOPEDIA BRITÂNICA. Monorail. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/monorail-railway>. Acesso em: 02 maio 2019.

GARCIA, M. Sistemas de monotrilho como transporte de massa: considerações a respeito de um novo modo de transportes para São Paulo. Revista do Transportes Públicos, São Paulo, ano 37, p. 28-51, 3º quadrimestre, 2014.

GIANCOLA, C. MENDES, A.; GUEDES, P. Obras de monotrilhos em SP atrasam, diminuem, e ficam até 83% mais caras. Portal G1 Notícias. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/06/obras-de-monotrilhos-em-sp-atrasam-diminuem-e- ficam-ate-83-mais-caras.html>. Acesso em: 10 ago. 2021

GILANI, P. R. Concessionárias abandonam ferrovias. Jornal Diário Popular, São Paulo, p.6, 24 de junho 2001.

HITACHI. Products & Services. [2018]. Disponível em: <https://www.hitachi-rail.com/>. Acesso em: 5 nov. 2019.

HODSON, J.S. The repertory of Patent Inventions and other discoveries and improvements in arts, manufactures and agriculture. London: [s. n.], 1836. v. vi.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico de geomorfologia número 5. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

INFRAERO. Ponte Aérea Rio-São Paulo 60 anos. [S. l.], 5 jul. 2019. Disponível em: <https://www4.infraero.gov.br/imprensa/noticias/ponte-aerea-rio-sao-paulo-60-anos/>. Acesso em: 5 ago. 2021.

IPCC - PAINEL GOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Relatórios. Disponível em: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm. Acesso em: 19 de nov. 2019

KAISSARA. Passagem de ônibus. 2019. Disponível em: <https://passagemkaissara.com.br/deonibus/passagens-de-onibus/sao-paulo-sp-todos-para-rio-de-janeiro-rj-todos?departureDate=>. Acesso em: 17 jul. 2021.

KENNEDY, R. R. Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. 2004. Disponível em: <https://www.monorails.org/webpix%202/RyanRKennedy.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

LATAM AIRLINES BRASIL. Conheça a frota completa de aviões LATAM. São Paulo/SP, 2 jan. 2020. Disponível em: https://www.latam.com/vamos/pt_br/artigos/na-estrada/conheca-a-frota-avioes-LATAM/. Acesso em: 1 ago. 2020.

LOBO, R. Trolebus. Há 20 anos, último trem de passageiros partia de São Paulo ao Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://viatrolebus.com.br/2018/11/ha-20-anos-ultimo-trem-de-passageiros-partia-de-sao-paulo-ao-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 18 ago. 2020.

LOGIT. Estudos de viabilidade técnica – Relatório de Tráfego. Lote NovaDutra BR-116/RJ/SP e BR-101/RJ/SP. Disponível em: <https://participanttm.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=410>. Acesso em 02 maio 2021.

MAPBIOMAS. Relatório Anual de Desmatamento do Brasil – São Paulo: MAPBIOMAS 2019. 49 p.

MARCONDES, Carlos. Estudo e desenvolvimento de um modelo matemático para um monotrilho elétrico de alta velocidade movido a energia sustentável, visando a diminuição da emissão de dióxido de carbono no deslocamento entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SODEBRAS CONGRESS, 42, 2020, Guaratinguetá. Anais [...]. Guaratinguetá: Sodebrás, 2020.

MARKOVICH, J.; LUCAS, K. The social and distributional impacts of transport: a Literature Review. 2011. University of Oxford, Oxford, EUA, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/254608991_The_Social_and_Distributional_Impact_of_Transport_A_Literature_Review. Acesso em: 11 ago. 2020.

MEDEIROS, G. Sistemas de média capacidade para transporte público de passageiros. In: SEMINÁRIO TÉCNICO DE PLANEJAMENTO E MOBILIDADE URBANA, 3., 2012, . Santa Catarina. Anais [...] Santa Catarina: SCPAR, 2012.

NAKAMOTO, B. Planejamento e impasses na implementação do trem de alta velocidade entre Campinas/SP, São Paulo/SP e Rio de Janeiro/RJ. Orientador: Márcio Silveira. 2012. 195 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita – uma opção de transporte público para a região Metropolitana da grande Vitória. XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Bento Gonçalves-RS, 2010Filho,

Presidente Prudente, 2012. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/pos/geo/dis_teses/12/ms/bianca.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.

OLIVEIRA, U. Monotrilho – uma opção de transporte público para a região Metropolitana da grande Vitória. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, – SBPO, 42, 2010. Bento Gonçalves-RS, p. 1272-1283.

ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Objetivo 11. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/pos2015/ods11/> Acesso em 20 jan. 2020.

PAREKH, J. A.; RAVAL, N. G.; DODIYA, D. Overview of Monorail Rapid Transit System. Journal of Information, Knowledge and Research in Computer Engineering, v. 2, n. 2, p. 285-291, 2013.

PASQUALETTO, A.; SOUZA, F. A tecnologia de monotrilho para transporte de passageiro. EVS Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás, v. 40, ed. especial, p. 43-55, 2014. Disponível em: <http://seer.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/view/3722>. Acesso em: 31 jul. 2019.

POLETTE, M.; TISCHER, V. Proposta de modelo conceitual dos impactos ambientais no sistema de transporte e mobilidade urbana. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, SP, Brasil., v.16, n.1, p.173-193, jan-abr/2020.

PORTAL G1. São Paulo quer construir rodovia paralela à Via Dutra. São Paulo: Agência Estado, 3 set. 2008. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL746262-5598,00-O+PAULO+QUER+CONSTRUIR+RODOVIA+PARALELA+A+VIA+DUTRA.html>. Acesso em: 2 ago. 2021.

PPI - PROGRAMA DE PARCERIA DE INVESTIMENTOS (Brasil). RODOVIA – BR-116/101/SP/RJ (Dutra) – Rio de Janeiro a São Paulo. 2021. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/rodovia-br-116-rj-sp-trecho-rio-de-janeiro-a-sao-paulo>. Acesso em: 19 jul. 2021.

PRIME ENGENHARIA (BRASIL). Contrato PDP.8.163.00-C. Consultoria para a elaboração dos estudos ambientais de alternativas para o trem de alta velocidade. Relatório Preliminar, Brasil, ano Rev -1, 12 nov. 2009.

RIO DE JANEIRO (Estado). Departamento de Estradas e Rodagem. Deliberação nº 34, de 25 de Setembro de 1991. 1991. Disponível em: http://www.der.rj.gov.br/leg_delib34_91.asp. Acesso em: 18 out. 2019.

RODOVIA Presidente Dutra. Google, 2021. Imagem de satélite, color., 2D. Google Câmera 309 m. Lat. 22°59'20"S 44°54'58"W 934 m. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/Rodovia+Presidente+Dutra,+Volta+Redonda+-+RJ,+Brasil/@-23.2183694,-45.89003187,601.20833732a,2382.02122086d,35y,0.00000001h,45.00900965t,0r/data=CigiJgokCYWTq2eOvDbAERhdgm9EODfAGfQprpEZh0XAIRy9pZ1NwEXAMicKJQojCiExWGNqemJZelJ2ZVhNdkREdlnYzMRWSVlXVmpGNDNzLVM>. Acesso em: 21 jul. 2021

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. Revista USP, São Paulo, v. 27, ed. 79, p. 55-66, 2013. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/68702/71282>. Acesso em: 12 jun. 2019.

SANTANA, M.; MOTTA, R.; ROSA, A. Logística e meio ambiente: análise dos modais ferroviário e rodoviário. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 11, 2012, Guaratinguetá. Trabalho apresentado em congresso. Guaratinguetá, SP: XI EPG, 2012.

SANTOS. Megalópole. São José dos Campos: Fundação Vale do Paraíba, 2018. 97 slides, color.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Estradas e Rodagem. Regulamenta a autorização de uso da faixa de domínio de estradas e rodovias integrantes da malha rodoviária do DER-SP. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Servicos/ServicosEspeciais/FaixaDominio.aspx>. Acesso em: 18 out. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Estradas e Rodagem. Regulamenta a autorização de uso da faixa de domínio de estradas e rodovias integrantes da malha rodoviária do DER-SP. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Servicos/ServicosEspeciais/FaixaDominio.aspx>. Acesso em: 18 out. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Relatório de Qualidade Ambiental 2019: RQA. São Paulo: [s. n.], 2019. 402 p.

SCOMI GROUP. Monorail. Malaysia, 2020. Disponível em: <https://scomigroup.com.my/>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SEABRA, L.; TACO, P.; DOMINGUES, E. Sustentabilidade em transportes: do conceito às políticas públicas de mobilidade urbana. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, ano 35, 2º quadrimestre, 2013.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Perfil dos municípios 2019. Disponível em: <https://perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2019.

SEADE. PIB do estado de São Paulo cresceu 2,5% em 2019. São Paulo: Seade Imprensa, 30 mar. 2020. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/pib-do-estado-de-sao-paulo-cresceu-25-em-2019/>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SEEG - System Gas Emissions Estimation. BRASIL Emissões totais. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em 14 out. 2020

SEKITANI, T.; HIRAISHI, M.; YAMASAKI, S. e TAMOTSU, T. China's First Urban Monorail System in Chongqing. Hitachi Review, v. 54, n. 4, 2005.

SHAMSI, M.; GHANBARI, A. Nonlinear dynamic analysis of Qom Monorail Bridge considering Soil-Pile-Bridge-Train Interaction. Transportation Geotechnics, v.22, 2020. Kharazmi University of Tehran. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/Science/article/pii/S2214391219302223>. Acesso em: 23 mar. 2020.

SP TRANS. Relatório de administração. Revista técnica de São Paulo de Transporte, São Paulo, n. 1, p. 1-191, 1 dez. 2012.

TENG, L.; ERYU, Z.; L., HAORUN. Life cycle carbon emission of monorail transit and its comparison in operation stage with other city transit modes. E3S Web of Conferences, 272,

p. 1-8, 2021. Disponível em: https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/48/e3sconf_icepg2021_01013/e3sconf_icepg2021_01013.html. Acesso em: 1 fev. 2021.

TOPOGRAPHIC. São Paulo. Disponível em: <https://pt-br.topographicmap.com/maps/gn4k/S%C3%A3o-Paulo/>. Acesso em 20 jan.2020.

UK EXPORT FINANCES (United Kingdom). Category A project supported: Cairo monorails, Egypt. 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/category-a-project-supported-cairo-monorails-egypt/category-a-project-supported-cairo-monorails-egypt#assessment-of-eshr-impacts>. Acesso em: 18 jul. 2021.

WWF - WORLD WIDE FUND FOR NATURE. As mudanças climáticas. 2021. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/. Acesso em: 13 jul. 2021.