

PRODUTO 1.B

APOIO TÉCNICO À SECRETARIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (SNTT)
NA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS AFETOS AO PLANO DE DESENVOLVIMENTO DO
TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS (PDTFP) E AO PROGRAMA DE
AUTORIZAÇÕES FERROVIÁRIAS (PAF)



**APOIO TÉCNICO À SECRETARIA
NACIONAL DE TRANSPORTES
TERRESTRES (SNTT) NA ELABORAÇÃO DE
ESTUDOS AFETOS AO PLANO DE
DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE
FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS (PDTFP)
E AO PROGRAMA DE AUTORIZAÇÕES
FERROVIÁRIAS (PAF)**

PRODUTO 1.B – DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTA DE
MODELAGEM SOCIOAMBIENTAL E DE METODOLOGIA PARA
AVALIAÇÃO DE EXTERNALIDADES DECORRENTES DA
IMPLANTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE
FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS

FICHA TÉCNICA

Ministério da Infraestrutura

Ministro de Estado da Infraestrutura

Marcelo Sampaio Cunha Filho

Secretário Nacional de Transportes Terrestres

Felipe Fernandes Queiroz

Gestores do TED nº 01/SNTT/2021

Fábio Pessoa da Silva Nunes

André Luís Ludolfo da Silva

Secretário Executivo

Bruno Eustáquio Ferreira Castro de Carvalho

Diretor de Planejamento, Gestão e Projetos Especiais

Fábio Pessoa da Silva Nunes

Fiscais do TED nº 01/SNTT/2021

Arilena Covalesky Dias

Marcus Vinicius Fagundes Mota

Universidade Federal de Santa Catarina

Reitor

Irineu Manoel de Souza, Dr.

Vice-Reitora

Joana Célia dos Passos, Dr.a

Diretor do Centro Tecnológico

Edson Roberto de Pieri, Dr.

Chefe do Departamento de Engenharia Civil

Luciana Rohde, Dr.a

Laboratório de Transportes e Logística

Supervisor do LabTrans e Coordenador Geral do TED

Wellington Longuini Repette, Dr.

Supervisor Técnico

Amir Mattar Valente, Dr.

Coordenador da Equipe de Transporte de Passageiros e Mobilidade Urbana

Rodolfo Nicolazzi Philippi, M.Sc.

Equipe Técnica

Andrei Dal Sent Machado, Econ.

Fernando Seabra, Dr.

Marcus Vinicius Bezerra Inácio Brites, M.Sc.

Victor Marques Caldeira, M.Sc.

Equipe de Revisão e Design

Angel Gabriela B. Zamparette

David Henequim

Diego Rodrigues Lopes

Flávia Minatto

Gabriela Lemos

Kétlen Daldegan

Manoela Sousa

Pedro Albino Mezzari

Rubia Graziela Steiner Baldomar

Apoio Técnico e Administrativo

Ailton Manoel Pereira Junior

Daniela Vogel

Isabelle Louise Pimenta Blight

Lara Soares Furlan Marciel Santos

Pedro Soares Leal

Sisto Faraco Junior

Violeta de Senna Pereira Aranda

APRESENTAÇÃO

Em 28 de março de 2018, o Ministério da Infraestrutura (MInfra), na época Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA), editou a Portaria nº 235, de 28 de março de 2018, instituindo a Política Nacional de Transportes (PNT) e estabelecendo princípios, objetivos, diretrizes fundamentais e instrumentos para o Setor de Transportes do Governo Federal (BRASIL, 2018b). A PNT foi formulada com o objetivo de induzir o desenvolvimento socioeconômico sustentável, ampliar e melhorar a infraestrutura nacional de transportes e promover a integração nacional e internacional, de modo a propiciar o aumento da competitividade e a redução das desigualdades no País.

Assim, a criação da PNT proporcionou a abertura para um novo ciclo de planejamento do setor, que teve início efetivo com o estabelecimento do Planejamento Integrado de Transportes (PIT), instituído por meio da Portaria nº 123, de 21 de agosto de 2020, do MInfra (BRASIL, 2020a). O PIT contempla o transporte de pessoas e de bens e abrange os subsistemas federais e as ligações viárias e logísticas entre esses subsistemas, e destes com os sistemas de viação dos estados, do Distrito Federal (DF) e dos municípios.

Com um horizonte de 30 anos, o processo de planejamento integrado de transportes será atualizado a cada ciclo de quatro anos, sendo composto fundamentalmente: pelo Plano Nacional de Logística 2035 (PNL 2035), desenvolvido pela Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL); pelos Planos Setoriais (PS), dedicados ao desdobramento, em nível tático, das necessidades e das oportunidades suscitadas e elencadas no nível estratégico; pelo Plano Geral de Parcerias (PGP) e pelo Plano Geral de Ações Públicas.

Nesse contexto, cumpre destacar que o *PNL 2035* foi concluído e aprovado pela Resolução do Comitê Estratégico de Governança (CEG) do MInfra nº 6, de 15 de outubro de 2021, configurando-se como o instrumento referencial de planejamento voltado à identificação de necessidades e de oportunidades presentes e futuras de oferta de capacidade dos subsistemas de transporte, recomendando estudos de novas infraestruturas e melhorias em infraestruturas existentes, no âmbito do planejamento setorial. Este, por sua vez, está organizado em Planos Setoriais, desenvolvidos em nível tático e responsáveis por fazer a conexão entre o PNL e as ações do MInfra, indicando as iniciativas que deverão ser estudadas em detalhe, seja para execução com recursos públicos ou por meio de parcerias com a iniciativa privada.

Assim, os PS baseiam-se em cenários de oferta de capacidade e de demanda por transportes advindos do PNL e, conforme mencionado, também incluem estudos das iniciativas a serem executadas por meio de parcerias com a iniciativa privada. Entre os PS, merece destaque aqui o Plano Setorial de Transportes Terrestres (PSTT), cuja elaboração ficou sob a responsabilidade da Secretaria Nacional de Transportes Terrestres (SNTT). No PSTT, as análises são específicas para os subsistemas federais de transportes terrestres (rodoviário e ferroviário) de cargas e de passageiros, o que permite maior detalhamento e avaliação da forma como as necessidades e as oportunidades identificadas no PNL podem ser supridas, embora novas necessidades também possam ser identificadas.

Vale ressaltar que nas estratégias governamentais definidas pela Política Nacional de Transportes: Caderno das Estratégias, a qual, a partir da constatação de que o “modo ferroviário tem pouca expressividade e limitada abrangência para o deslocamento de pessoas no Brasil” (BRASIL, 2018b, p. 21), definiu como estratégias governamentais, entre outras:

- 4. Propor programas para o fomento ao transporte ferroviário de passageiros.
[...]
- 8. Identificar, avaliar e dar uso a trechos ferroviários subutilizados/abandonados para o transporte de passageiros e/ou cargas.
[...]
- 10. Definir políticas para a viabilização de operações em trechos não utilizados/subutilizados pelas concessionárias e/ou devolvidos à União.

No âmbito do PSTT, foram definidas 48 Iniciativas Táticas destinadas a estabelecer as linhas de atuação política da secretaria em seu planejamento de transportes terrestres. Assim, entre as Iniciativas Táticas do PSTT, merecem destaque, em caráter não exaustivo, em relação ao transporte de passageiros (BRASIL, 2020c, não paginado):

- PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES
[...]
V – Diretrizes para fomento e aperfeiçoamento do transporte de passageiros
Estabelecer diretrizes voltadas ao fomento e aperfeiçoamento do transporte de passageiros nos modos de transportes terrestres.
[...]
- TRANSPORTE FERROVIÁRIO
[...]
II – Transporte ferroviário de passageiros
Desenvolver o transporte ferroviário de passageiros, considerando, no mínimo, a realização de ações nas seguintes áreas temáticas:
 - a. integração com o planejamento regional e/ou urbano;
 - b. planejamento de rotas de interligação entre cidades médias e cidades de grande porte/regiões metropolitanas;
 - c. definição de fontes de receita para fins de equacionamento financeiro e sustentabilidade econômica das operações ferroviárias;
 - d. análise dos dados estimativos de demanda e de externalidades para a viabilização dos projetos;
 - e. definição de parâmetros operacionais com foco na satisfação dos usuários.

III – Utilização de ramais desativados ou subutilizados

Identificar as potencialidades de utilização de ramais ferroviários desativados ou subutilizados para o transporte ferroviário de passageiros e cargas por meio de autorizações de short-lines.

[...]

V – Monitoramento dos serviços de transporte ferroviário de passageiros

Estabelecer mecanismos de monitoramento constante dos serviços de transporte ferroviário de passageiros a partir de indicadores de qualidade, performance e disponibilidade dos serviços, considerando a acessibilidade e a adequação aos portadores de necessidades especiais.

Ademais, importa mencionar as seguintes competências da SNTT, estabelecidas nos incisos III e IV, do art. 8º do Anexo V da Portaria MInfra nº 124, de 21 de agosto de 2020:

III - desenvolver e acompanhar planos, estudos e pesquisas relacionados ao setor de transportes rodoviário e ferroviário de passageiros que contribuam para o seu desenvolvimento;

IV - orientar a elaboração de planos setoriais de transportes terrestres, no que tange ao transporte rodoviário e ferroviário de passageiros, apresentando diretrizes de planejamento para o setor e buscando as melhores práticas nacionais e internacionais [...]
BRASIL, 2020b, p. 55).

Assim, à luz das iniciativas postas e considerando as competências estabelecidas nos incisos III e IV, do art. 8º do Anexo V da Portaria nº 124/2020 do MInfra, iniciou-se o desenvolvimento, no âmbito da Coordenação Geral de Estudos e Cooperação Técnica do Departamento de Planejamento, Gestão e Projetos Especiais (CGECO/DPLAN) da SNTT, de um estudo intitulado *Plano de Desenvolvimento do Transporte Ferroviário de Passageiros* (PDTFP), o qual pretende, por meio de análises técnicas, fornecer subsídios para discussões específicas em prol do desenvolvimento do transporte ferroviário de passageiros no País.

Para tanto, foi firmada, em agosto de 2021, uma parceria com o Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina (LabTrans/UFSC), por meio do *Termo de Execução Descentralizada (TED) nº 01/SNTT/2021*, tendo por objeto a prestação de apoio técnico do LabTrans/UFSC à SNTT na elaboração de Estudos afetos ao PDTFP e do Programa de Autorizações Ferroviárias (PAF).

Dessa forma, em cumprimento a essas atribuições, o presente documento visa apresentar as atividades relativas à Ação 1 – Estudos afetos ao Plano para o Desenvolvimento do Transporte Ferroviário de Passageiros previstas no *Plano de Trabalho* (SEI¹ nº 4430642)² do TED nº 01/SNTT/2021 (SEI nº 4430594)³.

¹ Sistema Eletrônico de Informações.

² 2º Plano de Trabalho SEI nº 5953967.

³ 1º Termo Aditivo SEI nº 4605566.

Faz-se mister destacar que o referido estudo tem o mérito de subsidiar discussões qualificadas na concepção de políticas públicas voltadas ao enfrentamento das limitações do transporte de pessoas a partir do modo ferroviário no Brasil. Nesse contexto, tal estudo pretende, à luz de critérios técnicos e de critérios econômico-financeiros, elencar um rol de trechos ferroviários **potencialmente favoráveis** à movimentação de pessoas a partir do modo de transporte em questão.

Desse modo, o PDTFP vincula-se ao PSTT enquanto desdobramento de iniciativas táticas propositivas, respondendo, por um lado, a uma problemática verificada e a uma necessidade de desenvolvimento de uma política pública específica e, por outro, retroalimentando o planejamento tático setorial com *inputs* dos trechos ferroviários elencados no âmbito do estudo com potencial relevante para promover o desenvolvimento do transporte de pessoas pelo modo ferroviário, subsidiando os cenários de oferta e de demanda dos prognósticos de planejamento de transportes terrestres no horizonte delimitado pelo Plano Setorial.

SUMÁRIO

1	Introdução	9
2	Impactos socioeconômicos e ambientais em projetos (externalidades)	11
2.1	Levantamento de externalidades – custos e benefícios socioeconômicos e ambientais...	13
2.1.1	Levantamento em projetos e estudos de infraestrutura	13
2.1.2	Levantamento em projetos e estudos de transporte	22
2.1.3	Levantamento em projetos e estudos de transporte ferroviário de passageiros...39	
3	Metodologias para avaliação de externalidades	58
3.1	Acidentes	59
3.1.1	Custos totais e médios	60
3.1.2	Abordagem do capital humano	62
3.1.3	Custo marginal	63
3.2	Ruídos	64
3.2.1	Custos totais e médios	65
3.2.2	Via de impacto	68
3.3	Tempo de viagem	73
3.3.1	Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2005).....	74
3.3.2	Departamento de Transporte dos Estados Unidos (DOT, 2014)	75
3.3.3	Departamento de Transportes do Reino Unido (DFT, 2021b)	76
3.4	Poluição atmosférica	78
3.4.1	Custos totais e médios	79
3.4.2	Preços ambientais	81
3.4.3	Via de impacto	83
3.4.4	Custo de danos	84
3.5	Gases de efeito estufa (GEE).....	85
3.5.1	Custos totais e médios	86

3.5.2	Eficiência energética e valores de GEE	88
3.5.3	Custos externos	89
3.5.4	Pegada de Carbono	90
3.5.5	Custo social do carbono	90
3.6	Geração de empregos.....	91
3.7	Acessibilidade.....	98
3.8	Paisagem	100
4	Monetização de externalidades: proposição metodológica	102
4.1	Definição das externalidades propostas	102
4.2	Sistematização dos métodos (fluxogramas).....	108
4.3	Aplicação metodológica	109
4.3.1	Sinistros	110
4.3.2	Ruídos	121
4.3.3	Tempo de viagem.....	128
4.3.4	Emissão de poluentes	132
5	Considerações finais sobre o Produto 1.B	143
	Referências	145
	Lista de figuras.....	154
	Lista de gráficos	156
	Lista de quadros	157
	Lista de tabelas	158
	Lista de siglas	160
	Apêndice	167
	Apêndice 1 – Detalhamento das bibliografias utilizadas	168

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório atende ao TED nº 001/2021, firmado entre o MInfra, por meio da SNTT, e a UFSC, mediante o LabTrans. Nesse sentido, o referido TED contempla o apoio técnico à SNTT na elaboração de estudos afetos aos desenvolvimentos do PDTFP e do PAF.

Em relação especificamente ao transporte ferroviário de passageiros, os estudos são desenvolvidos como *inputs* para **a elaboração de simulação de cenários do PSTT a partir da inclusão** de trechos ferroviários elencados para promover o desenvolvimento do transporte de pessoas pelo modo ferroviário; nesse sentido, considerando o papel central do PS para o planejamento dos transportes terrestres em um nível tático, tal estudo segue **as orientações do PSTT**.

Nesse ponto, destaca-se que o estudo em tela configura-se como um estudo temático e, enquanto tal, situa-se na fronteira tático-operacional. Portanto, o PSTT e o PDTFP também se caracterizam como dois instrumentos independentes, mas vinculados e complementares entre si, uma vez que, situados em níveis de planejamento distintos, permitem o desdobramento das concepções mais genéricas de iniciativas (políticas públicas) em ações mais concretas, aprofundadas e específicas no âmbito de uma temática em particular – no caso, o transporte ferroviário de passageiros.

No presente relatório, são apresentados os resultados pertinentes às ações relativas ao desenvolvimento do PDTFP, correspondente à Ação 1 do mencionado TED. A Ação 1 é composta de quatro metas, a saber:

- Meta 1A: Elaboração de proposta de PDTFP no Brasil.
- Meta 1B: Desenvolvimento de proposta de modelagem socioambiental e de metodologia para avaliação de externalidades decorrentes da implantação dos serviços de transporte ferroviário de passageiros.
 - Atividade 1.B.1: Realização do levantamento de metodologias de avaliação de externalidades e benefícios socioeconômicos e ambientais utilizadas em projetos de implantação de infraestrutura e serviços de transportes.
 - Atividade 1.B.2: Definição dos atributos e métricas a serem utilizados para avaliação de externalidades e impactos socioeconômicos e ambientais de projetos em transporte ferroviários de passageiros.
 - Atividade 1.B.3: Proposição da metodologia consolidada de avaliação de externalidades e benefícios socioeconômicos e ambientais de projetos em transporte ferroviários de passageiros.

- Meta 1C: Desenvolvimento de estudo de desempenho operacional das ligações prioritárias.
- Meta 1D: Proposta de modelagem financeira para exploração dos serviços de transporte ferroviário de passageiros dos trechos prioritários selecionados.

O presente documento consiste no Produto 1.B, referente às Atividades 1.B.1, 1.B.2 e 1.B.3, estando estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 2 “Impactos socioeconômicos e ambientais em projetos (Externalidades)”: consiste no levantamento das externalidades e dos custos e benefícios socioeconômicos e ambientais, com base em pesquisa exploratória e sistêmica nas principais referências técnicas e científicas.
- Capítulo 3 “Metodologias para avaliação de externalidades”: elenca as metodologias para avaliação de externalidades em projetos de implantação de serviços de transporte ferroviário de passageiros, destacando os indicadores e métricas necessários à aplicação prática.
- Capítulo 4 “Monetização de externalidades: proposição metodológica”: propõe uma metodologia consolidada de avaliação e monetização de externalidades e custos e benefícios socioeconômicos e ambientais que melhor se aplique à experiência brasileira de transporte ferroviário de passageiros.

2 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS EM PROJETOS (EXTERNALIDADES)

Os projetos de infraestrutura são comumente avaliados conforme a viabilidade econômica e o retorno financeiro da proposta. Cada vez mais, as melhores práticas de avaliação de projetos estão alinhadas com a necessidade de considerar outros efeitos, que não estritamente financeiros.

Muitos impactos causados pela implementação de um projeto dificilmente são captados através dos preços de mercado repassados aos usuários daquela atividade. Nesse contexto, o Ministério da Economia alerta para ocorrência de **externalidade em projetos**, definida como: “[...] custo ou benefício advindo do projeto que extravasa as transações diretas entre ofertante e usuários dos serviços do projeto, recaindo sobre terceiros sem a devida compensação” (BRASIL, 2021b, p. viii). Esses impactos podem ser negativos (custos) quando diminuem o bem-estar da sociedade, ou positivos (benefícios) quando contribuem para aumentar o bem-estar coletivo. Assim, é de fundamental importância para o planejamento adequado à identificação, à valoração e à comparação desses efeitos, a fim de determinar se a alternativa de projeto resultará em um excedente positivo ou negativo para a sociedade.

Nesse sentido, no capítulo 2 propõe-se realizar um levantamento das externalidades, entendidas como custos e benefícios socioeconômicos e ambientais, relacionadas à implementação de projetos. O levantamento inicia de forma ampla, em projetos de infraestrutura e, posteriormente, dedica-se aos projetos de transporte, em especial aos de transporte ferroviário de passageiros.

A pesquisa para identificação das externalidades foi efetuada em três etapas:

- Primeiramente, uma **pesquisa exploratória** em diversos buscadores para encontrar as principais referências técnicas e institucionais sobre a temática, com destaque para guias e manuais, resultando em 16 documentos utilizados no capítulo 2, totalizando **39 documentos** utilizados em todo o produto.
- Em seguida, após identificados os principais termos e palavras-chave sobre a temática, foi realizada uma **pesquisa sistêmica** na plataforma Scopus⁴, a fim de verificar a incidência e as aplicações do tema nas principais publicações científicas, resultando em **17 documentos** utilizados.

⁴.<https://www.scopus.com/>.

A Tabela 1 apresenta as palavras-chave utilizadas para a pesquisa, assim como os resultados obtidos.

Tabela 1 – Resultados da pesquisa sistêmica

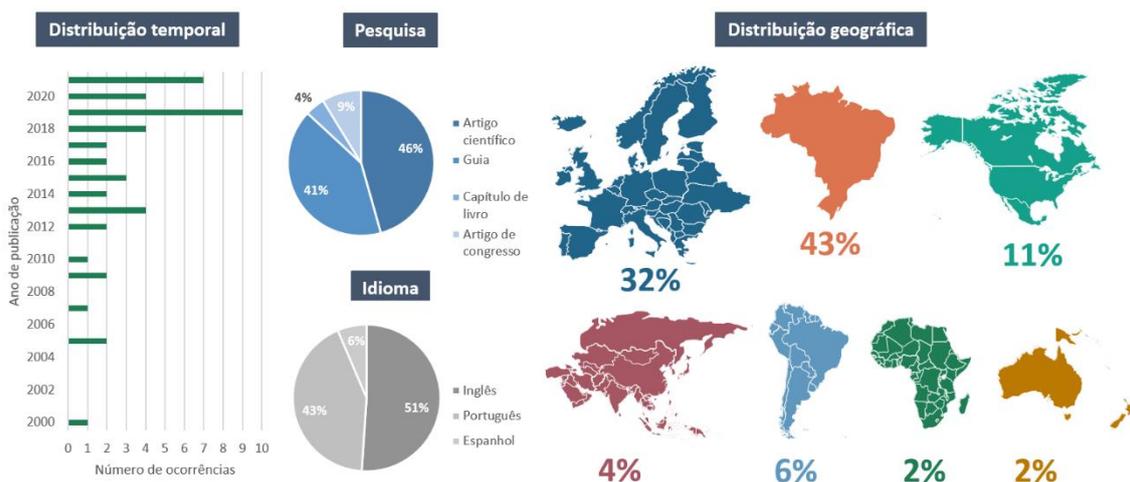
Área	Palavras-chave	Resultados	Duplicados	Critério 1 (título)	Critério 2 (resumo)	Critério 3 (utilizados)
Infraestrutura	(benefit AND “infrastructure projects”)	1.194	49	88	14	0
	(externalit* AND infrastructure)	961	350	51	26	1
	(cost* AND “infrastructure project*”)	1.637	45	72	17	1
Transporte	(benefit AND “transport projects”)	276	56	65	20	0
	(externalit* AND transport*)	1.857	201	108	42	1
	(cost* AND “transport Project*”)	282	61	54	12	0
Ferrovia	(benefit AND “transport project” AND rail*)	57	11	14	12	1
	(externalit* AND transport* AND rail*)	201	38	64	34	3
	(cost* AND “transport Project*” AND rail*)	62	4	17	5	1
Ferrovia de passageiros	(benefit AND “transport Project” AND rail* AND passenger)	11	0	7	4	1
	(externalit* AND transport* AND rail* AND passenger)	38	0	20	9	3
	(cost* AND “transport Project*” AND rail* AND passenger)	14	0	7	2	1
	(benefit AND transport AND rail* AND passenger)	467	14	31	24	4
TOTAL		7.057	829	598	221	17

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

- Por fim, foi dedicada atenção às **referências** relevantes encontradas nos documentos analisados oriundos das etapas anteriores, resultando em **14 documentos** utilizados no capítulo 2, totalizando **36 documentos** utilizados em todo o produto.

Assim, **totalizam-se 92 referências** utilizadas ao longo dos capítulos do produto, que estão contidas no Apêndice 1, Quadro 16. A Figura 1 apresenta as principais informações sobre os documentos selecionados. Destaca-se o número considerável de referências nacionais, mesmo que a maior parte das publicações seja estrangeira e em língua inglesa.

Figura 1 – Descrição das referências utilizadas



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1 Levantamento de externalidades – custos e benefícios socioeconômicos e ambientais

O capítulo 2 é dividido em três seções. Cada uma elenca as principais externalidades encontradas nas publicações selecionadas, referentes a projetos de infraestrutura, projetos de transporte em geral e, por fim, projetos de transporte ferroviário de passageiros.

2.1.1 Levantamento em projetos e estudos de infraestrutura

2.1.1.1 Comissão Europeia (CE) (EC, 2015)

O documento *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*, elaborado pela CE (2015), tem como objetivo orientar de maneira prática a avaliação e a priorização de projetos de infraestrutura na União Europeia (UE) através da aplicação da metodologia de Análise Custo-Benefício (ACB).

Em seu vasto conteúdo, referente à análise econômica dos projetos, são destacadas as avaliações de impactos de não mercado (do inglês – *non-market impacts*) e de externalidades. Como **impactos de não mercado positivos**, são elencados:

- Economia no tempo de viagem.
- Aumento da expectativa ou da qualidade de vida.
- Prevenção de fatalidades, ferimentos ou acidentes.

- Melhoria da paisagem.
- Redução de ruído.
- Redução de riscos e vulnerabilidade às mudanças climáticas atuais e futuras.

Quando não ocorrem nas transações entre o proponente e os usuários dos serviços, mas recaem sobre terceiros, os impactos dos projetos são definidos como externalidades. **Impactos ambientais**, por exemplo, são típicas externalidades, pois comumente são percebidos por toda a sociedade, com destaque para as seguintes ocorrências:

- **Ruído:** qualquer aumento ou diminuição das emissões de ruído afeta as atividades e a saúde, principalmente quando próximo de áreas densamente povoadas.
- **Poluição do ar:** emissões de poluentes atmosféricos localizados, como óxido nitroso, dióxido de enxofre etc.
- **Emissões de gases de efeito estufa (GEE):** os projetos podem emitir os gases na atmosfera de forma direta, por exemplo, através da combustão no processo produtivo, ou de forma indireta, como através da compra de eletricidade. Devido à escala dos danos causados, as emissões têm um impacto global, não havendo, portanto, relevância em relação ao local onde elas acontecem.
- **Contaminação do solo:** causada pela presença de produtos químicos, normalmente como consequência de atividade industrial, defensivos agrícolas ou descarte inadequado de resíduos.
- **Poluição da água:** ocorre quando os poluentes são lançados direta ou indiretamente em corpos d'água sem tratamento adequado para remover compostos nocivos.
- **Degradação do ecossistema:** novos projetos de infraestrutura podem esgotar as fontes de água e contribuir para a deterioração da biodiversidade, com a perda de habitats e de espécies.
- **Deterioração da paisagem:** geralmente envolve a perda de valor recreativo ou estético.
- **Vibrações:** comum em projetos de transporte, afetam sobretudo a qualidade de vida urbana.

As externalidades destacadas apresentam efeitos negativos na maior parte dos projetos de infraestrutura, impactando, além da saúde humana e do ecossistema, as atividades produtivas e de consumo. Porém, a depender da característica do projeto, se esses efeitos diminuïrem após a inclusão, as externalidades serão consideradas positivas à sociedade.

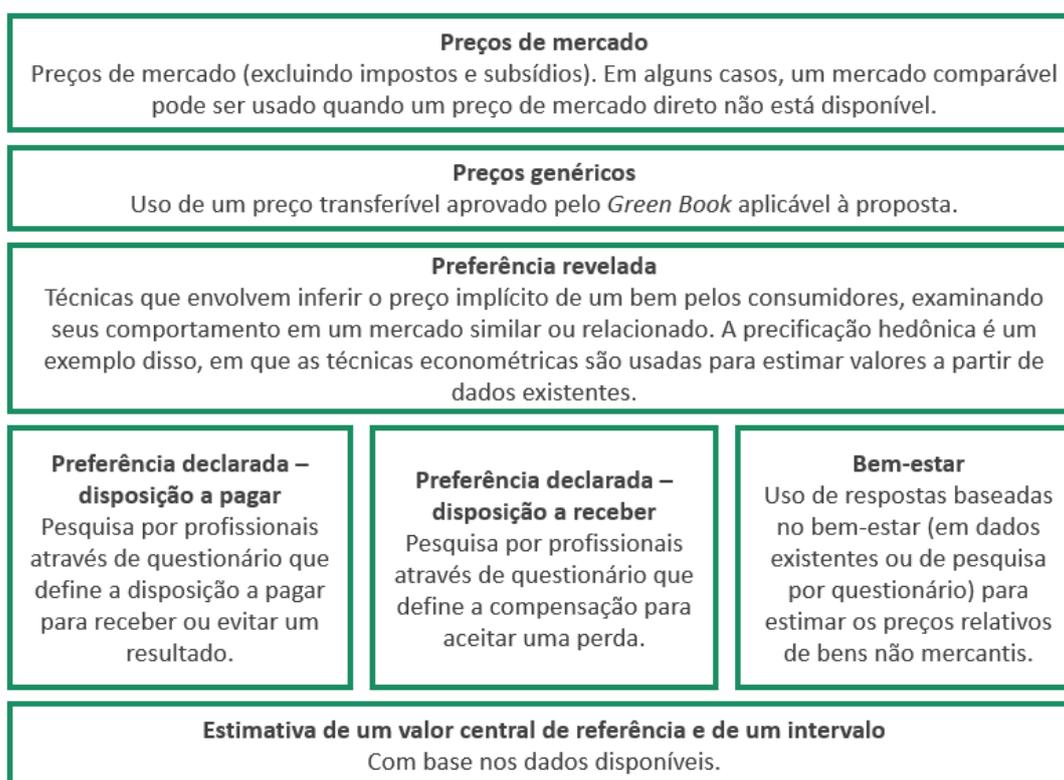
2.1.1.2 Her Majesty's (HM) Treasury (2018)

O Departamento de Governo do Reino Unido, através da publicação *The Green Book* (HM TREASURY, 2022), apresenta modelos de avaliação e monitoramento de políticas públicas, programas e projetos, servindo como referência de boas práticas na área.

No capítulo dedicado à avaliação de **custos e benefícios**, são apresentados os conceitos centrais para a proposta, destacando-se:

- **Custos de oportunidade:** os custos de utilização de ativos e recursos são definidos pelo valor que reflete o melhor uso alternativo para o qual um bem ou serviço pode ser destinado. O ponto de partida para estimar os custos de oportunidade é geralmente através dos preços de mercado.
- **Efeitos de emprego e produtividade:** surgem da mudança nos empregos, das mudanças na estrutura da economia, dos benefícios de aglomeração (decorrentes da localização próxima de empresas e/ou pessoas), do investimento, da concorrência no mercado de produtos ou da geração e fluxo de ideias.
- **Avaliação de não mercado:** custos e benefícios sociais sem um preço de mercado podem ser estimados usando uma variedade de técnicas, as quais possuem pontos fortes e fracos que precisam ser considerados nas avaliações. A Figura 2 resume e hierarquiza os principais dessas abordagens.

Figura 2 – Métodos de avaliação para preços de não mercado



Fonte: HM Treasury (2022, p. 59, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

O relatório apresenta alguns efeitos de não mercado (positivos ou negativos, a depender do sentido do impacto), que ocorrem com frequência nos diversos tipos de projetos e programas do governo, sobretudo ligados a obras de infraestrutura. No caso **de impactos no meio ambiente**, destacam-se:

- **Efeitos na qualidade do ar:** a poluição atmosférica pode ter efeitos significativos na saúde, na qualidade de vida, na atividade econômica e no funcionamento dos ecossistemas.
- **Ruído:** o ruído tem um custo social evidente, podendo afetar a saúde, o bem-estar, a produtividade e o meio ambiente.
- **Desperdício:** as propostas costumam afetar o fluxo de materiais ou resíduos, o que aumenta a possibilidade de desperdícios.
- **Recreação:** o valor recreativo do ambiente natural varia com o tipo de hábitat, a localização, a densidade populacional e a disponibilidade de oportunidades recreativas substitutas.
- **Efeitos na comodidade:** intervenções que tratam de problemas infraestruturais ou prejudiciais à saúde podem gerar benefícios para moradores, visitantes e empresas.
- **Paisagem:** a paisagem fornece o cenário para o dia a dia das pessoas. No contexto da avaliação de impactos ambientais, os benefícios da paisagem podem estar relacionados a oportunidades para atividades recreativas, experiência estética e amenidade visual.
- **Qualidade da água e recursos hídricos:** a disponibilidade, a qualidade da água e o risco de inundação provavelmente serão afetados se o uso da terra for alterado, sobretudo, em decorrência de impactos na infraestrutura.
- **Risco de inundação e erosão costeira:** inundações e erosão costeira podem levar a custos sociais nos mais diversos segmentos (por exemplo, danos à população, à propriedade, à infraestrutura e ao meio ambiente).
- **Vulnerabilidade às mudanças climáticas:** a contabilização desses efeitos fornece a possibilidade de determinar se os riscos climáticos são relevantes em relação à avaliação de uma intervenção, permitindo uma consideração do papel do clima na escala e uma distribuição de custos e benefícios ao longo da proposta.
- **Biodiversidade:** a biodiversidade, que é a variabilidade entre os diversos organismos vivos, pode ser pensada como um componente central do capital natural que fornece bens e serviços ambientais às pessoas.

Além dos efeitos no meio ambiente, destacam-se também **outras formas de impacto** passíveis de ocorrer em determinados projetos e programas, a saber:

- **Valor da terra:** mudanças no valor da terra decorrentes de alterações no seu uso podem fornecer uma maneira conveniente de estimar o impacto de uma intervenção. Os preços da terra refletem diferentes atributos do seu uso,

incluindo licenças, valor de comodidade, proximidade de centros urbanos e conectividade de transportes.

- **Eficiência energética e GEE:** a maioria das intervenções terá objetivos conflitantes com as agendas climáticas envolvendo o uso de energia e, por consequência, emissão de GEE.
- **Vida e saúde:** a saúde afeta diretamente o bem-estar e a capacidade de produzir e consumir bens ou serviços.
- **Tempo de viagem:** os valores da economia do tempo de viagem (VTTS, do inglês – *value of travel time savings*) variam de acordo com os objetivos e as características das viagens e as preferências dos viajantes individuais. No contexto da avaliação de transporte, é prática padrão desagregar o VTTS por três finalidades de viagem, que envolvem diferentes custos atribuídos, sendo:
 - Deslocamento: viagens de/para um local habitual (rotineiro)
 - Negócios: viagens realizadas no decurso do trabalho
 - Demais viagens: como compras, lazer, viagens pessoais etc.

2.1.1.3 Brasil (2021a)

Com forte influência do já consolidado guia da CE (EC, 2015), o Ministério da Economia publicou o *Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura* (BRASIL, 2021b), relatório que reúne as principais referências e práticas sobre o tema e objetiva incentivar a aplicação da metodologia ACB nos projetos de infraestrutura do País.

O guia destaca a importância dos benefícios econômicos para a avaliação dos projetos, sendo a abordagem mais comum para obter estimativas dos benefícios a mensuração direta de variações de bem-estar, pelo conceito de Disposição a Pagar (DAP)⁵. Esse conceito é aplicado tanto para a valoração de benefícios diretos do projeto, relacionados ao efetivo uso dos bens e serviços prestados, quanto para a valoração de externalidades.

Existem diversas técnicas para estimar empiricamente a DAP, a depender da natureza do efeito considerado, da disponibilidade e qualidade de dados, em que as principais abordagens são os métodos de preferência declarada, de preferência revelada e de transferência de benefícios.

São listados pelo documento, de maneira ilustrativa, alguns **benefícios diretos típicos de projetos de investimento em diversos setores de infraestrutura**, sendo estes:

⁵ Alternativamente, pode-se mensurar variações de bem-estar pelo conceito da Disposição a Receber (DAR) compensação em aplicações específicas.

- Diminuição do tempo de viagem
- Diminuição do custo de transporte (VOC, do inglês – *Vehicle Operating Costs*)
- Aumento da disponibilidade da oferta de água e esgoto
- Aumento da confiabilidade de recursos hídricos e oferta de serviços de água
- Aumento da qualidade da água
- Redução da quantidade de resíduos destinados a aterros
- Recuperação de materiais recicláveis e compostáveis
- Aumento do uso produtivo da terra (por exemplo, em projetos de irrigação)
- Aumento da disponibilidade de energia elétrica
- Redução nas perdas da transmissão ou da distribuição de energia elétrica
- Aumento da segurança e da confiabilidade na oferta de energia elétrica
- Redução dos custos de energia
- Aumento da segurança operacional (redução de acidentes com e sem vítimas)
- Aumento da qualidade e cobertura de serviços digitais.

Em consonância com o guia europeu (EC, 2015), o guia de avaliação ACB para projetos de infraestrutura do Ministério da Economia apresenta uma **listagem de externalidades ambientais**, a saber:

- Ruído
- Poluição atmosférica
- Emissão de GEE
- Contaminação do solo
- Poluição de corpos hídricos
- Degradação de ecossistemas
- Deterioração de paisagens
- Vibrações.

Em situações de ineficiência dos mercados secundários, efeitos adicionais surgirão à medida que o impacto do investimento for transmitido aos demais setores. Com isso, em determinados projetos, há a ocorrência de efeitos indutivos, indiretos e de segunda ordem, conhecidos na literatura internacional como WEIs (do inglês – *wider economic impacts*). Os WEIs são comumente classificados em três categorias:

- i. **Efeitos sobre investimento induzido:** referem-se aos impactos de investimentos em mercados secundários como uma resposta a um projeto de infraestrutura que resultam em mudanças na capacidade produtiva da economia de uma determinada região. Tais efeitos são, assim, resultado de mudanças comportamentais em termos de decisões de investimentos privados que foram induzidas a partir de uma intervenção em um outro setor da infraestrutura.
- ii. **Efeitos sobre mercado de trabalho:** referem-se a mudanças no nível e na localização de empregos que resultam de um projeto de infraestrutura. Dessa maneira, o investimento em um projeto de infraestrutura pode impactar também indiretamente a produtividade de uma região a partir da indução de mudanças comportamentais relacionadas à oferta de mão de obra.
- iii. **Efeitos de aglomeração:** referem-se ao ganho de produtividade que ocorre com o aumento da densidade da atividade econômica. Ou seja, acontece quando indivíduos ou empresas potencializam sua produtividade por estarem localizados próximos a outros indivíduos e empresas, formando agrupamentos mais densos. Economias de aglomeração surgem, por conseguinte, do efeito combinado de diversas reduções dos custos de transações econômicas.

2.1.1.4 Gilchrist e Allouche (2005)

O estudo busca identificar os impactos adversos e avaliar os custos sociais associados a projetos de construção civil. Como ponto de partida, os autores definem custos sociais como o “[...] equivalente monetário de recursos consumidos, perda de renda e de bem-estar vivido pelas partes não engajadas no contrato acordado, unicamente devido ao processo de construção” (GILCHRIST; ALLOUCHE, 2005, p. 89, tradução nossa).

Os **custos sociais são elencados a partir de certos indicadores**, mensuráveis e quantificáveis em termos monetários, resultando de um ou mais impactos adversos sobre o ambiente da construção. Os **indicadores** identificados por Gilchrist e Allouche (2005) são classificados conforme os três grupos de divisão listados na sequência:

- i. Trânsito:
 - Perda de espaço de estacionamento
 - Consumo de combustível
 - Aceleração da deterioração das estruturas pavimentadas

- Atraso na viagem
- Acidentes
- Conflitos na rua.
- ii. Atividade econômica:
 - Perda de renda
 - Redução de produtividade
 - Redução da receita de impostos
 - Danos à propriedade.
- iii. Sistemas sociais, ambientais e de saúde:
 - Redução da qualidade de vida
 - Custo de seguro saúde e de despesas médicas
 - Custo de restauração.

São elencados também **impactos adversos**, classificados em três grupos e listados a seguir:

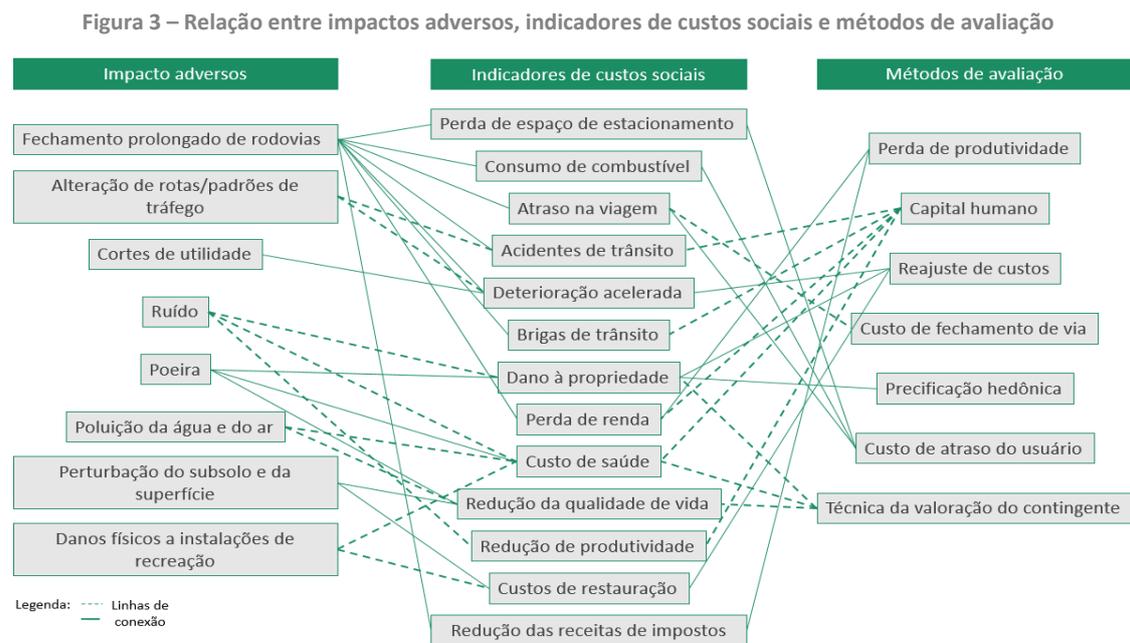
- i. Trânsito:
 - Fechamento prolongado das rodovias: a necessidade de movimentação de maquinário, bem como de estabelecer corredores de entrada e de saída e regiões de proteção para a equipe, pode gerar impactos adversos nas vias próximas, como o aumento do congestionamento, a redução de espaços de estacionamento e o aumento no tempo de trajeto.
 - Alterações de trajeto: resultam no redirecionamento do tráfego para vias secundárias, que não são normalmente utilizadas nem apropriadas para o trânsito intenso, podendo gerar danos ao pavimento, que por sua vez encurta o tempo de reparos requisitados.
 - Perda de utilidade: muitas vezes, a construção de reabilitação ou a subterrânea demandam destruir e posteriormente reparar a pavimentação da superfície, gerando uma redução da vida útil das estruturas pavimentadas bem como do conforto em sua utilização.
- ii. Poluição:
 - Ruído: os ruídos, caracterizados como sons com potencial para gerar incômodos ou distúrbios em pessoas, causando impactos adversos por meio de efeitos psicológicos ou fisiológicos, são muito comuns na construção civil.
 - Poeira: a poeira produzida por construções pode gerar distúrbios diretos num perímetro de até 150 m do local de construção. Ademais, pode danificar sistemas elétricos e mecânicos bem como diminuir a visibilidade. Os custos sociais relacionados incluem limpeza e manutenção, a redução da produção agrícola e a diminuição da qualidade estética do ambiente.

- Vibração: os efeitos da vibração podem variar desde distúrbios simples até danos estruturais visíveis. Podem gerar a percepção de falta de segurança, bem como impactar a sensibilidade do uso de máquinas. Os custos sociais relacionados ao impacto da vibração nas pessoas não são catalogados.
- Poluição do ar: o maquinário empregado em construções emite diversos tipos de gases que contribuem para a poluição do ar.

iii. Impactos ecológicos:

- Distúrbio da superfície e do subsolo: projetos de construção podem interceptar correntes de água, afetando seu volume, velocidade e fluxo, sendo capaz de gerar erosões, inundações e alterações no curso de rios. Os impactos desses fatores são passados para a biodiversidade da região, de modo que podem causar sua redução, sendo prejudicial à agricultura, às estruturas e às encostas.
- Dano de recreação a regiões naturais: os impactos de construção, como ruído e poluição, podem alcançar parques florestais, rios e cachoeiras utilizados para fins recreativos por tempo indeterminado, mesmo após a finalização do projeto.

Nesse contexto, a Figura 3 relaciona os custos sociais e os impactos adversos, elencando os possíveis métodos de valoração e a avaliação referente a cada efeito, ligados por linhas que têm o mesmo sentido, alternando o formato apenas para facilitar a visualização das conexões.



Fonte: Gilchrist e Allouche (2005, p. 93, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.2 Levantamento em projetos e estudos de transporte

2.1.2.1 Comissão Europeia (CE) (EC, 2015)

O documento *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects* (EC, 2015), elaborado pela CE, tem como objetivo orientar, de maneira prática, a avaliação e a priorização de projetos de infraestrutura através da aplicação da metodologia de ACB. Esse documento apresenta uma seção referente a projetos em setores específicos, entre estes o de transporte. No que se refere à análise econômica dos projetos de transporte, é apontado que os principais benefícios diretos são mensurados pelos excedentes do consumidor e do produtor.

O excedente do consumidor é definido como a DAP dos usuários sobre os custos de transporte. Na prática, os custos são entendidos como despesas financeiras incorridas (por exemplo, combustível, pedágio, tarifa etc.) somado o tempo de deslocamento em valores monetários. Já o excedente do produtor é definido como as receitas acumuladas (por exemplo, as tarifas pagas pelos usuários) subtraídos os custos suportados, sobretudo os operacionais. Cabe destacar que no setor de transporte se entende produtor como a junção entre proprietário e operador.

Além dos **benefícios diretos**, os projetos de transporte costumam gerar impactos de não mercado, relevantes sobretudo no que tange à segurança dos usuários e ao meio ambiente. O Quadro 1 elenca os efeitos destacados, podendo ser **benefícios ou custos**, a depender do impacto positivo ou negativo causado pelo projeto implementado e seus respectivos métodos de valoração.

Quadro 1 – Benefícios (ou custos) típicos de projetos de transporte

Efeitos	Método de valoração
Economia de tempo de viagem	Preferências declaradas Preferências reveladas (pesquisas multifuncionais em domicílios/empresas) Abordagem de redução de custos
Economias nos custos operacionais do veículo	Valor de mercado
Custos operacionais das transportadoras	Valor de mercado
Economia de acidentes	Preferências declaradas Preferências reveladas (método do salário hedônico) Abordagem de capital humano
Variação nas emissões de ruído	Compensação da DAP sobre a DAR Método de preço hedônico
Variação na poluição do ar	Preço sombra dos poluentes do ar
Variação nas emissões de GEE	Preço sombra das emissões de GEE

Fonte: EC (2015, p. 88, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.2.2 Brasil e EPL (2021)

Com o intuito de ilustrar a aplicação da metodologia ACB no setor de transportes, o *Manual de Análise de Custo-Benefício para Projetos de Investimento em Transporte* (BRASIL; EPL, 2021) é parte de uma série de ações que a Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI) vem promovendo, a fim de consolidar a utilização de melhores práticas internacionais de avaliação e priorização de projetos de investimento em infraestrutura.

Compilados no Quadro 2, listam-se os **benefícios econômicos típicos de projetos de investimento em transporte** e seus respectivos métodos de avaliação a serem considerados na análise econômica.

Quadro 2 – Benefícios econômicos em projetos de transporte

Efeito	Método de avaliação
Diminuição do tempo de viagem	Preferência declarada Preferência revelada Abordagem da economia de custos
Diminuição do VOC	Valor de mercado Abordagem da economia de custos
Diminuição dos custos operacionais das transportadoras	Valor de mercado
Diminuição de acidentes	Preferência declarada Preferência revelada Abordagem do capital humano

Fonte: Brasil e EPL (2021). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Os **benefícios** listados são detalhados a seguir:

- **Tempo de viagem:** a redução no tempo de viagem é um dos benefícios mais significativos que podem surgir em projetos de investimento em transporte, seja na construção de infraestruturas novas, seja em aprimoramentos ou ampliação de capacidade de infraestruturas existentes. Para a avaliação, há a divisão entre tempo de viagem de passageiros e de cargas.
 - Tempo de viagem de passageiros: existem diferentes métodos para avaliar o valor que os passageiros atribuem à redução do tempo de suas viagens. Neles, geralmente, é feita a distinção entre viagens a trabalho e a lazer, permitindo o cálculo do valor do tempo conforme a renda média dos viajantes e a motivação da viagem.
 - Tempo de viagem de cargas: a redução do tempo de viagem beneficia o tráfego de cargas nos seguintes aspectos:
 - Redução de custos com motoristas por viagem e eventuais equipes que precisem viajar com a carga.
 - Redução de custos operacionais dos veículos.
 - Melhor aproveitamento do equipamento (ganho de produtividade).
 - Maior pontualidade na entrega das mercadorias transportadas.

- **Confiabilidade de tempo de viagem:** se os tempos de viagem forem mais previsíveis, os operadores de transporte podem planejar melhor suas viagens e otimizar seus recursos, pois poderiam reduzir a margem de segurança nos horários de partida. Para os passageiros, representa uma economia de tempo relevante, que pode ser utilizado para atividades produtivas ou lazer.
- **Redução de custos operacionais de transporte:** o conceito do VOC é relacionado aos custos do transporte rodoviário, porém projetos de outros modos de transporte podem afetá-lo, por exemplo, quando ocorre a migração do transporte rodoviário para o ferroviário após investimentos em uma nova ferrovia. Assim, o VOC é tratado como um custo econômico geral de transporte.
- **Acidentes:** todos os modos de transporte implicam um risco de acidente para os usuários, por falha mecânica ou, na maioria das vezes, por erros humanos. A qualidade e a integração dos sistemas de sinalização e de segurança contribuem para redução das taxas de acidentes, e isso deve ser levado em consideração na análise econômica. Questões de segurança no transporte estão principalmente relacionadas ao tráfego rodoviário; assim, o benefício econômico surge não apenas como resultado de melhores condições de segurança viária, mas também, indiretamente, pelo tráfego desviado para outros modos mais seguros.

Referente às **externalidades nos projetos de infraestrutura em transportes**, o guia setorial da metodologia ACB, desenvolvido pelo Ministério da Economia, elenca os principais efeitos, com destaque para:

- **Emissões de GEE:** referente ao transporte, as principais emissões de GEE são de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Para se estimar o volume total das emissões geradas ou evitadas por tipo de veículo para os vários modos, deve-se multiplicar os fatores de emissão pelo volume de transporte, levando em consideração relações entre demanda e capacidade, bem como relações de consumo de combustível e velocidade.
- **Poluição atmosférica:** os investimentos em transporte podem afetar consideravelmente a qualidade do ar, reduzindo ou aumentando o nível de emissão de poluentes. O proponente deve levar em conta o custo econômico da poluição atmosférica com base nos seguintes impactos:
 - Efeitos na saúde: aspirar material particulado (MP⁶), ou gases poluentes emitidos pelos sistemas de transporte, aumenta o risco de doenças respiratórias e cardiovasculares.
 - Danos a edifícios e materiais: poluentes atmosféricos podem causar danos a edificações e materiais de duas formas:
 - Degradando as superfícies dos edifícios com partículas e sujeira.
 - Degradando as fachadas e os materiais por meio de processos corrosivos devido a poluentes acidificantes.

⁶ O MP é gerado pela queima de combustível.

- Perdas de colheitas: o ozônio e as substâncias acidificantes causam danos à agricultura, significando uma diminuição das colheitas quando ocorre o aumento da concentração dessas substâncias.
- Impactos nos ecossistemas e na biodiversidade: danos ao ecossistema são causados por poluentes do ar que levam à acidificação e à eutrofização, que, por sua vez, têm impacto negativo na biodiversidade.
- **Poluição sonora:** a poluição sonora pode ser definida como o som externo indesejável ou prejudicial criado por atividades humanas, incluindo ruídos emitidos por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e de locais de atividade industrial. O custo econômico do ruído é dado por:
 - Aborrecimento que resulta em restrições ao desfrute de atividades desejadas.
 - Efeitos negativos à saúde, como risco de doenças cardiovasculares que podem ser causadas por níveis de ruído acima de 50 dB.
 - Dado que a emissão de ruídos tem impacto local, a magnitude do efeito está associada à distância da infraestrutura, assim quanto mais próximo do local do projeto, maior o desconforto causado pela emissão do ruído.
- **Poluição visual:** pode ser definida como o dano causado sobre a paisagem devido ao projeto de transporte. O custo econômico da poluição visual é dado pelo decréscimo marginal do bem-estar gerado pela alteração da paisagem como consequência do projeto, que pode variar de acordo com a região (urbana, rural, residencial e comercial), a proximidade, a densidade populacional e a importância da alteração.
- **Efeitos indutivos, indiretos e de segunda ordem:** se a economia tiver distorções e ineficiências, podem surgir benefícios (ou custos) adicionais à medida que o impacto das melhorias nos transportes é transmitido à economia em geral. Esses efeitos são divididos em três principais categorias, exemplificadas na sequência:
 - Efeitos sobre investimento induzido: efeitos de investimento em outro setor causados por um investimento inicial no setor de transporte. Por exemplo, quando a melhoria da acessibilidade causada por um projeto de transporte induz um investidor do mercado imobiliário a substituir uma casa térrea por um bloco de apartamentos, aumentando a intensidade do uso do solo.
 - Efeitos sobre mercado de trabalho: quando a melhoria da acessibilidade causada por um projeto de transporte induz a população beneficiada a aumentar seu nível de qualificação profissional (acessando oportunidades educacionais mais distantes) ou a entrar no mercado de trabalho, seja pela primeira vez, seja em outras oportunidades de emprego mais produtivas do ponto de vista econômico.
 - Efeitos de aglomeração: se a produtividade do setor de manufatura é elástica em relação à densidade populacional, um projeto de infraestrutura que induza um aumento de densidade (a construção de um novo aeroporto, por exemplo) irá também induzir um ganho de produtividade indireto no setor manufatureiro.

2.1.2.3 Comissão Europeia (CE) (SCHROTEN; BRUYN, 2019)

Publicado pela CE, o *Handbook on the external costs of transport* (SCHROTEN; BRUYN, 2019) apresenta as melhores abordagens para estimar as diferentes categorias de custos externos presentes nas atividades de transporte. Além disso, destaca metodologias de quantificação e fatores para os principais custos, considerando todos os modos de transporte relevantes: rodoviário, ferroviário, navegação interior, aviação e transporte marítimo. Os **custos externos destacados** pelo relatório são:

- **Custos de acidentes:** acidentes ocorrem em todos os modos de transporte e resultam em custos substanciais, consistindo em dois tipos de componentes:
 - Custos de material: por exemplo, danos a veículos e custos administrativos.
 - Custos imateriais: por exemplo, perda de vidas, sofrimento e tristeza.

Os preços de mercado podem ser usados para calcular os custos de material, no entanto não existem tais preços para os custos imateriais. Além disso, parte dos custos totais de acidentes já está internalizada, por exemplo, por meio de prêmios de seguro. Os principais componentes dos custos de acidentes são:

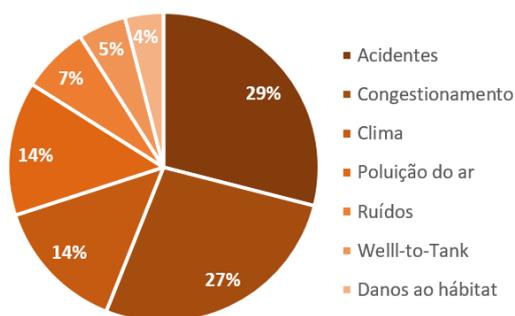
- **Custos humanos:** *proxy* para estimar a dor e o sofrimento causados pelos acidentes de trânsito em valor monetário. Nos casos de lesões, cobre o sofrimento da vítima e, em casos de fatalidades, cobre a perda de utilidade da vítima.
- **Custos médicos:** referentes às despesas do tratamento médico da vítima com hospital, reabilitação, medicamentos etc., do momento do acidente até a recuperação completa da lesão ou, no caso de acidentes fatais, até a morte.
- **Custos administrativos:** cobrem as despesas do destacamento policial, do corpo de bombeiros e de outros serviços de emergência (não médicos) que auxiliam no local do acidente. Além disso, incluem-se os custos relacionados à justiça, como os de acusação de infratores e os de ações judiciais.
- **Perdas de produção:** consiste no valor líquido das perdas de produção devido à redução do tempo de trabalho e à reposição de capital humano. É considerada também a impossibilidade de realizar trabalho não mercantil, como trabalhos domésticos ou voluntariado.
- **Danos materiais:** consiste no valor monetário de danos a veículos, infraestrutura, fretes e bens pessoais decorrentes de acidentes. Esse componente é assumido como totalmente internalizado pelos participantes do tráfego por meio de seguro.
- **Outros custos:** cobre os custos de congestionamento resultantes de acidentes rodoviários, indisponibilidade de veículos e custos de funeral. Grande parte destes já está incorporada em outros custos externos. Cabe destacar que os custos relacionados à prevenção de acidentes não são incluídos nos custos deles.

- **Custos da poluição atmosférica:** a emissão de poluentes atmosféricos pode acarretar diversos tipos de danos, sendo aqueles sobre a saúde notadamente mais divulgados. O relatório destaca os seguintes impactos causados pela emissão de poluentes atmosféricos relacionados ao transporte:
 - Efeitos na saúde: a inalação de poluentes do ar leva a um maior risco de doenças respiratórias e cardiovasculares. Esses efeitos negativos para a saúde levam a custos de tratamento, à perda de produção no trabalho e, em alguns casos, até mesmo à morte.
 - Perdas de colheitas: um aumento da concentração de ozônio e de outras substâncias pode levar a um menor rendimento das plantações (por exemplo, para o trigo).
 - Danos materiais e prediais: os poluentes atmosféricos podem causar danos a edifícios e outros materiais, devido a processos de corrosão causados por substâncias ácidas, por exemplo, óxido de nitrogênio (NO_x) ou óxido de enxofre (SO_x).
 - Perda de biodiversidade: os poluentes atmosféricos podem causar danos aos ecossistemas, atingindo a flora e a fauna. Sendo os danos de maior destaque a acidificação do solo e a eutrofização dos ecossistemas.
- **Custos de mudanças climáticas:** os efeitos das mudanças climáticas são globais, de longo prazo e têm riscos difíceis de prever. As atividades de transporte resultam em emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), e GEE, que contribuem para as mudanças climáticas.
- **Custos de ruído:** o ruído do tráfego é geralmente percebido como uma desutilidade e é acompanhado por custos significativos. Esse efeito representa um problema ambiental crescente devido à tendência de maior urbanização e aumento do volume de tráfego, mesmo com a potencial melhoria dos veículos em relação à emissão de ruídos.
- **Custos de congestionamento:** especialmente no modo rodoviário, surgem quando um veículo adicional reduz a velocidade de outros veículos do fluxo e, por consequência, aumenta o tempo de viagem. Esta abordagem não pode ser alargada a outros modos de transporte, como o ferroviário e o aéreo, uma vez que estes prestam essencialmente serviços regulares e planejados com base na capacidade alocativa de redes e nós.
- **Custos de emissões *well-to-tank*:** inclui a produção de todos os diferentes tipos de fontes de energia que levam a emissões e a outras externalidades. Todos os processos da cadeia energética (extração, processamento, transporte e transmissão) levam à emissão de poluentes atmosféricos, GEE e outras substâncias, sendo muito relevantes em termos de custos externos, principalmente para os modos de transporte movidos a eletricidade.
- **Custos de danos ao hábitat:** a atividade de transporte causa efeitos diversos na natureza, na paisagem e nos habitats naturais. Os principais efeitos negativos são:
 - Perda de hábitat: a infraestrutura de transporte requer terra e/ou superfícies naturais, ocasionando prejuízos para esses ecossistemas utilizados, sobretudo na fase de construção, mas podendo perdurar ao longo da vida útil da infraestrutura.

- Fragmentação do hábitat: a infraestrutura de transporte também pode causar efeitos de separação para os animais, especialmente com a construção de autoestradas e linhas ferroviárias de alta velocidade, causando efeitos adversos para espécies e consequentemente sobre a biodiversidade.
- Degradação do hábitat devido às emissões: a degradação do hábitat também pode ocorrer através da emissão de poluentes atmosféricos e de outras substâncias tóxicas (por exemplo, metais pesados). Esses efeitos levam novamente à perda de biodiversidade e, portanto, a custos externos.
- **Custos da poluição do solo e da água:** as atividades de transporte podem causar impactos negativos no solo e na água, sendo acima de tudo causados por:
 - Metais pesados: sobretudo nos modos rodoviário e ferroviário.
 - Substâncias tóxicas orgânicas: em todos os modos de transporte.
 - Resíduos e águas de lastro: no transporte marítimo.
 - Derramamentos de óleo: o impacto potencial é muito maior no transporte marítimo.
- **Outras externalidades de transporte:** existem outras externalidades negativas do transporte que podem ser mencionadas, mas que são apenas parcialmente cobertas na literatura, não tendo fatores de custos bem aceitos, por exemplo:
 - Custos de fragmentação em áreas urbanas: grandes infraestruturas de transporte em áreas urbanas (principalmente autoestradas e grandes linhas ferroviárias) levam a efeitos de separação e perdas de tempo para pedestres.
 - Custo dos riscos nucleares: o risco de um incidente nuclear tem uma probabilidade muito baixa, mas um potencial de dano potencialmente muito alto, sendo, portanto, difícil quantificar os custos externos correspondentes.

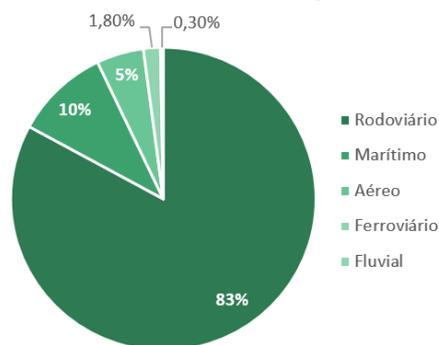
O relatório ainda apresenta de forma gráfica alguns resultados sobre o levantamento dos custos externos, envolvendo pesquisas realizadas nos 28 Estados-Membros da União Europeia (UE28).

Gráfico 1 – Diferentes categorias dos custos externos totais em 2016 para os UE28



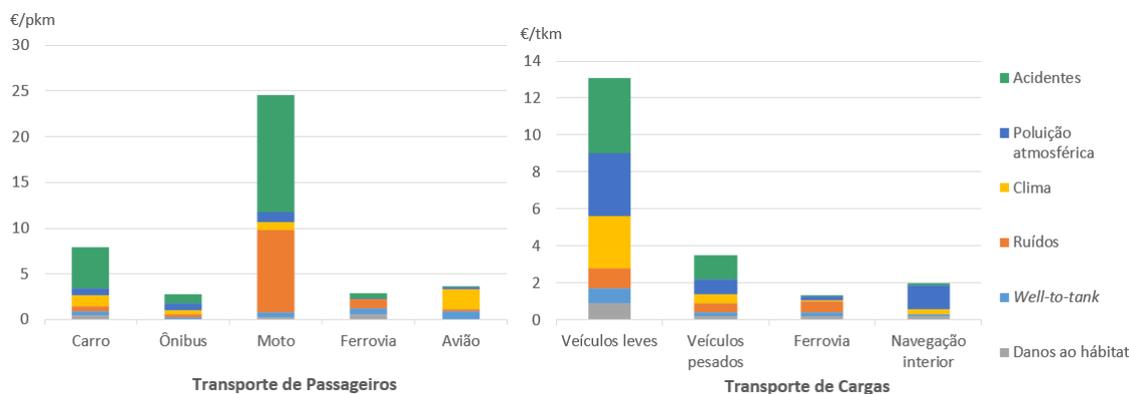
Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 152, tradução nossa).
Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Gráfico 2 – Diferentes modos de transporte para os custos externos totais em 2016 para os UE28



Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 152, tradução nossa).
Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Gráfico 3 – Custos externos médios em 2016 para os UE28: transporte de passageiros e mercadorias (excluindo congestionamentos)



Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 158, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.2.4 UK Department for Transport (DfT, 2021b)

O TAG (do inglês – *Transport Analysis Guidance*) (DfT, 2021b) é um documento elaborado pelo Departamento de Transportes (DfT, do inglês – Department for Transport) do Reino Unido, que apresenta uma série de informações relacionadas ao setor de transporte, especialmente referente à modelagem e à avaliação de projetos. Atualizado sistematicamente e disponibilizado no formato virtual, o TAG tem como objetivo servir de modelo aos projetos avaliados pelo DfT, sendo também um norteador das melhores práticas em transporte para os demais casos.

A seção do guia dedicada à metodologia ACB traz os **impactos mais frequentes na avaliação de projetos de transporte**. O Quadro 3 apresenta a compilação desses impactos, categorizando-os conforme a área e a possibilidade de monetização.

Quadro 3 – Síntese dos impactos no setor de transporte

Categoria do Impacto	Impactos Tipicamente Monetizados	Impactos Que Podem Ser Monetizados Mas Não São Reportados Na ACBM*	Impactos Atualmente Não Monetizados
Economia	- Clientes e fornecedores do setor privado (incluindo as receitas)	- Impacto de confiabilidade dos clientes - Impactos econômicos mais amplos	-
Meio ambiente	- Ruídos - Qualidade do ar - GEE	- Paisagem	- Paisagem urbana - Ambiente histórico - Biodiversidade - Ambiente aquático
Social	- Viagens pendulares e outros usuários - Acidentes - Atividade física - Qualidade da viagem	- Impacto de confiabilidade sobre viagens pendulares e outros usuários - Opção e valores de existência	- Segurança - Acesso a serviços - Acessibilidade de preços - Separação social**
Contas públicas	- Custo para orçamentos amplos em transporte - Receitas de tributos indiretos	-	-

* Análise Custo-Benefício Monetizado.

** Separação social (do inglês – *social severance*) diz respeito aos efeitos negativos de certas infraestruturas nas interações sociais.

Fonte: DfT (2021a, p. 3, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Referente ao impacto econômico, os investimentos em transporte podem acarretar o aumento da oferta de mão de obra, através da melhoria na acessibilidade e da diminuição dos custos de deslocamento com a expansão das viagens, representando um aumento do retorno efetivo do trabalho e do capital.

Os impactos ambientais elencados no Quadro 3 são divididos em duas categorias principais, aqueles:

- **Causados pela mudança no tráfego** (no caso de rodoviário ou ferroviário): ruído, poluição do ar e GEE.
- **Causados na área circundante por nova ou melhorada infraestrutura**: paisagem natural, paisagem urbana, biodiversidade, patrimônio histórico e ambiente aquático.

2.1.2.5 VTPI (2011)

O relatório *Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications*, publicado pelo Victoria Transport Policy Institute (VTPI, 2011), é um documento robusto que compreende a pesquisa de benefícios e custos aplicados ao setor de transporte, considerando diferentes modos e condições de viagem. A publicação elenca as seguintes categorias de **custos em transporte**:

- **Propriedade do veículo:** custos fixos pela propriedade de um veículo.
- **Operação do veículo:** custos variáveis do veículo, incluindo combustível, óleo, pneus, pedágios e taxas de estacionamento de curta duração.
- **Subsídios operacionais:** subsídios financeiros para serviços de transporte público.
- **Tempo de viagem:** o valor do tempo usado para viagem.
- **Colisão (interno):** custos de colisão suportados diretamente pelos viajantes.
- **Colisão (externo):** custos de colisão que um viajante impõe aos outros.
- **Benefícios internos da atividade:** benefícios para a saúde do viajante pela atividade de transporte.
- **Benefícios externos da atividade:** benefícios para a saúde da sociedade pela atividade de transporte.
- **Estacionamento interno:** estacionamento residencial fora da via e alugado por longa duração, pago pelos usuários.
- **Estacionamento externo:** custos de estacionamento fora da via não pagos diretamente pelos usuários.
- **Congestionamento:** custos de congestionamento impostos a outros usuários da via.
- **Instalações rodoviárias:** despesas de construção e operação de instalações rodoviárias não pagas por taxas de usuário.
- **Valor do terreno:** valor do terreno usado em faixas de servidão em vias públicas.
- **Serviços de trânsito:** custos de prestação de serviços de trânsito, como policiamento de trânsito e serviços de emergência.
- **Diversidade de transporte:** valor para a sociedade de um sistema de transporte diversificado, especialmente para não motoristas.
- **Poluição do ar:** custos das emissões de poluição do ar dos veículos.
- **Poluição por GEE:** custos do ciclo de vida dos GEE que contribuem para as mudanças climáticas.
- **Ruído:** custos das emissões de poluição sonora dos veículos.
- **Externalidades de recursos:** custos externos do consumo de recursos, particularmente petróleo.
- **Efeito barreira:** atrasos que as estradas e o tráfego causam em viagens não motorizadas.
- **Impactos do uso do solo:** aumento dos custos do uso do solo espalhado e orientado para o automóvel.
- **Poluição da água:** poluição da água e impactos hidrológicos causados por meios de transporte e veículos.
- **Resíduos:** custos externos associados à eliminação de resíduos de veículos.

Listados os custos, o Quadro 4 os desagrega em três categorias específicas, detalhadas a seguir:

- i. Interno/externo: o custo é interno quando os usuários arcam diretamente com ele.
- ii. Variável/fixo: o custo é variável quando for relacionado à quantidade de viagens.
- iii. Mercado/não mercado: o custo de mercado envolve bens negociados regularmente em mercados competitivos.

Quadro 4 – Categorias dos custos de transporte

Custo	Interno/externo	Variável/fixo	Mercado/não mercado
Propriedade do veículo	I	F	M
Operação do veículo	I	V	M
Subsídios operacionais	E	F	M
Tempo de viagem	I	V	N-M
Colisão (interno)	I	V	N-M
Colisão (externo)	E	V	M e N-M
Benefícios internos da atividade	I	V	M e N-M
Benefícios externos da atividade	E	V	M e N-M
Estacionamento interno	I	F	M
Estacionamento externo	E	V	M
Congestionamento	E	V	M e N-M
Instalações rodoviárias	E	V	M
Valor do terreno	E	F	M
Serviços de trânsito	E	V	M
Diversidade de transporte	E	V	N-M
Poluição do ar	E	V	N-M
Poluição por GEE	E	V	M e N-M
Ruído	E	V	N-M
Externalidades de recursos	E	V	M e N-M
Efeito barreira	E	V	N-M
Impactos do uso do solo	E	F	M e N-M
Poluição da água	E	V	N-M
Resíduos	E	V	N-M

Fonte: VTPI (2011, p. 3, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.2.6 Demir *et al.* (2015)

Com a finalidade de avaliar em termos quantitativos as externalidades no setor de transporte de mercadorias, Demir *et al.* (2015) promoveram um levantamento de **externalidades estritamente negativas** acerca dos modos de transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo. São apontadas pelos autores como as externalidades mais relevantes:

- **Poluição atmosférica:** emissões podem ser categorizadas com base nos impactos de escala local, regional ou global, e afetam pessoas, vegetação, construções e clima.
- **GEE:** causam mudanças atmosféricas e perturbações climáticas que são prejudiciais aos ambientes naturais e às construções, representando riscos também à saúde.
- **Poluição sonora:** quando os ruídos são graves ou a duração é longa o suficiente, podem ocorrer problemas de saúde (por exemplo, estresse, distúrbios do sono, doenças cardiovasculares e perda auditiva de curto ou longo prazo).
- **Poluição da água:** apesar de estar mais ligada ao transporte marítimo, com o derramamento de petróleo e produtos químicos, a qualidade da água também pode ser afetada pela poluição do ar (por exemplo, chuva ácida), causada por outros modos de transporte.
- **Congestionamento:** presente principalmente no transporte rodoviário, acontece nas redes de transporte quando os veículos competem individualmente por uma capacidade limitada. Está relacionado diretamente com o aumento do tempo de viagem, com os custos operacionais e com a falta de confiabilidade em atividades de viagem. Indiretamente, resulta também no aumento do custo de combustível, na poluição do ar, na poluição sonora e nos níveis de estresse.
- **Acidentes:** ligados aos custos dos serviços de emergência, ao atraso no trânsito e aos custos psicológicos para as famílias.
- **Uso do solo:** decisões de planejamento de transporte influenciam diretamente o uso da terra, afetando a quantidade de terra usada para instalações de transporte e, indiretamente, afetando os locais e projetos de desenvolvimento em infraestrutura.

O Quadro 5 apresenta as externalidades levantadas pelo estudo, destacando a relevância de cada uma de acordo com cada modo de transporte.

Quadro 5 – Relevância das externalidades negativas por modo de transporte

Externalidades negativas	Rodoviário	Ferrovário	Marítimo	Aéreo	Dutoviário
Poluição atmosférica	***	**	**	**	*
GEE	***	**	**	**	*
Poluição sonora	***	**	**	**	*
Poluição da água	*	*	***	*	*

Externalidades negativas	Rodoviário	Ferroviário	Marítimo	Aéreo	Dutoviário
Congestionamento	***	*	*	*	*
Acidentes	**	*	*	*	*
Uso do solo	**	**	*	*	*

Legenda: *pequena; **média; ***grande.

Fonte: Demir *et al.* (2015, p. 99, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Nesse sentido, entre as externalidades com maior relevância para o **transporte ferroviário**, destacam-se:

- **Poluição atmosférica e emissão de GEE:** dependem de como o trem é movido, se por diesel ou eletricidade.
 - Diesel: há emissões pelo consumo desse combustível no transporte.
 - Elétrico: não há emissões significativas pelo trem, porém são levadas em consideração as emissões geradas pela fonte de energia, logo calcula-se o consumo de energia no transporte.
- **Poluição sonora:** ocorre devido ao ruído de tração e de rolamento do trem. No que diz respeito ao impacto, as seguintes variáveis são relevantes:
 - Horário de tráfego
 - Trem novo ou usado
 - Velocidade
 - Comprimento do trem
 - Tipo dos freios
 - Qualidade da via
 - Tipo dos dormentes
 - Duração da viagem.

2.1.2.7 Tirachini, Hensher e Rose (2013)

Tirachini, Hensher e Rose (2013) destacam o papel da **aglomeração de passageiros** como uma das principais externalidades para os usuários, geradas pelo transporte público de passageiros. Nesse sentido, como efeitos negativos dessa externalidade, destacam-se:

- **Tempo no veículo:** com o aumento da densidade de passageiros no veículo, aumenta-se, também, o tempo de condução devido aos efeitos de atrito ou de aglomeração entre os passageiros, que dificultam a mobilidade dentro do transporte.

- **Tempo de espera:** com uma alta taxa de ocupação, cresce a chance de os ônibus ou trens circularem cheios em alguns trechos, impossibilitando o embarque de passageiros que esperam pelos veículos e aumentando o tempo de espera e o desconforto do trajeto.
- **Confiabilidade do tempo de viagem:** com o tempo de espera e de viagem variando de acordo com a taxa de ocupação, a imprevisibilidade reduz a confiança naquela opção de transporte.
- **Bem-estar:** relacionado às percepções de risco para segurança e proteção pessoal, ao aumento de ansiedade, ao estresse e à sensação de exaustão, à sensação de invasão de privacidade, à propensão ao atraso e possível perda de produtividade.
- **Efeito na avaliação da economia do tempo de viagem:** quando submetidos a transportes lotados, há uma disposição dos passageiros em pagar mais para reduzir o tempo de viagem, optando por outros meios de locomoção.
- **Escolha da rota e do horário:** os passageiros escolhem o horário de partida e a rota de acordo com sua percepção de desutilidade de viagem, tendo como atributo-chave a probabilidade de conseguir um assento (ou deixar de tê-lo).
- **Oferta e tarifa ideais de transporte público:** cada usuário embarcado impõe uma externalidade de aglomeração a todos os demais, uma vez que contribui para a lotação do veículo. Portanto, a externalidade de aglomeração aumenta o custo social marginal da viagem, elevando, assim, a tarifa ótima do ônibus ou do trem, que é obtida como a diferença entre o custo marginal total e o custo médio dos usuários, considerando o preço ótimo.

2.1.2.8 Coto-Millán *et al.* (2007)

Buscando avaliar o projeto de investimentos na rede de trens de alta velocidade na Espanha em detrimento das rodovias, Coto-Millán *et al.* (2007) destacam os **benefícios econômicos e sociais** que, geralmente, não são incluídos na análise de precificação dos projetos, sendo estes:

- **Congestionamento:** a decisão individual de viajar depende do custo generalizado da viagem, que inclui os custos operacionais variáveis dos veículos particulares ou a tarifa dos transportes públicos, assim como o valor do tempo despendido. Um aumento no volume de tráfego implica uma redução na velocidade dos veículos, o que leva a um aumento no tempo de viagem e nos custos operacionais.
- **Conservação:** o custo social de conservação da infraestrutura leva em conta o custo incorrido pela administração na manutenção da infraestrutura de transporte, como a manutenção de rodovias ou de trens.
- **Acidentes:** os custos de acidentes são externos ao sistema de transporte, por exemplo, os custos de assistência médica ou as perdas na capacidade de produção.
- **Ambientais:** inclui ruído, poluição local e mudança climática.

2.1.2.9 Delucchi e McCubbin (2010)

Delucchi e McCubbin (2010) procuram revisar estimativas recentes de custos externos por modo de transporte nos Estados Unidos. Logo, são levantadas **externalidades negativas** para os modos rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo para os transportes de cargas e de passageiros.

Após a revisão da literatura realizada pelos autores, são elencados os seguintes **custos externos** relacionados à atividade de transporte:

- **Custos de congestionamento:** congestionamento causado por viagens adicionais gera uma série de custos externos, incluindo oportunidades perdidas devido ao atraso da viagem, ao desconforto da aglomeração e ao impacto da incerteza do tempo de viagem na confiabilidade do tempo de chegada.
- **Custos de acidentes:** incluem custos médicos, danos materiais, perda de produtividade, taxas de seguros, serviços de emergência e custos não monetários da perda de qualidade de vida e de dor e de sofrimento como resultado de morte ou de ferimentos graves.
- **Custos de poluição atmosférica:** todos os modos de transporte emitem quantidades significativas de poluentes atmosféricos. A poluição do ar prejudica a saúde humana, danifica materiais, reduz a visibilidade e prejudica plantações e florestas.
- **Custos de mudanças climáticas:** todos os modos de transporte emitem poluentes que podem afetar o clima global, sendo estes chamados de GEE.
- **Ruído:** sobretudo em áreas urbanas, o ruído é um problema sério causado pelos transportes. Rodovias com grandes volumes de tráfego, de linhas ferroviárias e de aeroportos podem ser muito barulhentas. Os sons podem perturbar o sono, atrapalhar as atividades, dificultar o trabalho, impedir o aprendizado e causar estresse. Como resultado, imóveis próximos às principais rodovias e aeroportos têm menos valor do que similares mais distantes.
- **Poluição da água:** meios de transporte, principalmente marítimo, podem derramar combustíveis e produtos químicos nos oceanos, nos rios, nos lagos e nas águas subterrâneas. Essa poluição pode causar danos à saúde humana e à biodiversidade.
- **Segurança energética** (custos de importação de combustível): relacionada ao custo da reserva estratégica de petróleo e aos custos de ruptura (ajuste macroeconômico).

2.1.2.10 Petruccelli (2015)

O estudo de Petruccelli (2015) tem como objetivo analisar os guias de avaliação de transportes da Grã-Bretanha, da Itália e da Alemanha, com vista a catalogar os custos externos dos projetos, bem como as metodologias de avaliação e as possíveis diferenças de resultados, de aplicabilidade e de confiabilidade. O autor toma os conceitos de externalidade e de custos

externos como sinônimos, definindo-os como efeitos que determinada ação tem sobre o bem-estar de outros e que não passam por alterações nos preços de mercado.

Nesse contexto, são elencados os seguintes **custos externos**:

- Ruído
- Poluição
- Impacto estético
- Emissão de GEE
- Acidentes
- Congestionamento.

Ademais, o autor sintetiza, no Quadro 6, esses custos externos conforme incidência nos guias específicos da Alemanha, da Itália e da Grã-Bretanha.

Quadro 6 – Sumário das metodologias propostas por vários guias de país para estimar os custos externos

Custos externos	Alemanha	Grã-Bretanha	Itália	Custos externos
Poluição do ar	Tipos de efeitos	Impacto suprarregional/gases poluentes carcinogênicos/em áreas de construção	Local e suprarregional	Caso haja dados disponíveis, estes distinguem regiões urbanas e suburbanas
	Metodologia de avaliação	Custo de danos	Custo de danos/redução de custos marginais	Custo de danos
	Tipos de custos externos	Perdas nas florestas, no suprimento de água, na proteção do solo e em instalações de lazer/custo de doenças/danos à saúde e às construções	Danos à saúde e às construções/custo por redução de emissões	Danos à propriedade: perde na produção agrícola e florestal, corrosão e sujeira nos edifícios
GEE	Tipos de efeitos	Mudança climática	Idem	Idem
	Metodologia de avaliação	Custo de reduzir as emissões de CO ₂ para um nível abaixo da meta (custo de evitação, do inglês – <i>cost avoidance</i>)	Idem	Idem
Ruído	Tipos de efeitos	Incômodo para pessoas à noite	Distúrbios para pessoas à noite (estimado pela alteração no preço das casas)	Distúrbios para as pessoas
	Metodologia de avaliação	DAP em regiões construídas	Método do preço hedônico	DAP para eliminar os ruídos

Custos externos	Alemanha	Grã-Bretanha	Itália	Custos externos
Acidentes	Tipos de efeitos	Danos à propriedade/danos às pessoas e fatalidades	Idem	Idem
	Metodologias de avaliação	Custo de danos/DAP custo de danos		
	Tipos de custos externos	Custo dos danos aos veículos e à propriedade/custos humanos, custos econômicos diretos e indiretos		
Impactos no território	Tipos de efeitos	"Efeitos barreira"	Efeitos sobre a paisagem, a paisagem urbana, os pontos históricos, a biodiversidade e o meio ambiente aquático	"Efeitos de corte"/perda de terras/efeitos sistêmicos
	Metodologia de avaliação	Valor do tempo perdido durante a travessia de pedestres	Atribuição de valores conforme análise qualitativa	Tempo perdido, preços de mercado, DAP, gasto defensivo/ Valor econômico por unidade de solo/Preço hedônico, preferências declaradas, preço de mercado, custo de danos

Fonte: Petruccelli (2015, p. 69, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.2.11 Sovacool, Kim e Yang (2021)

Sovacool, Kim e Yang (2021) buscam analisar e sistematizar os modos de avaliação de benefícios e de custos externos, compreendidos como externalidades, em projetos de energia e de transportes. Para tal, realizaram uma expressiva revisão de literatura sobre o tema, apresentando uma listagem das externalidades, bem como dos respectivos métodos de avaliação e de monetização utilizados para cada tipo de impacto. As **externalidades destacadas no setor de transportes** são:

- Poluição atmosférica
- Congestionamento
- Fatores estéticos

- Mudança climática
- Desmatamento
- Acidentes crônicos
- Água
- Ruído
- Espécies e biodiversidade.

Por fim, a Tabela 2 apresenta a quantidade de estudos analisados que citaram cada uma das externalidades levantadas, bem como o método de análise correspondente.

Tabela 2 – Quantidade de ocorrências em estudos e metodologias, por externalidade de transporte

Externalidades	Ocorrências	Métodos aplicados*
Poluição atmosférica	32	CE/CV, Hedônico, IPA, LCA, Meta, Multi, ND
Mudança climática	22	CE, IPA, LCA, Meta, Multi, ND
Acidente crônico	22	LCA, Meta, Multi, ND
Acidente catastrófico	0	-
Ruído	32	CV/CE, Hedônico, IPA, LCA, Meta, Multi, ND
Estética	2	Hedônico, Multi
Desmatamento	8	Hedônico, LCA, Meta, Multi
Água	5	LCA, Multi
Biodiversidade	2	LCA, Multi
Saúde	0	-
Congestionamento	15	LCA, Meta, Multi, ND
Outros	12	Hedônico, LCA, Multi, ND

* Métodos: CE: Experimento de escolha (do inglês – *Choice Experiment*). CV: Avaliação de contingente (do inglês – *Contingent Valuation*). Controle: Avaliação de custo de controle. Hedônico: Abordagem hedônica. IPA: Abordagem da via de impacto (do inglês – *Impact Pathway Approach*). LCA: Avaliação do ciclo de vida (do inglês – *Life Cycle Assessment*). Meta: Meta-análise (do inglês – *Meta-Analysis*). Multi: Estudos que aplicam vários métodos (do inglês – *Multiple methods*). ND: Não decisivo.

Fonte: Sovacool, Kim e Yang (2021, p. 18, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.3 Levantamento em projetos e estudos de transporte ferroviário de passageiros

2.1.3.1 Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2016)

Em atendimento a uma das atribuições do DNIT, de estabelecer normas e procedimentos para estudos de viabilidade de ferrovias, o *Escopo Básico (EB) 02*, de 2016, apresenta diretrizes para contratação, elaboração e análise de Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) do setor ferroviário (DNIT, 2016).

No documento, são definidos os **benefícios diretos e indiretos resultantes de empreendimentos ferroviários**, a saber:

- **Benefícios diretos:**
 - Redução do custo operacional: considerada apenas sobre o tráfego existente (obras de ampliação e de melhorias). Reduz distâncias e tempos de viagem e aumenta a capacidade do trecho, refletindo no custo de transporte por tonelada.
 - Redução do custo de transporte: demanda que migraria de outros modos de transporte para o ferroviário. O custo corresponde à tarifa média ou ao preço médio pago pelo usuário mais o tempo gasto (monetariamente) para se deslocar ou transportar o produto pelos modos de transporte disponíveis.
 - Redução do tempo de viagem: resultante da eliminação das obstruções do fluxo de veículos causadas pela ferrovia do sistema viário urbano.
 - Redução de emissão de poluentes: o tipo de intervenção utilizada na solução fará com que a solução seja parcial (transposição da linha férrea e travessia ferroviária) ou total (contorno ferroviário).
 - Valorização de imóveis: aplicação aos preços dos imóveis do percentual de valorização ocorrido em consequência da eliminação de conflitos urbanos causados pela ferrovia.
 - Eliminação dos custos com guaritas, semáforos e cancelas: eliminação de custos com segurança e controle de trânsito nas passagens em nível, normalmente de responsabilidade do erário municipal.
 - Disponibilidade da faixa de domínio e do material da superestrutura retirado: venda desses ativos, disponibilizados com a eliminação de pontos de conflitos urbanos.
 - Ganho operacional da operadora da ferrovia: quando eventualmente esses recursos são repassados para a tarifa, total ou parcialmente, passam a constituir um benefício social.
- **Benefícios indiretos (referentes ao período de construção):**
 - Impacto tributário: resultado da aplicação das alíquotas dos tributos (União e município) sobre o valor total financeiro das obras, dos serviços e da supervisão.
 - Geração temporária de empregos: aplicação do Modelo de Geração de Empregos (MGE) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no setor de construção civil.

2.1.3.2 Miguel e Souza (2019)

O estudo propõe uma metodologia de avaliação socioeconômica de investimentos em ferrovias de carga, utilizando como base uma pesquisa da União Internacional de Ferrovias (UIC, do francês – Union internationale des chemins de fer) para cálculo de benefícios, complementando o método de fluxo de caixa do DNIT. A metodologia se mostrou aplicável tanto para construção de novas ferrovias quanto para investimentos em vias férreas existentes, desde que se conheça a demanda captada pela ferrovia. Ressalta-se que a avaliação socioeconômica em questão, mesmo sendo objetivada ao transporte ferroviário de cargas, segue uma metodologia aplicável ao transporte ferroviário de passageiro, diferenciando-se apenas nos resultados de cada custo e benefício.

Baseados no documento *EB-02*, do DNIT (2016), os **benefícios socioeconômicos** são divididos em dois grupos (diretos e indiretos), e seus componentes para o caso do transporte ferroviário são listados a seguir.

- Benefícios diretos:
 - Redução de custos de transporte: custos compreendidos como a tarifa média.
 - Redução de acidentes: referentes ao valor estatístico de uma vida, às perdas de produção e aos outros elementos não cobertos por seguros.
 - Benefícios ambientais: benefícios comparados ao modo rodoviário, as ferrovias emitem menor quantidade de poluentes, gerando impacto socioambientais positivos em caso de substituição de demanda.
 - Benefícios urbanos: relacionados aos congestionamentos e aos outros custos adicionais em áreas urbanas.
- Benefícios indiretos:
 - Arrecadação tributária: considerada no cálculo a arrecadação sobre obras, serviços e supervisão.
 - Geração de emprego: ponderada a empregos nos setores de construção civil e de peças e outros veículos.

2.1.3.3 Isler e Widmer (2017)

O estudo se propõe a comparar alternativas de tecnologia para o transporte ferroviário de passageiros no Brasil, através de uma ACB entre trens de alto desempenho (HPT, do inglês – *High Performance Train*), com velocidade média de 150 km/h, e trens de alta velocidade (HST – *High Speed Train*), com velocidade média de 300 km/h.

No âmbito estritamente econômico, atualmente, nenhuma das alternativas se mostrou viável para ser operada no Brasil sem subsídio. Assim, os autores propõem uma análise socioeconômica dessas tecnologias, tendo como parâmetros os seguintes itens por categoria:

- Investimento:
 - Investimento na construção da ferrovia
 - Aquisição dos veículos.
- Despesas:
 - Operação do material rodante
 - Manutenção da via permanente
 - Manutenção dos veículos.
- Benefícios econômicos:
 - Receitas da venda de passagens
 - Valor residual da infraestrutura.
- Benefícios sociais:
 - Excedente do consumidor devido à tarifação
 - Tempo de viagem
 - Redução de acidentes
 - Redução de externalidades.

2.1.3.4 Carteni *et al.* (2019)

O estudo tem como objetivo avaliar, por meio da análise ACB, a implantação de um projeto de transporte urbano ferroviário de passageiros automatizado (metrô) em Nápoles, na Itália. Para tal, são considerados custos e benefícios da operação.

Os **custos financeiros**, relacionados às despesas do projeto, são classificados em:

- Custos de investimento
- Custos de operação e de manutenção
- Valor residual do investimento.

Já os **benefícios** do projeto são divididos entre:

- Benefícios para usuários: impactos aferidos por meio da variação do excedente do consumidor.
- Benefícios para não usuários (externalidades):
 - Variação da emissão de GEE
 - Variação da emissão de poluentes
 - Variação da poluição sonora
 - Variação de acidentes
 - Variação de congestionamento do trânsito
 - Variação nos impactos em outros setores, por exemplo, o setor energético.

2.1.3.5 Coto-Millán, Casares e Inglada (2012)

Coto-Millán, Casares e Inglada (2012) buscaram analisar o projeto de implantação de uma ferrovia de alta velocidade para transporte de passageiros na Espanha, ligando as cidades de Madri e de Santander, bem como comparar o retorno entre a utilização exclusiva para passageiros ou a combinação de passageiros e de cargas. Para isso, foi empregada a metodologia ACB, utilizando dados de um trecho ferroviário com características similar, o Madri-Sevilha.

Ainda, os autores incluem na análise métodos de aferição de custos externos e desenvolvem um levantamento e uma quantificação de benefícios sociais do projeto. Nesse contexto, os **custos** identificados foram:

- Custos de construção da infraestrutura
- Custos de manutenção da infraestrutura
- Custos com material rodante
- Custos de obtenção do número necessário de equipamentos ferroviários
- Custos operacionais
- Valor residual.

Quanto aos **benefícios**, foram elencados os seguintes aspectos:

- Redução dos custos das ferrovias convencionais
- Redução dos custos de transporte aéreo
- Redução dos custos de transporte rodoviário
- Redução do tempo de viagem
- Redução dos custos relacionados à diminuição do congestionamento

- Redução do número de acidentes
- Redução dos custos de manutenção
- Redução dos custos externos.

É válido ressaltar que a composição dos custos externos, também referidos como externalidades, levada em consideração foi a seguinte:

- Manutenção da infraestrutura – para rodovias e ferrovias convencionais
- Congestionamento do trânsito – para rodovias
- Acidentes (para ferrovias convencionais e rodovias)
- Impactos ao meio ambiente (ruído, poluição e mudança climática para todos os tipos de transporte).

A Tabela 3 sintetiza os pontos abordados, bem como apresenta os valores monetários para os respectivos benefícios da implantação de ferrovias de alta velocidade considerados no estudo.

Tabela 3 – Benefícios sociais do trem de alta velocidade no trecho Santander-Madri (milhões de €2008)

Categorias analisadas	Benefícios de ferrovias de alta velocidade (passageiros)	Benefícios ferrovias de alta velocidade (passageiros e carga)
Custos totais de infraestrutura, de manutenção e de operação:		
Infraestrutura	1.230,07	1.230,07
Valor residual	70,04	110,17
<i>Rolling stock</i>	395,49	703,23
Manutenção de infraestrutura	144,30	216,45
Operação	1.383,22	2.012,96
Redução de tempo de viagem dos usuários:		
Outros meios de transporte	651,25	1.070,88
Renda das viagens geradas	735,54	940,01
Custos reduzidos em:		
Ferrovia convencional	146,86	434,24
Aéreo	304,64	304,64
Custos de operação rodoviária	735,89	735,89
Custos de operação de veículos pesados	—	255,76
Congestionamento	57,96	93,73
Acidentes	224,25	350,41
Meio ambiente	102,35	125,93
Manutenção de infraestrutura	146,74	412,28
Valor presente líquido (VPL) descontado da ferrovia de alta velocidade	67,41	366,59

Fonte: Coto-Millán, Casares e Inglada (2012, p. 30, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.3.6 Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2022)

Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2022) buscam identificar os benefícios socioeconômicos percebidos pelos usuários após a implementação de um projeto ferroviário de tráfego leve (LRT, do inglês – *Light Rail Transit*), em Adis Abeba, na Etiópia. A proposta de avaliação *ex post* decorreu da necessidade de incorporar as análises na satisfação do usuário, de modo a prover aos formuladores de políticas públicas informações operacionais relevantes à escolha dos investimentos.

A revisão de literatura indicou que os **serviços ferroviários de tráfego leve** possuem **benefícios sociais, econômicos e ambientais**, destacando-se:

- Redução de poluição
- Redução de congestionamento
- Redução do consumo de energia
- Melhora na acessibilidade.

O procedimento metodológico consistiu em pesquisa amostral com os passageiros, caracterizando-os socioeconomicamente, bem como por idade, região, atividade desenvolvida próxima à estação, situação familiar, gênero, frequência de viagem, tempo de viagem, entre outros aspectos.

Os benefícios levados em consideração foram avaliados a partir da concordância dos respondentes para as afirmações apresentadas, sendo a discordância e a concordância quantificadas de 0 a 4 (em que 0 é a máxima divergência e 4 a máxima concordância). A Tabela 4 congrega os resultados da pesquisa, evidenciando a média, a moda e o desvio padrão referentes à opinião dos entrevistados sobre cada impacto.

Tabela 4 – Descrição dos benefícios socioeconômicos percebidos

Parâmetros de benefícios socioeconômicos	Amostra	Média	Moda	Desvio padrão
LRT reduziu a distância	979	2.85*	3	1,056
LRT reduziu o custo de transporte	979	3.05*	4	1,011
LRT gerou novos empregos	979	1.96	2	1,370
LRT deixou o ar mais limpo	979	2.28	2	1,274
LRT ajudou a reduzir o trânsito	979	2.85*	4	1,164
LRT ajudou a melhorar o contato com a família	979	2.32	2	1,236
LRT facilitou as compras	979	2.23	2	1,247
LRT aumentou a atratividade da cidade	979	2.39	4	1,434

*Atitude positiva com o resultado próximo a três, isto é, concorda com os benefícios.

Fonte: Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2022, p. 203, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

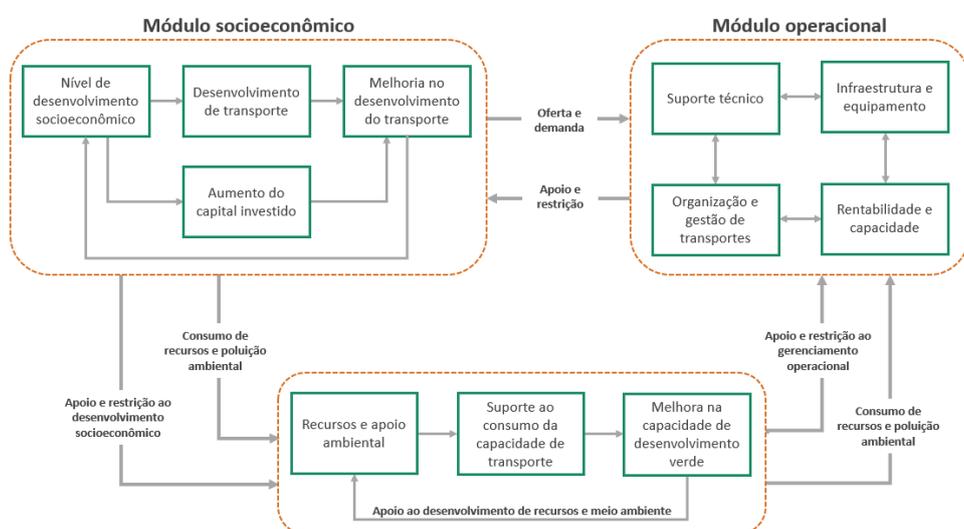
Em síntese, sobre o resultado da pesquisa e a percepção de benefícios pelos usuários, destaca-se que:

- 66% dos entrevistados concordaram que o LRT reduziu o custo de transporte, a distância de viagem e o volume de trânsito.
- 55% dos passageiros discordaram de que houve criação de empregos, melhora nas condições do ar, auxílio na conexão com a família e facilidade para comprar.

2.1.3.7 Chang, Yang e Dong (2018)

Chang, Yang e Dong (2018) desenvolvem um conjunto de indicadores com vista a avaliar a sustentabilidade da construção de projetos ferroviários de alta velocidade (HSR, do inglês – *High Speed Rail*). Posteriormente, a abordagem foi aplicada ao caso concreto da linha de passageiros de Harbin-Dalian, na China. De modo a aferir as condições necessárias para que um projeto de HSR seja viável, os autores apresentam a caracterização do setor na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura operacional para o desenvolvimento sustentável de HSR



Fonte: Chang, Yang e Dong (2018, p. 3, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

A realização de entrevistas com especialistas que atuam em diversas áreas e âmbitos no setor de HSR, somadas às pesquisas de campo, resultaram no levantamento dos índices exposto no Quadro 7.

Quadro 7 – Sistema de índices de avaliação para o desenvolvimento sustentável de projetos de HSR

Indicadores primários	Indicadores secundários	Indicadores terciários
Avaliação de processo	Avaliação do processo de tomada de decisão anterior à oferta	Necessidade de construção de projetos
		Ciência dos programas de tomada de decisão
		Pesquisa de opinião e <i>design</i>
	Avaliação do processo de construção	Gestão de segurança
		Índices técnicos centrais
		Qualidade de construção
		Controle de investimento
	Avaliação do processo operacional	Tempo-limite
		Preparação do efeito operacional
		Nível de gestão operacional
Avaliação de benefícios econômicos	Avaliação dos benefícios financeiros	Período de <i>payback</i> do investimento
		Taxa de cobertura do serviço da dívida
	Avaliação dos benefícios econômicos nacionais	Contribuição para o Produto Interno Bruto (PIB)
		Benefícios de redução do custo de frete
		Taxa Interna de Retorno (TIR) econômico
Avaliação de efeitos	Avaliação de efeitos sociais	VPL econômico
		Emprego e serviços
		Taxa de valorização da terra e das casas
		Taxa de interrupção de carros e de aviões ao longo da linha
		Capacidade de transporte ampliada
		Tempo médio de viagem
		Renda <i>per capita</i> ao longo da linha
	Avaliação de efeitos ambientais	Grau compensado do grupo de danos de benefícios
		Aumento do prestígio nacional
		Efeitos sobre o meio ambiente
Avaliação de sustentabilidade	Avaliação interna de fatores de sustentabilidade	Controle de poluição do projeto
		Mecanismo de gestão de projetos
		Taxa de crescimento do volume de tráfego
	Avaliação externa de fatores de sustentabilidade	Fatores técnicos
		Fatores benignos de circulação
		Satisfação com o projeto
		Fatores capitais

Fonte: Chang, Yang e Dong (2018, p. 5, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

O sistema de avaliação proposto leva em consideração quatro camadas de indicadores, sendo elas:

- i. Camada-alvo: representada pelo indicador principal
- ii. Camada criterial: representada pelos indicadores primários
- iii. Camada subcriterial: representada pelos indicadores secundários
- iv. Camada de solução: representada pelos índices terciários.

Na camada criterial, são destacados os seguintes aspectos:

- Benefícios econômicos: o indicador de benefícios econômicos é composto por benefícios financeiros e benefícios para a econômica nacional
- Efeitos: dividem-se em efeitos sociais e ambientais
- Sustentabilidade: a avaliação de sustentabilidade é composta por fatores internos e externos.

Em síntese, tendo por base os indicadores da camada de solução que, por sua vez, compõem os demais indicadores, os autores desenvolveram o modelo de cálculo cujo resultado é o indicador de sustentabilidade do projeto.

2.1.3.8 Siciliano *et al.* (2016)

Tendo como base o guia sobre a metodologia ACB para projetos de infraestrutura da European Commission (EC, 2015), os autores buscam elaborar inovações no que se refere aos serviços provenientes da malha ferroviária, com destaque para os custos externos (externalidades) envolvidos no processo.

As externalidades, impactos provenientes de projetos que repercutem em outros agentes econômicos, de modo que estes últimos não são compensados de nenhuma forma, devem ser estimadas e avaliadas. As **externalidades acerca do transporte ferroviário** elencadas pelo estudo são:

- Acidentes
- Poluição do ar
- Mudanças climáticas
- Ruído
- Processos a jusante
- Natureza e paisagem
- Perdas de biodiversidade
- Poluição do solo e da água
- Efeitos urbanos
- Congestionamento.

2.1.3.9 Lane e Sherman (2013)

Lane e Sherman (2013) propõem uma nova estrutura para análises de custo-benefício que seja capaz de avaliar os impactos relacionados à sustentabilidade em projetos de melhorias no transporte público, utilizando como alicerce um estudo de caso de implementação de uma linha ferroviária em um sistema de trânsito rodoviário específico: ônibus. Os autores desenvolveram

um *framework* baseado no quadro de critérios Kaldor-Hicks (KHT, do inglês – *Kaldor-Hicks Tableau*), elaborado de forma a incorporar componentes de sustentabilidade, com elementos usuais que enfatizam custos operacionais ou de capitais, fornecendo uma representação mais completa dos interesses das partes envolvidas de maneira individualizada.

A partir de uma revisão de literatura, são levantadas **cinco categorias gerais de custos e benefícios** identificados em projetos de transporte e suas respectivas subcategorias, conforme sintetizadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Impactos nos projetos de transporte

Categoria	Subcategoria
Impactos na mobilidade e na acessibilidade	Mobilidade Acessibilidade Custos de viagem, tempo e congestionamento Melhor acesso a emprego e comodidade
Impactos econômicos e financeiros	Custos operacionais Custos de treinamento Custos de capital e subsídios Custos de manutenção Perda de recibo de tarifas Ganhos de recibo de tarifas Tarifas e receitas de gasolina Benefícios de desenvolvimento
Impactos ambientais e energéticos	Poluição aérea local Poluição aérea global Poluição da água Mitigação de mudanças climáticas Uso da terra (poluição, esgotamento, perturbação etc.)
Impactos na segurança e na proteção	Segurança e proteção humana Segurança e acesso à energia
Impactos na equidade social	Equidade Imagem da cidade e de bairros Habitabilidade e qualidade de vida

Fonte: Lane e Sherman (2013, p. 96, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Após esclarecer os impactos gerais de projetos de transportes, os autores apresentam os impactos causados por sistemas de tráfego, apontando que uma mudança de demanda do sistema rodoviário para o ferroviário pode abordar esses fatores de maneira positiva. O Quadro 9 exhibe os impactos resultantes de uma alteração de sistema de tráfego e as respectivas vantagens associadas ao sistema ferroviário.

Quadro 9 – Impactos de um sistema de tráfego e vantagens do sistema ferroviário

Impactos de um sistema de tráfego	Respostas vantajosas do sistema de tráfego ferroviário sob o rodoviário
Impactos no congestionamento e no custo do trânsito	A possibilidade de redução de custos operacionais deve-se à maior capacidade de carga
Custos de energia	Os custos de linhas ferroviárias elétricas são menores dos associados a veículos à diesel

Impactos de um de sistema de tráfego	Respostas vantajosas do sistema de tráfego ferroviário sob o rodoviário
Impactos associados aos investimentos e à geração de empregos	As considerações para investimentos ferroviários incluem o investimento de capital e a operação das ferrovias
Impactos holísticos (estéticos, da saúde pública e da reação da comunidade)	O modo ferroviário está associado aos aspectos mais positivos de qualidade de vida e bem público, além de tender a atrair mais passageiros

Fonte: Lane e Sherman (2013). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Somadas essas respostas aos impactos atrelados ao tráfego, há uma ênfase na necessidade de considerar **os benefícios de ferrovias** para além das categorias comuns, destacando-se:

- **Benefícios de mobilidade:** relacionados ao aumento da mobilidade para não condutores.
- **Benefícios de eficiência:** relacionados à redução das viagens de automóveis.
- **Benefícios no uso da terra:** relacionados ao impacto de um desenvolvimento orientado para o trânsito mais compacto.

2.1.3.10 Cornet *et al.* (2018)

Cornet *et al.* (2018) têm como objetivo utilizar metodologias de avaliação de projetos de transporte que auxiliem nas melhores decisões, considerando impactos em diversas áreas. Para isso, os autores defendem a utilização da análise multicritério (MCA, do inglês – *Multicriteria Analysis*) como complemento da ACB, tradicionalmente utilizada nesse contexto. Como objeto de estudo, a abordagem é aplicada ao sistema HSR no Reino Unido.

Dado esse objetivo, os autores propõem uma lista com 28 critérios relacionados às operações do HSR. Os critérios são dispostos no Quadro 10 e estão divididos em três categorias, sendo elas:

- Impactos diretos do projeto: custos e benefícios internos.
- Impactos sociais indiretos: externalidades relacionadas às pessoas.
- Impactos ambientais: externalidades relacionadas ao planeta.

Quadro 10 – Lista dos critérios considerados para o HSR

Impactos diretos	Impactos indiretos	Impactos ambientais
<ul style="list-style-type: none"> ● Custo da viagem e acessibilidade ● Experiência de viagem ● Confiabilidade da jornada e resiliência do sistema ● Tempo de viagem ● Custos do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acessibilidade ● Acidentes e segurança ● Separação da comunidade ● Equidade e efeitos de distribuição ● Uso do solo e desenvolvimento urbano 	<ul style="list-style-type: none"> ● Agricultura, silvicultura e solos ● Qualidade do ar ● Biodiversidade e natureza ● Pegada de carbono ● Pegada material ● Ruído e vibração

Impactos diretos	Impactos indiretos	Impactos ambientais
<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de entrega do projeto • Capacidade ferroviária para frete • Capacidade ferroviária para passageiros • Tráfego e interrupção do transporte • Integração e conectividade de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Paisagem, paisagem urbana e patrimônio cultural • Prestígio e imagem • Crescimento e inovação da indústria ferroviária • Desenvolvimento econômico regional e regeneração 	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos sólidos e descarte • Contaminação da água e da terra • Recursos hídricos e risco alimentar

Fonte: Cornet *et al.* (2018, p. 7, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.3.11 Benavides e Benavidez (2018)

Com foco na inserção da América Central nas dinâmicas de trocas do comércio internacional, Benavides e Benavidez (2018) destacam o advento do transporte ferroviário como motriz para a integração comercial e para o desenvolvimento regional.

Nesse sentido, os autores elencam os seguintes **benefícios socioeconômicos** possibilitados pela implementação do **transporte ferroviário de carga e de passageiros** na região:

- **Facilitação do comércio:** a implantação da ferrovia desempenharia um papel essencial para o mercado, tanto interno quanto externo (trânsito de mercadorias), pois contribuiria significativamente para a competitividade da indústria e dos serviços, promovendo, conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento macrorregional.
- **Redução do consumo de combustíveis fósseis:** o transporte ferroviário é um meio cujo consumo específico de energia é menor em relação aos veículos de uso individual. Ainda, destaca-se a importância na independência econômica da região, no que diz respeito à demanda de combustível fóssil de países estrangeiros, favorecendo os saldos da balança comercial.
- **Redução dos custos de transporte:** estima-se que a utilização do transporte ferroviário terrestre proporciona reduções significativas em termos de custos, sendo um meio de transporte mais sustentável do que o transporte terrestre rodoviário. Favorece a diminuição dos custos, também, a não utilização de gasolina, mas sim de diesel, que é uma fonte de energia mais barata.
- **Geração de empregos:** a ligação direta (e indireta) com a maioria dos ramos industriais e comerciais representa um fator estratégico para a atividade econômica. Além disso, há uma grande possibilidade de efeitos multiplicadores ligados à implementação de ferrovias, pois estas estão atreladas a uma nova indústria de serviços, fornecedores, oficinas e fabricantes de equipamentos.
- **Redução das emissões de carbono:** em relação à questão ambiental, os modos de transporte são conhecidos como grandes fontes poluidoras. Destes, o transporte ferroviário é um dos que causa menos impactos para o meio ambiente. As emissões de CO₂ (em t/km) do transporte ferroviário chegam a ser cerca de 3,5 vezes menores do que as do transporte rodoviário.

- **Redução do tempo de deslocamento:** para o usuário, o tempo de viagem tem um valor utilidade, à medida que sua redução permite alocar esse tempo para atividades mais lucrativas ou prazerosas. Nesse sentido, o transporte ferroviário pode reduzir o tempo de deslocamento tanto por levar mais passageiros e ter uma velocidade média maior comparada aos ônibus quanto por contribuir para a diminuição de congestionamento de rodovias, através da absorção de demanda.
- **Maior segurança no trânsito:** os diferentes modos de transporte produzem acidentes que acarretam danos humanos e materiais significativos, resultando em altos custos de manutenção, de recuperação e de substituição e, também, na perda definitiva de vidas e de bens. No entanto, ao usar um trem de carga ou de passageiros, é comprovadamente possível a diminuição do número de perdas, sobretudo em comparação ao transporte rodoviário.
- **Promoção da igualdade social:** o transporte ferroviário tem um caráter democrático por ser um modo em que grupos sociais não são excluídos pelo nível de renda. Nesse sentido, a acessibilidade gerada pela sua implementação proporcionará a mais cidadãos as condições de mobilidade e, conseqüentemente, a percepção de qualidade de vida.

2.1.3.12 Quintero González (2017)

Como forma de observar os **benefícios ambientais, sociais e econômicos** causados pela implementação de Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs), na Colômbia, Quintero González (2017) compara os impactos desse tipo de transporte com o transporte ferroviário urbano (bondes) já utilizado no país. Referente aos impactos para esses dois tipos de transporte ferroviário de passageiros, destacam-se os seguintes tópicos:

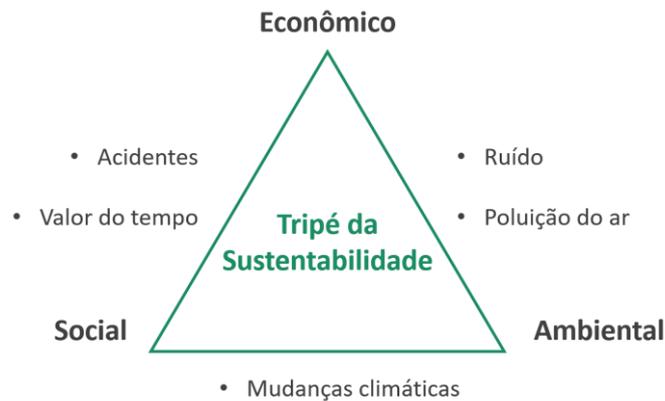
- **Proteção ambiental:**
 - **Bonde:** traz importantes benefícios ao meio ambiente, entre os quais estão não emissão de poluentes, baixos níveis de ruído, menor consumo de energia, melhor qualidade ambiental urbana, revegetação de áreas adjacentes e regeneração urbana e paisagística.
 - **VLT:** é uma forma de transporte sustentável e eficiente em termos de consumo de energia, com uma série de vantagens ambientais em comparação com os modos movidos a motores de combustão. Em particular, a eletricidade para alimentar os trilhos leves pode ser gerada longe do ambiente urbano, o que significa que as emissões de GEE são removidas do ponto de operação.
- **Equidade social:**
 - **Bonde:** sistemas de transporte constituídos por bondes aumentam a mobilidade em suas áreas de influência, o que se traduz em maior acessibilidade ao ambiente físico e ao transporte, bem como aos serviços sociais e aos locais em que os cidadãos desenvolvem suas atividades de emprego, de estudo, de cultura e de lazer.
 - **VLT:** a melhoria do transporte público estimula a interação entre comunidades e pessoas e atrai trabalhadores qualificados. É assim que o VLT melhora a habitabilidade e o conforto, atraindo investimentos ao longo das rotas.

- **Benefício econômico:**
 - **Bonde:** ideais para conectar funcionários, moradores e visitantes a empregos, compras, restaurantes e entretenimento em bairros e centros urbanos, desempenhando um papel importante para o desenvolvimento econômico de um bairro. Em contraste com os sistemas ferroviários leves e de trens pesados, projetados para viagens mais longas, o menor tamanho e a maior manobrabilidade dos bondes permitem que eles sejam altamente integrados ao meio ambiente urbano circundante.
 - **VLT:** inclui a sua contribuição para reduzir o congestionamento e o aumento da produtividade por meio da maior mobilidade urbana e opções de transporte. Como questões econômicas ligadas ao VLT, destacam-se:
 - **Custo de capital:** pode variar muito dependendo da necessidade de túneis ou de pontes, da adoção de novas tecnologias e da integração na infraestrutura rodoviária existente. Caso esta última seja segregada, depende do fornecimento de novas infraestruturas.
 - **Custo operacional:** cada VLT transporta o equivalente a três ônibus articulados em sua capacidade máxima, tendo uma vida útil de 30 anos ou mais, quase o dobro dos ônibus.
 - **Desenvolvimento e atividade econômica:** tem potencial para estimular o investimento em projetos de revitalização urbana e de desenvolvimento residencial e comercial, muitas vezes em áreas que antes eram inacessíveis ou inviáveis.
 - **Turismo:** enquanto as rotas de ônibus podem ser complicadas para visitantes (nacionais ou internacionais), as redes de VLTs são, frequentemente, percebidas como mais simples e confiáveis, em grande parte devido ao fato de as rotas serem permanentes e visíveis. O transporte é um elemento-chave na experiência do visitante, e um sistema de transporte público eficiente pode melhorar significativamente a reputação de uma cidade entre os turistas.

2.1.3.13 Hansen, Bello e Caldas (2012)

O estudo objetiva discutir os custos de externalidades, contabilizando os impactos econômicos, sociais e ambientais advindos da operação de ferrovias. Baseados no conceito de Tripé da Sustentabilidade (do inglês – *Triple Bottom Line*), correspondente às arestas Econômico-Social, Social-Ambiental e Econômico-Ambiental, são apresentadas as **externalidades do transporte ferroviário** referente a cada relação, conforme exposto na Figura 5.

Figura 5 – Aspectos impactados por ferrovias no Tripé da Sustentabilidade



Fonte: Hansen, Bello e Caldas (2012, p. 43, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Além das externalidades evidenciadas no tripé, com base em Pereira (2000), os autores (HANSEN; BELLO; CALDAS, 2012) elencam **custos indiretos relativos ao meio ambiente e à sociedade**, dividindo-os em dois grupos, quais sejam:

- Causados pela circulação de **veículos ferroviários**:
 - Poluição sonora: emissão de ruídos pelo próprio funcionamento da locomotiva, bem como de ruídos provenientes do sistema de rodagem.
 - Vibração: propagação do som no sólido. No caso da ferrovia, esse impacto pode ser observado nos trechos elevados e subterrâneos.
 - Poluição atmosférica: emissão de gases e de particulados pela exaustão da locomotiva, durante o seu funcionamento.
 - Acidentes em passagens em nível: acidentes ocorridos com pessoas e automóveis nas passagens de via da ferrovia, principalmente no meio urbano.
- Provenientes da operação de **terminais ferroviários**:
 - Poluição visual: causada pela presença do terminal ferroviário.
 - Aumento do nível de ruído: motivado pelo funcionamento de equipamentos de carga e de descarga.
 - Difusão aérea no caso de granéis sólidos minerais: provocada pela emissão de particulados durante as operações de carga e de descarga.
 - Possibilidades de incêndios: originadas no caso de rompimentos de tubulações que transportam granéis líquidos.
 - Obstruções nos sistemas de drenagem: ocasionadas pela queda de granéis sólidos agrícolas.

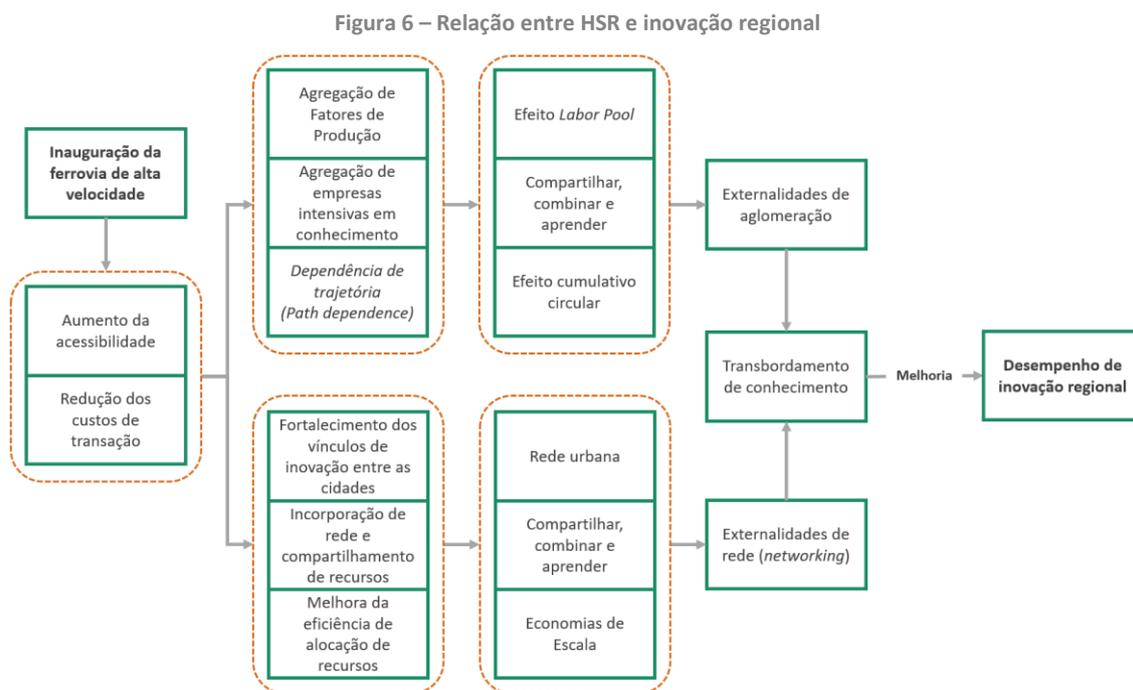
2.1.3.14 Tang, Guan e Dou (2021)

Tang, Guan e Dou (2021) analisam o impacto da abertura de **ferrovias de alta velocidade (HSR)** no desempenho da inovação urbana, comparando os efeitos diferenciais das externalidades de aglomeração e das externalidades de rede no **transbordamento de conhecimento**.

Nesse sentido, a divisão supracitada entre as externalidades e seus componentes é destacada a seguir.

- **Externalidades de Aglomeração:** a promoção de efeitos de aglomeração pela redução da distância espacial entre os fatores de produção e as atividades econômicas promove transbordamento de conhecimento, ocorrendo pelos seguintes fatores:
 - Efeito *Labor Pool*: com a melhora da acessibilidade regional e com a redução dos custos de transporte, as cidades obtêm vantagens de deslocamento, conseqüentemente, atraindo recursos produtivos e fornecendo maior mão de obra qualificada, que, por sua vez, geram maior desenvolvimento.
 - Compartilhar, combinar e aprender: com o uso intensivo de capital intelectual (*know-how*), empresas preferem agrupar-se em cidades ao longo das linhas da ferrovia de alta velocidade para reduzir o custo de produção. Estas geram economias de aglomeração ao compartilhar recursos, competir e aprender entre si, ocasionando difusão e transbordamento de conhecimento.
 - Efeito de acumulação circular: cidades ao longo da rota conectada à rede ferroviária continuarão atraindo a concentração espacial dos fatores de produção e de atividades econômicas e expandindo a aglomeração. Assim, as externalidades aumentarão ainda mais o transbordamento de conhecimento e o desempenho de inovação das cidades centrais.
- **Externalidades de rede (*Networking*):**
 - Rede urbana: aumentam-se as viagens das pessoas e a frequência de trocas presenciais, o que promove a cooperação inter-regional em pesquisa e em trocas de tecnologia, levando à formação de redes de cooperação em inovação cada vez mais estreitas entre as cidades, que, por seu turno, gera externalidades de rede e de transbordamentos de conhecimento.
 - Compartilhar, combinar e aprender: as cidades expandem o acesso ao conhecimento para uma área maior por meio da incorporação da rede, possibilitando compartilhar recursos e aprender umas com as outras por meio do canal de rede.
 - Economia de escala: com a ferrovia de alta velocidade, ocorre uma melhora da eficiência da alocação de recursos de inovação e de fatores de produção, criando economias de escala, gerando externalidades de rede e promovendo transbordamentos de conhecimento.

Buscando evidenciar a relação entre a implementação de trens de alta velocidade e o impacto na inovação regional, é apresentado o esquema em fluxo na Figura 6.



Fonte: Tang, Guan e Dou (2021, p. 4, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

2.1.3.15 Martinez (2009)

O estudo de Martinez (2009) tem como objetivo calcular os benefícios da implantação de um serviço férreo integrado, em Lima, no Peru. Para além de desenvolvimentos em âmbito operacional, o autor argumenta que um dos benefícios centrais da implantação desse modelo é a **redução de três custos principais**, a saber:

- i. **Custos dos usuários:** referem-se à redução dos custos para usuários individuais de táxis ou de automóveis afetados, são classificados em três grupos, sendo eles: custo de tempo, custo monetário e custo operacional do veículo.
- ii. **Custos operacionais:** dizem respeito à quantia de dinheiro que o governo nacional gasta no sistema de transporte, cujo valor pode ser afetado pelo novo serviço de transporte.
- iii. **Custos de externalidades:** relacionados aos custos para a sociedade como um todo, mas que não requerem desembolso monetário direto, sendo classificados em:
 - Impactos à saúde: poluição resulta em custos de tratamentos médicos e de perda de renda.

- Custos de acidentes: custo unitário de fatalidades e de lesões causadas por acidentes de trânsito.
- Custos sociais: perda de renda referente à diminuição de veículos de transporte operados privadamente pela parcela de menor renda da cidade em função do novo serviço ferroviário.
- Emissões de carbono: a quantidade total de emissões de CO₂ com base no total de horas percorridas pelos veículos, sendo avaliadas no mercado entre US\$ 1,00 a US\$ 10,00 por tonelada emitida.

Como resultado, tomando 2005 como ano-base, 50% dos custos totais eram de transporte, 5% de subsídio de combustível e 45% de externalidades. A partir da projeção, entende-se que, em 2025, 73% dos custos serão de transporte, 3% de subsídio de combustível e 24% de externalidades. Nesse contexto, dentro das **externalidades**, os maiores custos serão relativos à **saúde** e aos **custos sociais**, seguidos de **acidentes** e de **emissões de carbono**.

3 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE EXTERNALIDADES

Com base no capítulo 2, que faz um levantamento dos benefícios e dos custos socioeconômicos e ambientais relacionados aos projetos de infraestrutura, aos projetos de transporte e, especialmente, aos projetos de transporte ferroviário de passageiros, o capítulo 3 se propõe a **elencar os métodos de avaliação** das principais externalidades listadas.

Assim, no sentido de compilar os efeitos a serem detalhados, o Quadro 11 concentra as externalidades presentes nas pesquisas realizadas sobre o transporte ferroviário de passageiros, destacando as referências que citaram tais impactos.

Quadro 11 – Externalidades no transporte ferroviário de passageiros, conforme ocorrência nas referências

Áreas de Impacto	Referências
Tempo de viagem	DNIT (2016), Isler e Widmer (2017), Carteni <i>et al.</i> (2019), Coto-Millán, Casares e Inglada (2012), Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021), Lane e Sherman (2013), Cornet <i>et al.</i> (2018) e Benavides e Benavidez (2018)
Acidentes	Miguel e Souza (2016), Isler e Widmer (2017), Carteni <i>et al.</i> (2019), Coto-Millán, Casares e Inglada (2012), Hansen, Bello e Caldas (2012), Martinez (2009), Siciliano <i>et al.</i> (2016), Coto-Millán, Casares e Inglada (2012) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Ruídos	Carteni <i>et al.</i> (2019), Hansen, Bello e Caldas (2012), Siciliano <i>et al.</i> (2016) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Poluição atmosférica	Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021), Hansen, Bello e Caldas (2012), Siciliano <i>et al.</i> (2016), Lane e Sherman (2013) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Emissão de GEE	DNIT (2016), Carteni <i>et al.</i> (2019), Benavides e Benavidez (2018), Martinez (2009) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Consumo de energia	Carteni <i>et al.</i> (2019), Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021) e Lane e Sherman (2013)
Geração de empregos	DNIT (2016), Miguel e Souza (2016), Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021), Lane e Sherman (2013) e Benavides e Benavidez (2018)
Arrecadação	DNIT (2016), Miguel e Souza (2016), Isler e Widmer (2017) e Lane e Sherman (2013)
Biodiversidade	González (2017), Siciliano <i>et al.</i> (2016), Coto-Millán, Casares e Inglada (2012) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Acessibilidade	Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021), Lane e Sherman (2013) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Equidade social	Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae (2021), Lane e Sherman (2013), Cornet <i>et al.</i> (2018), Benavides e Benavidez (2018), González (2017) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Uso do solo	Lane e Sherman (2013), Benavides e Benavidez (2018) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Paisagem	Siciliano <i>et al.</i> (2016), Cornet <i>et al.</i> (2018) e González (2017)
Recursos hídricos	Lane e Sherman (2013), Hansen, Bello e Caldas (2012), Siciliano <i>et al.</i> (2016) e Cornet <i>et al.</i> (2018)
Mudança climática	Coto-Millán, Casares e Inglada (2012) e Siciliano <i>et al.</i> (2016)

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Preços e quantidades são respostas características dos mercados. Para a maioria dos bens e dos serviços, as preferências dos demandantes são reveladas através dos preços exercidos pelo mercado. A DAP de todos os consumidores constitui a curva de demanda para um bem ou um serviço. Em mercados perfeitos, a DAP será igual ao preço praticado, porém, em mercados com falhas, existirão excedentes entre os atores, sendo essa a diferença entre a DAP e o preço.

Por definição, as externalidades são um caso clássico de falhas de mercado, portanto os preços praticados, por si só, não conseguem captar esses impactos. Assim, para valorar as externalidades, é necessária a aplicação de métodos específicos, a depender das características de cada efeito.

Nesse contexto, para a correta mensuração dos impactos decorrentes de projetos de transporte ferroviário de passageiros, faz-se necessária uma análise das metodologias de avaliação das externalidades comuns a esses projetos. Entre os impactos listados no Quadro 11, aqueles passíveis de mensuração e com temáticas não conflitantes foram destacados nas seções seguintes do capítulo, em que, para cada externalidade, são apresentados, além das metodologias de avaliação, os atributos e as métricas necessárias para sua aplicação.

3.1 Acidentes

A ocorrência de acidentes é comum em todos os modos de transporte, resultando em custos substanciais, sendo divididos, especialmente, em:

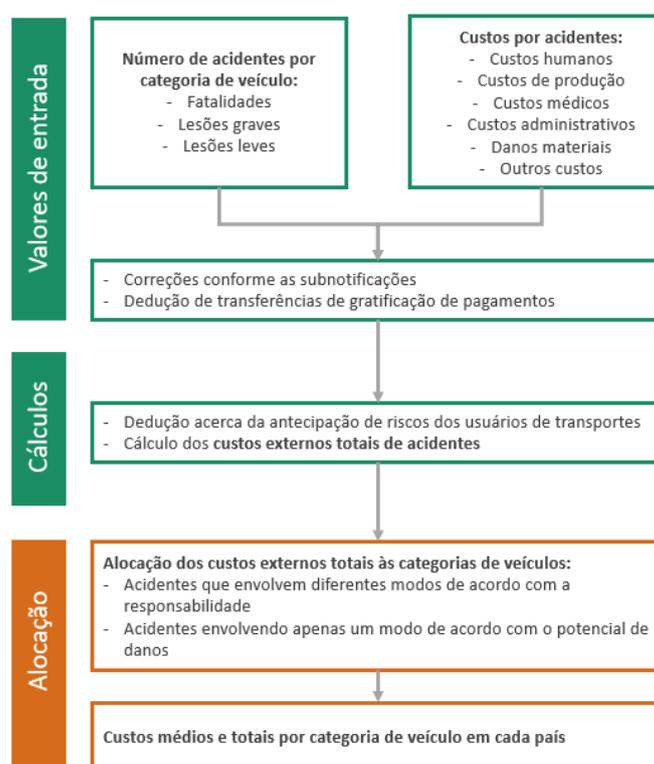
- Custos materiais: por exemplo, danos ao veículo, custos administrativos e médicos.
- Custos imateriais: referentes à dor, ao sofrimento, ao encurtamento da vida, entre outros.

Quando se trata da necessidade de avaliar esses custos, é possível metrificar os materiais por meio da utilização do preço de mercado (por exemplo, através de apólices de seguro), porém o mesmo não ocorre com aqueles imateriais. Assim, buscando mensurar os custos imateriais relacionados aos acidentes, sobretudo referentes ao transporte ferroviário, as seções seguintes elencam metodologias de avaliação desse impacto, destacando, também, as variáveis necessárias para aplicação de cada método.

3.1.1 Custos totais e médios

O manual de custos externos em transporte, publicado pela CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019), utiliza uma abordagem *top-down*⁷, partindo do total de acidentes e depois os alocando nos diferentes tipos de veículos, com a finalidade de aferir os custos totais e médios relativos aos acidentes. A metodologia em questão, inicialmente, compreende uma abordagem generalizada para depois focar em eixos específicos e é sintetizada na Figura 7.

Figura 7 – Metodologia dos custos totais e médios por acidentes



Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 42, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Na abordagem de custos totais e médios, os principais valores de entrada necessários à aplicação são:

- Número de acidentes por categoria
 - Os custos externos totais de acidentes que envolvem o modo ferroviário são apenas baseados em ferimentos graves e mortais, não sendo contabilizados os casos relativos aos ferimentos leves e também não englobando os casos de suicídio. Ademais, são utilizados apenas os casos reportados.
 - Os gastos em questão são calculados ao se multiplicar o número de vítimas pelos custos por vítima e deduzindo as transferências dos sistemas de seguro e dos pagamentos de gratificação. As estatísticas de acidentes para o transporte ferroviário foram fornecidas pela Agência Ferroviária da União Europeia (ERA, do inglês – European Union Agency for Railways).

⁷ A abordagem *top-down* sinaliza a aplicação de um efeito descendente, partindo de um todo com direção ao específico. Por sua vez, a abordagem *bottom-up* sinaliza sentido contrário, iniciando do mais específico para explicar o todo.

- Custos por categoria
 - Os componentes baseiam-se, majoritariamente, nos dados apresentados pelo SafetyCube (WIJNEN *et al.*, 2017), pesquisa sobre as estimativas de custos de coalizão para os países europeus, que estima o valor-padrão para cada um dos componentes de custo, de acordo com os métodos delineados pelas diretrizes internacionais.
 - Os únicos componentes de custo que não se baseiam no projeto de pesquisa supracitado são os custos humanos, que representam a maior parte dos custos dos acidentes e são avaliados com base no valor estatístico de uma vida (VEV, do inglês – *Value of a statistical life* – VSL)⁸.
 - A perda de consumo é calculada por meio da combinação de dados sobre as despesas de consumo *per capita* anuais com o número de anos de vida perdido devido ao acidente. Além disso, nenhuma perda de consumo é deduzida dos valores para lesões.
- Custo por acidente
 - Constituído por seis componentes, que são: custos humanos, custos de produção, custos médicos, custos administrativos, danos materiais e outros custos. Destes, os quatro primeiros são parcialmente externos.

A Tabela 5 apresenta os custos externos dos acidentes de acordo com os componentes supracitados que compõem os custos por acidentes.

Tabela 5 – Componentes dos custos externos dos acidentes para os UE28 em €₂₀₁₆

Categorias	Custos humanos	Perdas de produção	Custos médicos	Custos administrativos	Custos externos totais por acidente
Fatalidades	2,907,921	361,358	2,722	1,909	3,273,909
Lesões graves	464,844	24,055	8,380	1,312	498,591
Lesões leves	35,757	1,472	721	564	38,514

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 44, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Já os custos médios das **variáveis de saída** são calculados dividindo os custos totais pelos dados de desempenho do transporte, em que foi utilizada a base de dados do *SafetyCube* (WIJNEN *et al.*, 2017). Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 6.

⁸ O termo VEV é amplamente utilizado na literatura, no entanto vem sendo contestado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) por poder transmitir, de maneira errônea, a sensação de que se está colocando um preço à vida humana. Por esse motivo, a agência propõe o uso do termo Valor pela Redução do Risco de Mortalidade (do inglês, *Value of Mortality Risk Reduction* – VMR) (EPA, 2022).

Tabela 6 – Custos totais e médios de acidentes externos para os UE28 em €₂₀₁₆

Modos de transporte	Custos totais	Custos médios	
		Passageiro/km	Veículo/km
Transporte de passageiros	Bilhões		
Trens de passageiros de alta velocidade	0.1	0.1	17.3
Trens de passageiros convencionais	2.0*	0.5	52.2
Total de passageiros ferroviários	2.0		
Transporte total de passageiros	238.5		

*Custos totais sem considerar os trens de passageiros de alta velocidade

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 45, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

3.1.2 Abordagem do capital humano

A abordagem de capital humano considera a relevância do indivíduo para a sociedade e assume que o valor marginal da produção de uma pessoa é igual ao custo bruto da mão de obra, uma vez que na definição do VEV a soma descontada das futuras contribuições do indivíduo para o produto social corresponde ao futuro rendimento do trabalho, desde que o salário seja igual ao valor do produto marginal (EC, 2015).

Nos casos de acidentes mortais, o fator “perda de produção” é associado ao conceito de VEV, que é o valor que a sociedade estaria disposta a despendar para evitar a morte de um indivíduo. O VEV é detalhado na Equação (1).

$$VEV = \sum_t^T \frac{L_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Onde:

- T = tempo de vida restante.
- L_t = rendimento do trabalho.
- i = taxa de desconto social.

As variáveis de entrada utilizadas no referido método de avaliação de acidentes são as seguintes estatísticas:

- Número médio de feridos – casos leves.
- Número médio de ferimentos – casos graves.
- Número médio de acidentes mortais.
- Utilização de taxas de acidentes (em bilhão de veículos/km).

Os custos diretos dizem respeito às despesas de reabilitação médica, tanto na época que ocorreu o acidente quanto em relação aos custos futuros dependendo da lesão. Já os custos indiretos são referentes à perda líquida de produção para a sociedade, ou seja, o que poderia ter sido produzido, mas não foi devido ao acidente.

3.1.3 Custo marginal

Siciliano *et al.* (2016), sobre as inovações no setor ferroviário, salientam que a passagem do transporte rodoviário para o ferroviário resulta em uma melhoria da qualidade logística, com destaque para a segurança, tanto relativo às cargas quanto aos passageiros. Nesse processo, há um custo marginal total de acidentes associados com as consequências de o usuário entrar no fluxo de trânsito devido aos riscos intrínsecos à tomada de decisão. Os custos de um acidente, *ex ante*, incluem três componentes, a saber:

- A DAP do viajante envolvido no acidente.
- A DAP das pessoas próximas do indivíduo envolvido (familiares e amigos).
- Os custos relativos ao restante da sociedade.

Por sua vez, o custo externo marginal também é composto por três fatores, sendo estes:

- Sistema de externalidades: expectativa de custo do acidente para a sociedade (c) quando o indivíduo decide assumir os riscos ao entrar no fluxo de tráfego (r), incluindo as despesas médicas.
- *Externalidades do sistema* = $c \times r$ – Externalidade do volume de tráfego: soma da DAP dos indivíduos (a), com a DAP de pessoas próximas (b) e os custos da sociedade (c), relacionado com o aumento ou a diminuição dos riscos de acidentes dos envolvidos na utilização do mesmo modo.

$$\text{Externalidades do volume de tráfego} = (a + b + c) \times r \times E_{rQ}$$

Onde:

- E_{rQ} = elasticidade do risco aos ocupantes do veículo.
- Externalidade da categoria de tráfego: relação entre a DAP dos usuários (a), dos próximos deste (b) e custos para a sociedade (c) com os riscos de acidentes alterados nos outros meios de transporte.

$$\text{Externalidades do volume de tráfego} = (a + b + c) \times r' \times E_{r'Q}$$

Onde:

- r' = risco em que os não ocupantes do veículo se expõem.
- $E_{r'Q}$ = elasticidade de risco dos não ocupantes do veículo.

Os *inputs* do projeto devem ser apreciados ao seu custo de oportunidade. Todavia, vale destacar que os custos em questão não necessariamente correspondem ao custo financeiro observado.

Os *outputs* do projeto devem ser apreciados de acordo com a DAP dos consumidores. Da mesma forma, a variável supracitada não é sempre revelada corretamente pelos preços de mercado observados, uma vez que podem estar distorcidos ou até mesmo ausentes.

3.2 Ruídos

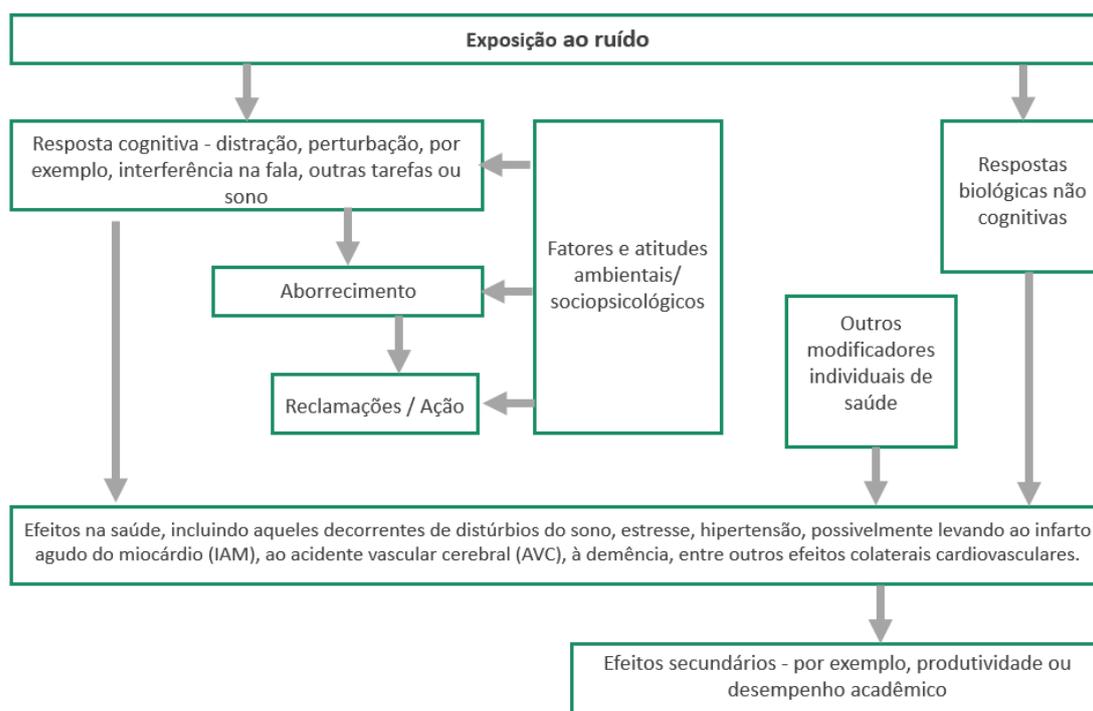
De acordo com Schrotten e Bruyn (2019), a exposição ao ruído emitido pelo transporte ferroviário pode levar a diversos custos, destacando-se:

- O aborrecimento dos indivíduos, causando irritação, exaustão e ansiedade.
- Os custos à saúde da população exposta, os quais podem englobar doenças como diabetes, distúrbios do sono e redução em certas habilidades cognitivas.

Nesse sentido, a fim de mensurar os efeitos dos ruídos no transporte, o manual adota a metodologia de custos totais e médios a partir de uma abordagem *bottom-up*, aplicando-a para os custos de ruído dos UE28.

Já o DfT, do Reino Unido, por meio do TAG (DfT, 2021b), se propõe, através de valores marginais, a monetizar os custos totais e marginais relacionados aos impactos na saúde associados à exposição de residências à mudança de cada decibel de ruído oriundo das atividades de transporte. Nesse sentido, a Figura 8 apresenta, de forma esquematizada, a avaliação de custo por indivíduo exposto ao ruído.

Figura 8 – Exposição ao ruído, custos por indivíduo exposto



Fonte: Defra (2014, p. 4, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

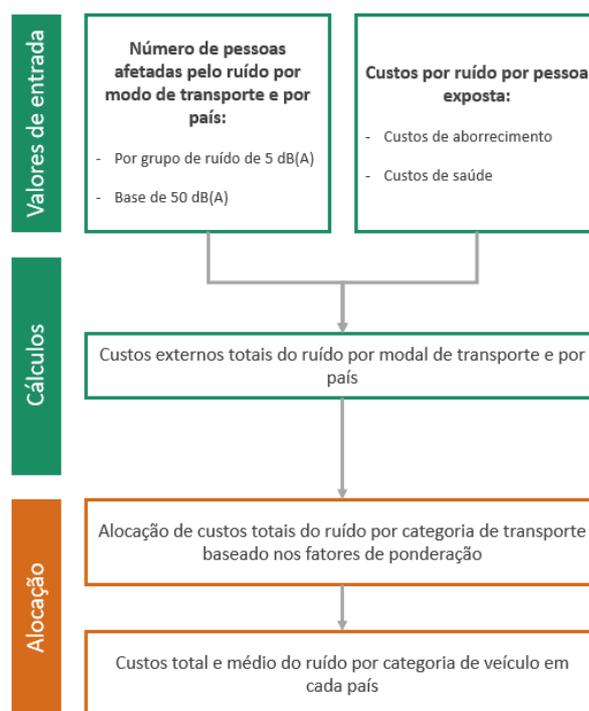
Desse modo, as metodologias de avaliação e de monetização de ruídos referentes às atividades de transporte serão apresentadas a seguir.

3.2.1 Custos totais e médios

A CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019), com relação à monetização dos custos totais e médios referentes aos ruídos emitidos pela atividade de transporte, com destaque para o transporte ferroviário de passageiros, utiliza uma abordagem *bottom-up*, na qual é considerado o número de pessoas expostas a cada 5 dB(A), seu custo por pessoa e por modo de transporte.

A Figura 9 apresenta a metodologia proposta a partir de uma divisão dos valores de *input* iniciais, de cálculos e de alocação dos valores. A primeira etapa consiste na metrificação do número de pessoas afetadas a cada 5 dB(A), a partir da base de 50 dB(A) devido à ausência de dados abaixo deste ponto e na valoração dos custos do ruído. O cálculo desses dados leva ao custo total, posteriormente alocado por modo de transporte e calculado o valor médio de acordo com a *performance* de cada categoria.

Figura 9 – Metodologia de custos totais e médios do ruído



Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 94, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Como **variáveis de entrada** necessárias à aplicação da metodologia, destacam-se:

- **Número de pessoas expostas:** para calcular os custos totais e médios de ruídos para um local, é necessário o número de pessoas expostas a um determinado nível de ruído, em grupos de 5 dB(A), e causado pelo modo de transporte analisado, com base em dados nacionais (empíricos ou cálculos de modelos nacionais específicos).
- **Preços ambientais:** o preço ambiental do ruído reflete a perda de bem-estar que ocorre para cada decibel extra emitido (SCHROTEN; BRUYN, 2019), calculado pela soma dos seguintes fatores:
 - Custo de aborrecimento: utiliza-se da base de metanálise e de revisão de estudos de preferência declarada sobre ruído em transporte e, por não possuir dados específicos para o modo ferroviário, é igualado com o modo rodoviário, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valorização do aborrecimento pelo ruído nos UE28 em €₂₀₁₆ por pessoa por dB, Lden⁹

Modo de transporte	50-55 dB	55-64 dB	>65 dB
Rodoviário	14	28	54
Aéreo	34	68	129

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 95 tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

⁹ Lden é a função logarítmica referente ao nível de som/ruído em um período de um dia (DEFRA, 2014)

- Custo de saúde: utiliza os preços sugeridos pelo *Environmental Burden of Disease Method* proposto por Defra (2014), pois compreende-se que estão mais alinhados com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS). Os valores referentes ao custo de saúde levantados pela CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019) estão presentes na Tabela 8, de acordo com o modo de transporte e o respectivo nível de decibéis.

Tabela 8 – Custos de saúde nos UE28 em €₂₀₁₆ por pessoa, por dB e por ano baseado em Defra (2014)

Modo de transporte	< 55 dB	55-59 dB	60-64 dB	65-69 dB	70-74 dB	> 75 dB
Rodoviário	3	3	6	9	13	18
Aéreo	5	6	9	12	16	21
Ferrovário	3	4	6	9	13	18

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 95 tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

- Por fim, a soma dos valores de aborrecimento e de saúde resultam nos **custos totais do ruído (por decibel, por pessoa e por ano)**, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Preço ambiental para o ruído no transporte ferroviário para os UE28 em €₂₀₁₆ por pessoa, por dB e por ano

Lden (dB(A))	Aborrecimento	Saúde	Total
50-54	14	3	17
55-59	28	4	32
60-64	28	6	34
65-69	54	9	63
70-74	54	13	67
>75	54	18	72

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 95, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

- **Fatores de ponderação para diferentes veículos:** para alocar os custos totais de ruído por modo de transporte aos custos médios por classe de veículo, é necessário conhecer o total de quilômetros percorridos por cada classe, porém, como o ruído proveniente de alguns veículos é considerado mais incômodo que outros, são propostos pesos padronizados (ESSEN, 2011). A Tabela 10 mostra os pesos incluídos para o transporte ferroviário na modalidade de passageiros e de carga.

Tabela 10 – Fatores de ponderação para ruído para diferentes tipos de transporte

Modo de transporte	Urbano (50 km/h)	Outras estradas (80 km/h ou acima)
Ônibus	9.8	3.3
Transporte ferroviário de passageiros	1	-
Transporte ferroviário de carga	4	-

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 96, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

No que se refere às **variáveis de saída** do método proposto, destacam-se:

- Custos totais: dados pelo número de pessoas afetadas no nível de ruído correspondente, multiplicado pelo custo total do ruído por pessoa (soma dos custos de incômodo e de saúde) e pelo peso de ponderação pela categoria de veículo.
- Custos médios: o custo total será dividido pelo desempenho total de determinado modo de transporte.

Os **valores resultantes** dos cálculos de custos totais e médios para o transporte ferroviário de passageiros realizados pela CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019) são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Custos totais e médios para transporte ferroviário de passageiros para os UE28

Modo de transporte	Custo total para UE28	Custos médios	
		Bilhões de euros	Centavo de euro por PKM
Trem de alta velocidade para passageiros	0,4	0,3	97
Trem elétrico para passageiros	2,6*	0,8	9
Trem a diesel para passageiros	0,9	1,4	81
Total para ferrovia de passageiros	3,9		

* Custo total sem trens de alta velocidade para passageiros (custo médio para trens elétricos para passageiros: inclui trem de alta velocidade).

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 96, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

3.2.2 Via de impacto

A abordagem da via de impacto (do inglês – *impact pathway*) é utilizada pelo TAG (DFT, 2021b) com a finalidade de calcular os custos do impacto à saúde. Para tanto, segue o ruído desde sua fonte até os níveis de ruído ambiente resultantes (incluindo a consideração do nível, o conteúdo de frequência e a duração) em um receptor (frequentemente, a população em geral), o que ocorre por meio da exposição ao ruído emitido pelos modos de transporte.

Essa metodologia foi utilizada pelo relatório na busca de monetizar os impactos causados pelo ruído para a população do Reino Unido, seguindo a estrutura apresentada pela Figura 10.

Figura 10 – Representação da abordagem de via de impacto para valorar os impactos de ruídos



Fonte: DfT (2021b). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

A metodologia proposta é, então, aplicada dentro do modelo indicado no estudo *Environmental noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet* (DEFRA, 2014), que prevê quatro tipos de valores de entrada e um referente à sensibilidade para realização dos cálculos, a saber:

- I. Entradas genéricas, como pessoas por domicílio, valor da saúde, transformações métricas de ruído, pesos de deficiência, funções de resposta e faixa de aplicabilidade associada – perturbação do sono, aborrecimento e infarto agudo do miocárdio (IAM).
- II. Distribuição por idade e sexo da população, exposição da população ao ruído.
- III. Entradas específicas de hipertensão, por exemplo, razão de probabilidade.
- IV. Valores específicos para hipertensão: riscos relativos e taxas de mortalidade.
- V. Sensibilidades: QALYs (do inglês – *quality-adjusted life years*) e DW (do inglês – *disability weight*), que impactam a saúde dos indivíduos.

Logo, os custos marginais por pessoa são adquiridos a partir da monetização dos quatro principais impactos à saúde, referentes a:

- I. Perturbação do sono: a valoração do distúrbio do sono segue a Equação (2).

$$\text{Valor da perturbação do sono} = \text{população exposta ao ruído} \times \text{proporção de pessoas com perturbação do sono} \times DW \times \text{valor da saúde} \quad (2)$$

- a) A população exposta ao ruído deve ser levantada com base em pesquisas locais sobre emissão do ruído.
- b) A proporção de pessoas com perturbação do sono é estimada através da Equação (3), dose-resposta para identificar a privação de sono conforme os modos de transporte próximos das residências. Para o sistema ferroviário, a função se dá conforme a Equação (3).

$$\%HSD = a - b \times L_{noite} + c \times (L_{noite})^2 \quad (3)$$

Onde:

- %HSD = proporção de pessoas com alta perturbação do sono.
 - a, b, c = variáveis com base na função dose-resposta proposta por IGCB(N) (IGCB, 2010 *apud* DEFRA, 2014).
 - L_{noite} = LAeq (o nível de pressão sonora contínua equivalente ponderado A, métrica do ruído), com duração de 8 horas no período das 23h às 7h, hora local.
- c) DW, que fornece uma estimativa da gravidade desse estado de integridade e estabelecido pela World Health Organization (WHO) em seu documento *Night Noise Guidelines for Europe* (WHO, 2009) no valor recomendado de 0,07, ou seja, isso significa que ser altamente perturbado pelo sono devido ao ruído ambiente reduz a saúde de um indivíduo completamente saudável em cerca de 7%. A multiplicação do DW com o %HSD resulta na estimativa do impacto na saúde do distúrbio do sono em DALYs (do inglês – *disability-adjusted life years*).
- d) O valor da saúde segue de acordo com a orientação predominante sobre a valorização da vida e da saúde. O valor monetário recomendado do QALY, medida da carga de doenças, incluindo a qualidade e a quantidade de vida vivida, é usado no modelo em € 60 mil.
- e) Logo, para se ter o custo marginal por pessoa, calcula-se a variação da proporção de pessoas com perturbação do sono (%HSD) de acordo com a mudança de 1 dB ($\%HSD_a - \%HSD_b/100$), chegando ao impacto do ruído por pessoa por mudança de dB.
- II. Aborrecimento: o cálculo para monetizar o aborrecimento é igual ao da perturbação do sono, seguindo a Equação (4).

$$\text{Valor do aborrecimento} = \text{população exposta ao ruído} \times \text{proporção de pessoas muito aborrecidas} \times DW \times \text{valor da saúde} \quad (4)$$

- a) Utiliza-se, portanto, a Equação (5), que identifica a porcentagem de pessoas muito irritadas (%HA) para os ruídos emitidos pela ferrovia.

$$\%HA = a \times (L_{den} - b)^3 - c \times (L_{den} - b)^2 + d (L_{den} - b). \quad (5)$$

Onde:

- %HA = proporção de pessoas muito aborrecidas.
- a, b, c, d = variáveis com base na função dose-resposta proposta por IGCB(N) (IGCB, 2010 *apud* DEFRA, 2014).
- L_{den} = o LAeq (o nível de pressão sonora contínua equivalente ponderado A, métrica do ruído), composto no período da 00h às 24h, com os valores noturnos (19h às 23h) ponderados pela adição de 5 dBA, e os valores noturnos (23h às 7h) ponderados pela adição de 10 dBA.

- b) O DW para o aborrecimento recomendado pelo WHO (2009) é de 0,02.
- c) O valor da saúde permanece recomendado pelo modelo em € 60 mil.
- III. Ataque cardíaco: o cálculo para monetizar a incidência de ataque cardíaco segue duas etapas:
- a) Calcular a variação do risco de incidência de ataque cardíaco, através da Equação (6) dose-resposta, numa faixa de 55 dB a 80 dB, a saber:

$$OR = a - b \times (L_{dia})^2 + c \times (L_{dia})^3 \quad (6)$$

Onde:

- $OR = odds\ ratio$, descreve o risco de um evento em relação ao risco inerente a outro evento. Por exemplo, uma razão de chances de 1,15 de uma incidência de IAM em 70 dB(A) em relação a uma linha de base de 55 dB(A) indica que o risco de IAM é 15% maior em níveis de ruído ambiental de 70 dB(A).
 - a, b, c = variáveis com base na função dose-resposta proposta por IGCB(N) (IGCB, 2010 *apud* DEFRA, 2014).
 - L_{dia} = LAeq, (nível de pressão sonora contínua equivalente ponderado A, métrica do ruído), com duração de 12h no período das 7h às 19h, hora local.
 - Logo, calcula-se o aumento na probabilidade de IAM em cada nível de ruído por pessoa, multiplicando o aumento marginal do risco ($OR_a - OR_b$) pela probabilidade média (casos de IAM/total da população).
- b) Valorizar as mudanças esperadas usando o custo associado de cada incidência de IAM, em que são consideradas mortalidade e morbidez, conforme a Equação (7).

$$\begin{aligned} \text{Custo Marginal IAM por pessoa} \\ = \%IAM \times \text{valor da saúde} \times (\%_{morte} \\ \times DW_{morte} \times \text{exp.}) + (\%_{morbidez} \times DW_{morbidez} \\ \times \text{exp.}) \end{aligned} \quad (7)$$

Onde:

- $\%IAM$ = aumento da probabilidade de IAM em cada nível de ruído por pessoa.
- valor da saúde = recomendado pelo modelo em € 60 mil.
- $\%_{morte}$ = probabilidade de morte por IAM.
- DW_{morte} = DW da morte por IAM, recomendado pelo WHO (2009), é de 1.
- exp. = redução da expectativa de vida pós-IAM.
- $\%_{morbidez}$ = probabilidade de morbidez por IAM.
- $DW_{morbidez}$ = DW da morbidez por IAM, recomendado pelo WHO (2009), é de 0,405.
- exp. = redução da expectativa de vida pós-IAM.

- IV. Hipertensão: não é possível valorar a hipertensão de modo direto, sendo proposta, portanto, uma abordagem por duas etapas:
- a) Quantificar a ligação do ruído com a hipertensão, calculando-se, primeiramente, a proporção de hipertensão na população, de acordo com faixa etária e sexo, em relação ao aumento do ruído em decibéis.

Com base no relatório da *Health and Safety Laboratory* (HARDING *et al.*, 2011), a Equação (8) e a Equação (9) são propostas.

$$(RRHT10) = \frac{OR}{[(1 - pHT) + (pHT \times OR)]} \quad (8)$$

Onde:

- $(RRHT10)$ = risco relativo de hipertensão associado com o aumento de 10 dB de ruído.
- OR = *odds ratio* da hipertensão recomendado em 1,07 pelo IGCB(N) (IGCB, 2010 *apud* DEFRA, 2014).
- pHT = proporção de hipertensão na população nos níveis de ruído-base.

$$(RRHT)_x = (RRHT10)^{\left(\frac{x}{10}\right)} \quad (9)$$

Onde:

- $(RRHT)_x$ = risco relativo de hipertensão associado ao aumento de 'x' dB(A) no ruído.
 - x = nível de ruído em decibéis.
- b) Quantificar a ligação da hipertensão e a probabilidade de derrame e de demência, sendo necessárias as seguintes variáveis:

- Risco relativo de um determinado resultado de saúde nos indivíduos com hipertensão em relação àqueles sem hipertensão ($RR_{outcome}$).
- Taxa de incidência ou de mortalidade devido a um resultado de saúde específico em população não hipertensa nos valores de ruído-base ($iN_{outcome}$).

Logo, calcula-se conforme a Equação (10).

$$RA = pHT \times RR_{outcome} \times iN_{outcome} \times (RRHT - 1) \quad (10)$$

Onde:

- RA = risco adicional na taxa de mortalidade de desfechos de saúde, de derrame ou de demência, relacionados à hipertensão (por 1.000) devido ao aumento de 'x' dB(A) no ruído ambiental.
 - pHT = proporção de hipertensão na população nos níveis de ruído-base.
 - $RR_{outcome}$ = risco relativo de um determinado resultado de saúde naqueles com hipertensão em relação àqueles sem hipertensão.
 - $iN_{outcome}$ = taxa de incidência ou mortalidade devido a um resultado de saúde específico em população não hipertensa nos valores de ruído-base.
 - $RRHT$ = risco relativo de hipertensão associado ao aumento de 'x' dB(A) no ruído.
- c) Monetizar a ligação entre o ruído e o derrame e a demência. É necessário calcular os QALYs perdidos (por mil pessoas), segundo a Equação (11).

$$QALYs\ perdidos = Z \times RA \times \text{valor da saúde} \quad (11)$$

Onde:

- $QALYs\ perdidos$ = é uma medida da carga de doença que leva em conta o impacto na qualidade de vida, logo, os QALYs perdidos representam a diminuição dessa medida de acordo com o impacto na saúde.
- Z = multiplicador para estimar QALYs adicionais perdidos por risco adicional de desfecho de saúde, definido pelo *Health and Safety Laboratory (HARDING et al., 2011)*.
- RA = risco adicional na taxa de mortalidade de desfechos de saúde, de derrame ou de demência, relacionados à hipertensão (por mil), devido ao aumento de 'x' dB(A) no ruído ambiental.
- valor da saúde = recomendado pelo modelo em € 60 mil.

Desse modo, como resultado da aplicação do método, têm-se os custos marginais do ruído emitido por ferrovia, em euros, por pessoa, por mudança de dB e referente a cada impacto na saúde, que podem ser multiplicados pela média de pessoas em uma residência.

3.3 Tempo de viagem

O tempo de viagem é uma das maiores categorias de custos de transporte e, justamente por isso, a economia no tempo de deslocamento é um dos benefícios mais desejados como consequências dos projetos de investimento em infraestruturas de transporte. A seguir são apresentadas formas de avaliar o tempo de viagem, baseadas em referências consolidadas na literatura.

3.3.1 Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2005)

O grupo do Banco Mundial, encarregado de realizar pesquisas sobre a temática de economia do transporte, de políticas públicas e de pobreza, apresenta uma série de relatórios sobre a avaliação econômica em projetos de transporte, em que é evidenciada uma metodologia para valoração do tempo poupado em viagens (do inglês – *valuation of time savings*).

O relatório expõe dois métodos distintos, conforme o propósito da viagem (a trabalho ou a lazer), ambos abrangendo abordagens variadas para realizar o cálculo, a depender dos dados e dos recursos públicos disponíveis. A Tabela 12 e a Tabela 13 apontam as metodologias para cada categoria de viagem e propõem três abordagens para valorar o tempo de acordo com os dados e os recursos públicos disponíveis para a realização do cálculo, visto que a Tabela 12 diz respeito às viagens a trabalho, enquanto a Tabela 13 apresenta as opções para viagens a lazer.

Tabela 12 – Metodologia de monetização do valor do tempo poupado para viagens a trabalho

Abordagem (dependente de dados e de recursos disponíveis)	Método
Abordagem de base (ou mínima) com respaldo em um único valor do tempo poupado	Opção 1: a taxa salarial nacional média é ajustada por fatores de ajuste observados considerados adequados Opção 2: a taxa salarial é ajustada pelo salário-sombra , sendo multiplicada pelo fator proposto de 1,33
Segunda melhor abordagem com base no modo de transporte	A taxa salarial é regulada utilizando fatores de ajuste observados (por exemplo: despesas gerais e taxa salarial sombra)
Abordagem ideal com base nos setores de trabalho	A taxa salarial é regulada utilizando fatores de ajuste observados (por exemplo: despesas gerais e taxa salarial sombra)

Fonte: The World Bank (2005, p. 10, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Tabela 13 – Metodologia de monetização do valor do tempo poupado para viagens a lazer

Abordagem (dependente de dados e de recursos disponíveis)	Método
Abordagem de base (ou mínima) com respaldo em um único valor do tempo poupado	Para adultos: 0,3 multiplicado pela renda familiar per capita Para crianças: 0,15 multiplicado pela renda familiar
Segunda melhor abordagem com base no modo de transporte + modificações segundo características da viagem (por exemplo: tempo de espera, qualidade e conforto da viagem etc.)	A taxa salarial é regulada utilizando fatores de ajuste observados (por exemplo: despesas gerais e taxa salarial sombra)
Abordagem ideal com base em grupos de renda, grupos socioeconômicos e propósito da viagem + modificações segundo características da viagem (por exemplo: tempo de espera, qualidade e conforto da viagem etc.)	A taxa salarial é regulada utilizando fatores de ajuste observados (por exemplo: despesas gerais e taxa salarial sombra)

Fonte: The World Bank (2005, p. 10, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

3.3.2 Departamento de Transporte dos Estados Unidos (DOT, 2014)

O Departamento de Transportes dos Estados Unidos (DOT, do inglês – U.S. Department of Transportation) apresenta um método de valoração do tempo de viagem a partir da variável denominada valor do tempo poupado (VTTS). Para o DOT, o VTTS é calculado do ponto de vista do tempo gasto na viagem em proporção ao salário médio do passageiro, levando em consideração, no caso da aviação, o propósito da viagem (se a trabalho ou a lazer).

O VTTS para viagens a trabalho é apontado como a remuneração bruta mediana do país e é definido como a soma do salário mediano por hora concomitante com a estimativa dos benefícios por hora. A Equação (12) representa o cálculo do VTTS.

$$VTTS_{\text{trabalho}} = 1 \times RBM \text{ e } RBM = \frac{(SM+B)}{h} \quad (12)$$

Onde:

- $VTTS_{\text{trabalho}}$ = valor do tempo poupado em trabalho
- RBM = remuneração mediana bruta
- SM = salário mediano
- B = benefício
- h = hora.

Então, conforme a Equação (13):

$$VTTS_{\text{trabalho}} = 1 \times \left[\frac{(SM + B)}{h} \right] \quad (13)$$

No que se refere às viagens a lazer, o seu cálculo utiliza a variável de renda familiar mediana por hora (divisão da renda familiar anual mediana do país por 2.080 horas) seguido do VTTS relativo às viagens em superfície que se multiplica por um fator derivado da diferença de renda. O VTTS de viagens de superfície a lazer entre cidades é de 70% da renda familiar mediana por hora, multiplicado pelo fator de 1,9, que é a proporção da renda familiar mediana dos viajantes pela renda familiar mediana nacional anual, conforme a Equação (14).

$$VTTS_{\text{lazer}} = 0,7 \times \left(\frac{RFM}{h}\right) e^{\frac{RFM}{h}} = \frac{RFA}{2080} \quad (14)$$

Onde:

- $VTTS_{\text{lazer}}$ = valor do tempo poupado em lazer
- RFM = renda família mediana
- RFA = renda familiar anual.

3.3.3 Departamento de Transportes do Reino Unido (DfT, 2021b)

O DfT (2020) disponibiliza o documento TAG, que contém estudos das diversas variáveis responsáveis por constituir a análise de transporte apresentadas no guia. Em 2020, foi elaborado um outro relatório nomeado *TAG Unit M2.1 – Variable Demand Modelling*, que utilizou como base planilhas eletrônicas em conjunto com o arquivo *TAG Data Book*, em que estão concentradas as metodologias por trás dos cálculos, que visam metrificar a valoração do tempo.

A base utilizada para classificar o valor do tempo está relacionada ao propósito da viagem e considera como parâmetro três faixas de renda, definidas como:

- Alta: rendas anuais maiores do que £ 40 mil
- Média: rendas anuais entre £ 20 mil e £ 40 mil
- Baixa: rendas anuais menores do que £ 20 mil.

Para viagens que não estão diretamente ligadas ao trabalho, a renda familiar deve ser levada em consideração e o valor do tempo é indicado a custo de mercado. Já para as viagens referentes a trabalho, deve-se utilizar a renda do indivíduo nas análises e apresentar um valor relacionado aos custos dos recursos por tempo de trabalho. A fórmula utilizada para valorar o tempo de viagens a trabalho, no modo ferroviário, é dada pela Equação (15).

$$VTTS = \frac{U}{\left(1 + e^{\frac{X_{\text{mid}} - D}{k}}\right)} \quad (15)$$

Onde:

- VTTS = valor do tempo
- D = distância (km)

- U = limite superior da função
- X_{mid} = distância no ponto de inflexão da curva (onde $VTTS = U/2$)
- K = parâmetro de escala (inversamente proporcional à inclinação da curva).

Além disso, os cálculos efetuados incluem diferentes variáveis no que se refere ao tempo, tais como: o tempo gasto até a estação de trem, bem como o tempo dentro e fora do veículo, o tempo de espera e o tempo de troca de trens.

Na formulação generalizada dos custos, todos os componentes do tempo (x), tanto dentro quanto fora do veículo, são multiplicados por valores apropriados, por finalidades e componentes de viagem (β) e, dessa forma, é possível convertê-los em valores monetários, conforme a Equação (16).

$$V_{RailGC} = \beta_{VOTrailtime}x_{railtime} + \beta_{VOTacctime}x_{acctime} + \beta_{VOTwaittime}x_{waittime} + \beta_{VOTxtime}x_{xtime} + \beta_{xfers}x_{xfers} + x_{fare} \quad (16)$$

Onde:

- GC = custos gerais
- $\beta_{VOTrailtime}$ = valor do tempo para viagens em ferrovias
- $\beta_{VOTacctime}$ = valor do tempo de acesso e de saída para a ferrovia
- $\beta_{VOTwaittime}$ = valor do tempo para o primeiro tempo de espera
- $\beta_{VOTxtime}$ = valor do tempo de troca
- $\beta_{VOTxfers}$ = valor de penalização monetária de uma troca.

Na formulação de tempo generalizado, os componentes de tempo (x), da mesma forma que o anterior, tanto dentro quanto fora do veículo, devem ser multiplicados por valores apropriados, por finalidade e por componentes de viagem (β), para que então sejam convertidos em componentes de unidades temporais, segundo a Equação (17).

$$V_{RailGT} = x_{railtime} + \beta_{acctime}x_{acctime} + \beta_{waittime}x_{waittime} + \beta_{xtime}x_{xtime} + \beta_{xfers}x_{xfers} + \beta_{1/VOT}x_{fare} \quad (17)$$

Onde:

- GT = tempo geral
- $\beta_{acctime}$ = valor de acesso e de saída do tempo, de acordo com o tempo dentro do veículo ferroviário

- $\beta_{waittime}$ = valor do primeiro tempo de espera, de acordo com o tempo dentro do veículo ferroviário
- β_{xtime} = valor do tempo de troca, de acordo com o tempo dentro do veículo ferroviário
- β_{xfers} = valor da penalização monetária de uma troca, de acordo com o tempo dentro do veículo ferroviário
- $\beta_{1/VOT}$ = valor do dinheiro, em termos de tempo ferroviário (1/VOT).

3.4 Poluição atmosférica

De acordo com a CE (EC, 2015), a poluição atmosférica causada por atividades de transporte pode levar a diversos tipos de custos externos, entre os quais se destacam:

- Custos de saúde
- Danos materiais
- Perda de colheitas
- Impactos sobre a biodiversidade e sobre o ecossistema.

Nesse contexto, tais custos no transporte são produzidos por cinco principais poluentes, sendo estes:

- i. Óxido de nitrogênio (NO_x)
- ii. Material particulado (MP_{2,5})
- iii. Dióxido de enxofre (SO₂)
- iv. Compostos orgânicos voláteis (VOCs)
- v. Amônia (NH₃).

Ressalta-se que os GEE não são considerados nessa categoria, tendo em vista que não causam efeitos tóxicos de modo direto, mas sim de modo indireto, pois geram consequências para as mudanças climáticas.

Com o objetivo de avaliar a poluição atmosférica, a publicação *The Green Book* (HM TREASURY, 2022) apresenta três principais metodologias, conforme a dimensão do impacto:

- Custo de danos: utilizada quando os impactos não afetam os limites legais e indicam estar abaixo de £ 50 milhões de custo.
- Análise de Via de impacto (AVI): utilizada quando os impactos não afetam os limites legais e indicam estar acima de £ 50 milhões de custo.

- Redução de custos: utilizada em casos específicos, quando os limites legais de emissão podem ser afetados. No caso das ferrovias, as emissões não costumam ultrapassar esses limites.

A CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019), por sua vez, apresenta uma metodologia que incorpora aspectos dos pontos citados, bem como de modelos consolidados na UE, em consonância com o *Environmental Prices Handbook* (BRUYN *et al.*, 2018). Tal método é referido no presente trabalho como custos totais e médios e salienta, para além da monetização das variáveis, modos de quantificar as emissões.

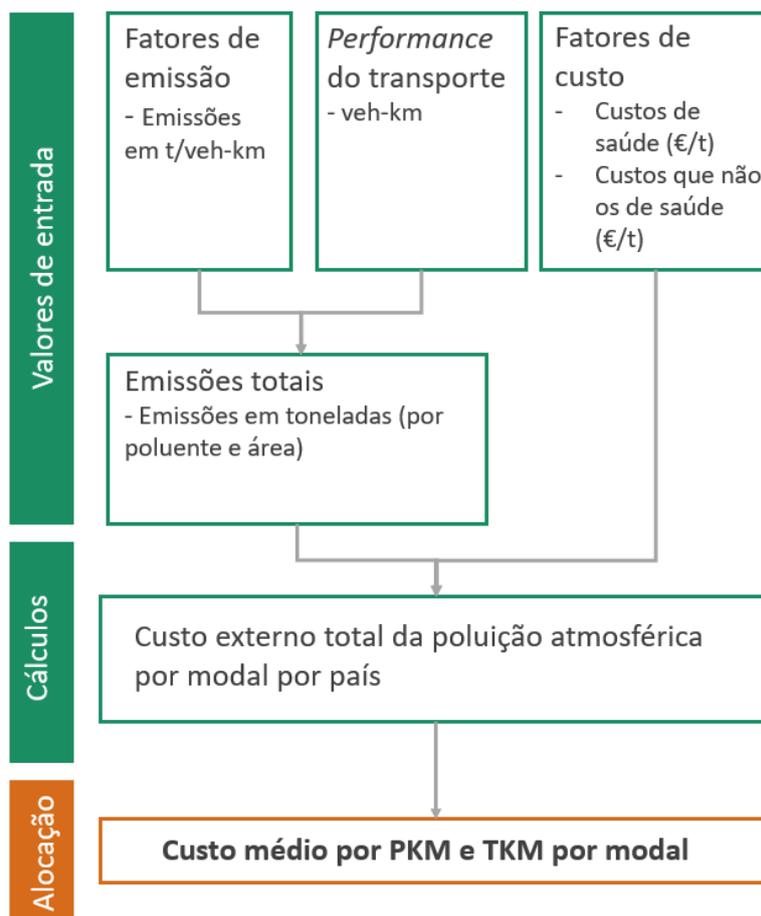
Nesse sentido, há distinções nas metodologias evidenciadas quanto a suas capacidades. Algumas têm por objetivo a monetização, outras a avaliação completa, de modo que os pontos fortes e fracos das metodologias serão retratados.

Ainda assim, todas as metodologias supracitadas resultam em variáveis que podem ser caracterizadas como preços-sombra, tendo em vista que buscam quantificar e monetizar os custos de bens ou de serviços cujos preços não são observados no mercado. Desse modo, em alguns casos, as metodologias incorporam passos que estão presentes no processo de definição dos preços-sombra.

3.4.1 Custos totais e médios

Esta metodologia consiste em relacionar as emissões com os fatores de custo por tonelada de poluentes. Desse modo, as emissões totais são uma combinação entre os fatores de emissão e a *performance* do modo de transporte. Essa combinação, em conjunto com os fatores de custo, representa o valor total dos custos externos por transporte por país. Por fim, os custos médios são apresentados em passageiros por quilômetro (PKM) e toneladas por quilômetro (TKM), por modo. A Figura 11 demonstra, de modo esquematizado, a metodologia para aferir os custos totais e médios da poluição do ar.

Figura 11 – Metodologia para custos totais e médios da poluição atmosférica



Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p. 52, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Sobre o método, destaca-se que:

- De modo a estimar os valores de poluentes emitidos, desenvolve-se uma multiplicação entre os fatores de emissão nacionais por tipo de veículo, levando em consideração a frota nacional e o volume de transporte.
- A quantidade estimada de emissões deve ser multiplicada pelo custo unitário por poluente, considerando a região e a densidade populacional.

Como variáveis de entrada necessárias à aplicação do método, têm-se:

- Emissão:
 - Fatores de emissão
 - Composição da frota nacional
 - Volume de transporte.

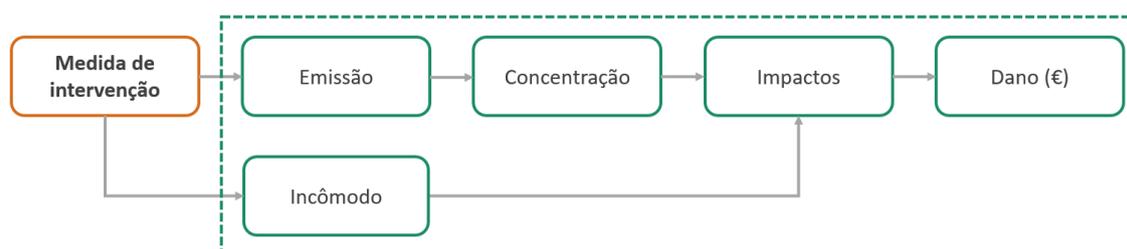
- Fatores de custo por tonelada de poluentes, que representam um valor monetário para uma quantidade de emissão. O presente método toma por base a definição de preços ambientais do *Environmental Prices Handbook* (BRUYN *et al.*, 2018).

Como variável de saída do método, têm-se os fatores de custo resultantes para os custos de poluição do ar por tipo de veículo.

3.4.2 Preços ambientais

A abordagem central apresentada pelo *Environmental Prices Handbook* (BRUYN *et al.*, 2018) pode ser sintetizada pela Figura 12, a qual demonstra os passos para avaliação de uma externalidade relacionada à poluição do ar. Após a intervenção, as emissões de poluentes são medidas, e suas concentrações verificadas, de modo a aferir os impactos que, por sua vez, são monetizados com vistas a quantificar os danos.

Figura 12 – Relações existentes entre emissão e monetização dos poluentes



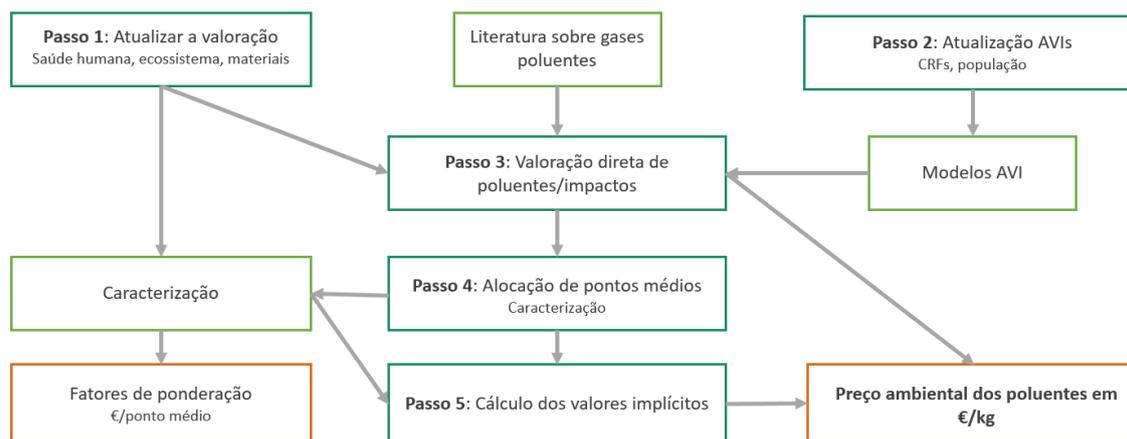
Fonte: Bruyn *et al.* (2018, p. 24, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Os impactos (*endpoints*) da poluição atmosférica considerados são classificados nas seguintes categorias:

- a. Saúde
- b. Serviços provenientes do ecossistema
- c. Construções e materiais
- d. Disponibilidade de recursos
- e. Bem-estar.

O guia apresenta valores médios (em euros por quilograma) de emissão por poluente para os 28 países da UE, em 2015. A Figura 13 mostra um esquema da metodologia utilizada para a formação dos preços ambientais.

Figura 13 – Passo a passo para monetização dos poluentes



Fonte: Bruyn *et al.* (2018, p. 48, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Conforme esquema da Figura 13, o método propõe cinco passos para aplicação, até resultar no preço ambiental dos poluentes, em unidades monetárias. Entre os passos necessários, destacam-se:

- Passo 1: definição de valores monetários estabelecidos para as cinco classes de impactos (*endpoints*).
- Passo 2: AVI atualizada, construída em torno dos impactos e das funções de concentração-resposta (CRFs, do inglês – *concentration-response functions*).
- Passo 3: os valores atualizados e as AVIs, somados à revisão de literatura, são utilizados para a avaliação direta de 15 poluentes.
- Passo 4: alocação desses poluentes com relação às classificações dos impactos.
- Passo 5: ponderação dos custos dos danos dos poluentes utilizando dados de emissões dos países da UE em 2015.

A monetização dos impactos citados é realizada por meio da aplicação das metodologias apresentadas no Quadro 12, de acordo com a especificidade de cada impacto gerado pela poluição atmosférica.

Quadro 12 – Métodos utilizados para monetizar impactos na mudança climática, conforme literatura

Impactos (<i>Endpoints</i>)	Métodos
Saúde, mortalidade	Preferências declaradas, intervalo também aferido por meio de preferências reveladas
Saúde, morbidade	Preferências declaradas, preferências reveladas
Serviços do ecossistema	Preferências declaradas, custos de restauração
Construções e materiais	Custos de restauração
Recursos	Custo de danos, redução de custos, modelagem

Impactos (<i>Endpoints</i>)	Métodos
Mudança climática	Redução de custos
Bem-estar	Preferências reveladas, modelagem CRF

Fonte: Bruyn *et al.* (2018, p. 58, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Como variáveis de entrada necessárias à aplicação dos preços ambientais, destacam-se:

- Emissões
- Concentração dos poluentes.

Nesse sentido, como variáveis de saída do método, tem-se o próprio preço ambiental do poluente ou da intervenção analisados.

3.4.3 Via de impacto

A abordagem de via de impacto para avaliação da poluição atmosférica é apresentada pela publicação do Departamento de Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais do Reino Unido, denominada *Air quality appraisal: impact pathways approach* (DEFRA, 2021). Segundo a referência, a aplicação da metodologia se dá a partir dos seguintes passos:

- Passo 1: ocorrência de uma alteração nas emissões de poluentes.
- Passo 2: desenvolvimento de modelagem de dispersão das emissões de poluentes, utilizando o mapeamento da poluição climática (PCM, do inglês – *pollution climate mapping*), com base em dados do Reino Unido, retirados da plataforma *National Atmospheric Emissions Inventory* (NAEI).
- Passo 3: mudanças nas concentrações de poluentes em diferentes locais.
- Passo 4: estimativa de como tais mudanças de concentração afetam diferentes vias de impacto referentes à saúde, à economia e ao meio ambiente, utilizando, para isso, funções de CRFs.
- Passo 5: valoração dos referentes impactos utilizando uma métrica monetária única, através de técnicas de monetização. Assim, cada impacto distinto foi monetizado utilizando uma técnica diferente.

A AVI tem como variáveis de entrada:

- Variação das emissões dos poluentes: MP; NO₂; VOCs; NH₃; e SO₂.
- Estimativa do custo de danos nacionais: relação entre as emissões e a exposição à concentração, calculada pela média ponderada pela população do poluente dividido pelo total anual de emissões deste.

Já como variáveis de resultado, têm-se os valores monetizados para os seguintes impactos:

- Mortalidade crônica
- Mortalidade aguda
- Morbidade
- Produtividade
- Dano causado pelo SO₂ a construções
- Dano causado pelo ozônio a materiais
- Danos ao ecossistema.

Por fim, com o objetivo de diminuir os riscos de avaliação e de definir uma faixa sobre a qual os resultados podem variar, o método prevê uma análise de sensibilidade, a qual apresenta os valores mínimos e máximos por meio de alterações nas CRFs, bem como nas vias de impacto.

3.4.4 Custo de danos

A abordagem de custos de danos para análise de poluentes é proposta pelo relatório *Air quality appraisal: damage cost guidance*, publicado pelo Defra (2021). A metodologia consiste em determinar um conjunto de valores monetários relativos aos impactos das emissões por tonelada de poluente. De acordo com a publicação, sete passos são seguidos de modo a consolidar sua aferição, a saber:

- Passo 1 – Identificar e quantificar as alterações nas emissões.
- Passo 2 – Constatar quais valores de custos de danos utilizar (valores nacionais ou de setores específicos).
- Passo 3 – Converter os valores de custos de danos para preços de um ano-base relevante.
 - Levar em conta a inflação.
 - Ajustar os valores para o ano em que os custos e os benefícios do projeto estão sendo considerados.
- Passo 4 – Aumentar os custos de danos em 2% ao ano. Reflete a premissa de que a DAP, por benefícios relativos à saúde, crescerá de modo consoante ao PIB *per capita*.
- Passo 5 – Calcular os benefícios para cada ano.
 - Utilizar os custos de danos ajustados para verificar o impacto de uma alteração nas emissões em cada ano.

- Multiplicar a alteração nas emissões esperadas (Passo 1), pelo custo de danos ajustado (Passo 4), para obter o benefício anual.
- Passo 6 – Descontar os benefícios durante o período de implementação do projeto e calcular o valor presente total.
 - Multiplicar o valor dos impactos não descontados por ano (Passo 5) pelo fator de desconto anual relevante.
 - Considerar a taxa de desconto de 3,5%, de acordo com *The Green Book* (HM TREASURY, 2022).
- Passo 7 – Desenvolver uma análise de sensibilidade, através da utilização dos custos de danos altos e baixos.

Como variáveis de entrada necessárias à aplicação do método dos custos de danos, têm-se:

- Fator de emissão: compreendido como a relação entre a atividade e a poluição produzida. Na aplicação para o Reino Unido, as estimativas foram retiradas do *Emissions Factor Database*, desenvolvidas pelo NAEI.
- PIB do país analisado.
- Taxa de desconto, conforme utilizada no Passo 6 da metodologia.

Como variáveis de saída da aplicação, têm-se:

- Benefícios totais das alterações nas emissões, representados por:
 - Variação das emissões em tonelada.
 - Benefícios totais, isto é, valor em unidades monetárias da redução das emissões.
 - Benefício total ao valor presente, sendo este o valor monetário da redução das emissões durante o período analisado.
 - Benefícios totais descontados.
- Análise de sensibilidade refazendo os passos 3 e 6, utilizando valores mínimos e máximos, de modo a gerar valores de impacto pelas sensibilidades.

3.5 Gases de efeito estufa (GEE)

Segundo a CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019), os efeitos das mudanças climáticas estão majoritariamente relacionados à emissão de GEE. No caso do setor de transporte, os GEE emitidos são:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Metano (CH₄).

Nesse contexto, os impactos gerados por esses gases diferem, em certa medida, daqueles que geram a poluição atmosférica, tendo em vista que os primeiros possuem impactos globais, de longo prazo e com certa dificuldade de mensuração, enquanto que os segundos geram custos diretos para a sociedade.

Para a aferição dos GEE, a CE (2015; SCHROTEN; BRUYN, 2019) apresenta uma abordagem *bottom-up*, referente aos custos totais e médios. A publicação *The Green Book* (HM TREASURY, 2022), por sua vez, aborda um método que relaciona a eficiência energética com os GEE. Ainda em âmbito europeu, a CE Delft (BRUYN, 2018) evidencia um cálculo dos custos externos, o qual inclui mecanismos para aferir os custos de mudanças climáticas no contexto de emissões de transporte. Por último, Brasil (2021b) expõe uma adaptação da metodologia de Pegada de Carbono, desenvolvida pelo Banco Europeu de Desenvolvimento, à realidade brasileira.

Todas as metodologias supracitadas resultam em variáveis que podem ser caracterizadas como preços-sombra, tendo em vista que buscam quantificar e monetizar os custos de bens ou de serviços cujos preços não são observados no mercado. Desse modo, em alguns casos, as metodologias incorporam passos que estão presentes no processo de definição dos preços-sombra.

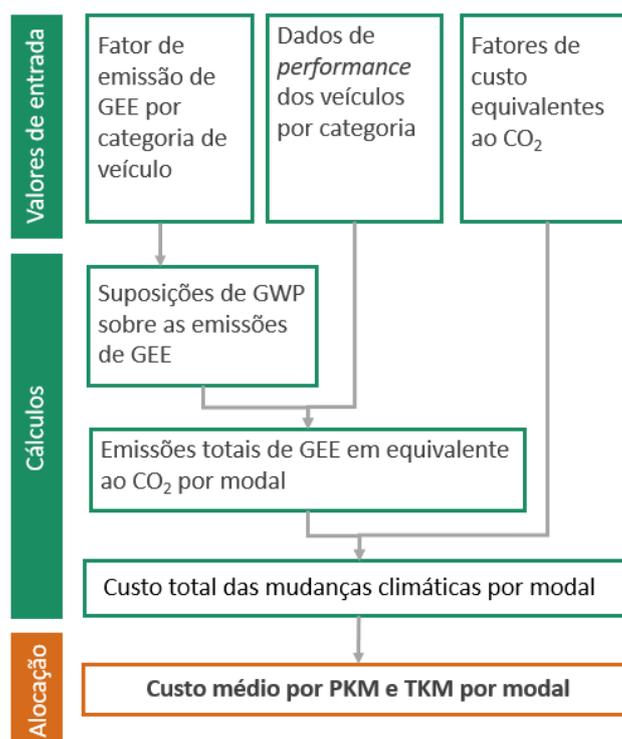
3.5.1 Custos totais e médios

A metodologia de custos totais e médios para avaliar as emissões de GEE, utilizada pela CE (2015; SCHROTEN; BRUYN, 2019), consiste nos seguintes passos:

- Quantificação do volume das emissões (adicionais ou reduzidas) para o projeto, expressas em toneladas por ano. Caso os dados para o projeto em específico não estejam disponíveis, emissões-padrão encontradas na literatura podem ser usadas.
- Cálculo do Potencial de Aquecimento Global (GWP, do inglês – *Global Warming Potential*) das emissões, para equalizar aquelas provenientes de CO₂ e dos demais poluentes.
- Relação das emissões em GWP com a *performance* do transporte do país, de forma a alcançar o total de emissões por modo de transporte.
- Relação das emissões por modo com um fator de custo equivalente ao CO₂, para aferir o custo total da mudança climática gerada pelos GEE em questão, por respectivo modo de transporte.
- Alocação dos custos médios em PKM e em TKM.

A Figura 14 apresenta a metodologia, de modo esquematizado.

Figura 14 – Metodologia de custos totais e médios das mudanças climáticas



Fonte: Schroten e Bruyn (2019, p. 75, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Como variáveis de entrada do método, têm-se:

- Os fatores de emissão de GEE por tipo de veículo:
 - Podem ser calculados pela multiplicação entre a quilometragem por modo em cada país e o fator de emissão (em g/km) de cada poluente.
 - Fatores de emissão para o sistema ferroviário da UE são retirados da base de dados do *Transport Emission Model* (TREMOT).
- Os dados de *performance* do modo.
- Os custos da mudança climática por tonelada de CO₂ equivalente.
- GWP:
 - Representa a quantidade de calor armazenada por uma certa massa de gás em comparação à quantidade armazenada por certa massa de CO₂.
 - Nesse contexto, essa variável é utilizada como métrica comum para comparar impactos provenientes de CO₂ e de outros poluentes. Os valores são calculados com base na convenção de que o valor para 100 anos do CO₂ é 1. Assim, o GWP para o CH₄ é 30 e do N₂O é 265.

A variável de saída do modelo é o fator de custo resultante para o custo do clima por modo e por tipo de veículo.

3.5.2 Eficiência energética e valores de GEE

O documento *The Green Book* (HM TREASURY, 2022) apresenta uma metodologia para mensurar as emissões de GEE com base nas alterações de combustíveis e de uso energético, que consiste nos seguintes passos:

- Quantificar o uso ou a eficiência energética, em megawatt por hora (MWh), identificando o tipo de combustível e o setor onde as alterações de consumo foram efetuadas.
- Valorar o uso de energia ou do combustível, multiplicando o valor do consumo de energia pelo Custo Variável de Longo Prazo (LRVC, do inglês – *Long Run Variable Cost*) por setor, disponibilizado pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido.
- Converter a energia utilizada em emissões de GEE (do inglês – *Greenhouse Gas Emission*), multiplicando o consumo de energia pelo fator de emissão, disponibilizado pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido. As unidades-padrão equivalem a toneladas ou a quilogramas de emissão de CO₂.
- Valorar o custo das emissões para a sociedade, com base no setor no qual as emissões de carbono ocorrem.
 - Setor comercializável: diz respeito às atividades compreendidas pelo Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS, do inglês – *European Union Emissions Trading System*), que define um preço de mercado para o carbono. Consiste nos setores de geração de energia, nas indústrias intensivas em consumo de energia e na aviação dentro da UE.
 - Setor não comercializável: inclui todas as outras atividades que consomem energia, abrangendo o consumo doméstico e o uso de combustível (exceto elétrico) para todos os modos de transporte, com exceção de aviação. Nesse caso, os valores para o carbono são disponibilizados pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido.

Nesse sentido, a quantidade de emissões de GEE equivale ao produto entre o uso do combustível e o fator de emissão. Já o custo dessas emissões é o produto entre a quantidade de emissões, em quilogramas equivalentes à emissão de dióxido de carbono, e o valor do carbono, como já demonstrado nas explicações.

As variáveis de entrada do modelo são:

- Consumo de combustível por ano, em MWh
- LRVC
- Fatores de emissão
- Valor do carbono.

Já a variável de saída é o custo das emissões de gases para a sociedade.

3.5.3 Custos externos

A UIC encomendou, com a CE Delft, um programa para calcular os custos externos relativos ao transporte de frete em rotas específicas na Europa. Tal mecanismo foi desenvolvido com base na EcoTransIT¹⁰, ferramenta digital que disponibiliza dados de tráfego ferroviário e de emissões de poluentes, bem como desenvolve cálculos de emissões.

O cálculo inserido no modelo para estimar os custos de externalidades relativas às mudanças climáticas é baseado nas funções de custo, conforme a Equação (18), a Equação (19) e a Equação (20).

$$C_{TTW,m} = E_{TTW,m} \times MC_{CO_2} \quad (18)$$

$$C_{WTT,m} = E_{WTT,m} \times MC_{CO_2} \quad (19)$$

$$C_{WTW,m} = C_{TTW,m} + C_{WTT,m} \quad (20)$$

Onde:

- C = custo por viagem das emissões de GEE (€/viagem).
- E = emissões equivalentes ao CO₂ (tonelada/viagem).
- MC_{CO₂} = custo marginal das mudanças climáticas.
- TTW = *tank-to-wheel*, que representa a utilização de combustível e as emissões durante a viagem.
- WTT = *well-to-tank*, que representa o intervalo entre a produção da fonte energética e a oferta de combustível, isto é, o transporte até o ponto de abastecimento.
- WTW = *well-to-wheel*, que representa a soma de TTW com WTT.
- m = modo de transporte.

Nesse método, a variável de resultado é o custo externo das emissões de GEE para certo trecho de transporte de frete.

¹⁰ Disponível em: www.ecotransit.org.

3.5.4 Pegada de Carbono

O *Guia ACB*, do Ministério da Economia (BRASIL, 2021a), fundamenta-se em diretrizes do Banco Europeu de Desenvolvimento para explicitar a metodologia de Pegada de Carbono, desenvolvida com o objetivo de avaliar externalidades relacionadas às mudanças climáticas, de modo a inseri-las com efetividade em análises custo-benefício. A metodologia apresenta os seguintes passos:

- i. Quantificar o volume de emissões adicionais ou reduzidas. São metrificadas com base em fatores de emissão de projetos específicos. No entanto, na ausência de dados, quantias genéricas encontradas em manuais setoriais podem ser utilizadas.
- ii. Utilizar o GWP para quantificar a equivalência das emissões de CO₂, por meio da multiplicação entre os fatores de emissão e o GWP.
- iii. Avaliar o custo unitário das emissões equivalentes ao CO₂, multiplicando-as por um custo unitário expresso em R\$/t. Ressalta-se que os custos unitários não possuem diferenciação geográfica, apenas temporal, de modo que emissões futuras terão mais impacto que as atuais.
- iv. Aplicar uma metodologia para precificar o carbono. Três são as elencadas pelo supracitado guia:
 - Custo social do carbono
 - Preço baseado em resultados específicos
 - Preço de mercado.

Como variável de entrada, a metodologia considera os fatores de emissão, quantificados a depender do projeto em questão, podendo ser expressos em unidade de combustível queimado, por quilômetro de viagem, entre outras métricas. Por sua vez, a variável de saída é o custo das emissões de GEE.

3.5.5 Custo social do carbono

Segundo o Ministério da Economia (BRASIL, 2021a), no que diz respeito ao transporte, as principais emissões são de dióxido de carbono, de óxido nitroso e de metano. A avaliação das emissões de gases da infraestrutura de transporte refere-se às consequências das atividades do projeto. Para estimar o volume total das emissões geradas ou evitadas por tipo de veículo para os vários modos, deve-se multiplicar os fatores de emissão pelo volume de transporte, levando em consideração relações entre demanda e capacidade, bem como relações de consumo de combustível e de velocidade (rodovias). Para calcular os custos externos causados pela emissão de GEE, a melhor prática é a abordagem *bottom-up*, pois é considerada a metodologia mais

elaborada, sobretudo para o cálculo dos custos ambientais externos específicos.

Essa abordagem é baseada em método de impacto que segue as seguintes etapas:

- Estimativa do volume de poluentes atmosféricos adicionalmente emitidos ou evitados. As emissões devem ser calculadas baseadas em fatores nacionais por tipo de veículo envolvido, levando em consideração a emissão da frota nacional de veículos e as distâncias percorridas.
- Avaliação dos custos totais de poluição do ar. A quantidade estimada de emissões deve ser multiplicada pelos custos unitários por poluente (por tipo de região e considerando a densidade populacional).

Atualmente, para análises de projetos de transportes, a valoração da emissão de GEE é realizada através do custo social do carbono. Uma estimativa inicial desse parâmetro está disponível no *Catálogo de Parâmetros* divulgado pela EPL, que também evidencia os fatores de emissão em toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e) por tipo de veículo e categoria de carga. Os custos de poluição do ar serão avaliados com base nos volumes de tráfego e nos tipos de vias nas seções analisadas, podendo ser calculado o impacto como um custo por veículo-km, tonelada-km ou passageiro-km.

Nesse contexto, com o objetivo de aferir o custo social do carbono, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (ATKINSON *et al.*, 2018) apresenta uma metodologia que consiste em quatro passos principais, a saber:

- Emissões: projeção de emissões futuras de CO₂ e da via das variáveis de saída.
- Impacto climático: projeção do impacto das emissões sobre o meio ambiente (atmosfera, temperatura oceânica, alterações nos ecossistemas e produtividade da biomassa).
- Danos: cálculo econômico dos danos associados à projeção das emissões e às alterações previstas no meio ambiente.
- Desconto: descontar os impactos econômicos para obter o valor presente.

3.6 Geração de empregos

O TAG, publicado pelo DfT, apresenta uma unidade dedicada aos efeitos no emprego acarretados por investimentos em transporte (DFT, 2018). Esse documento é a base para esta seção, a qual busca expor métodos de avaliar e de quantificar os impactos de um projeto ferroviário de passageiros no mercado de trabalho.

Os efeitos no emprego como resultado de investimentos em transporte referem-se às mudanças de nível e de localização do emprego, através da melhoria da acessibilidade e de mudanças comportamentais tanto na demanda por mão de obra (firmas) quanto na oferta (famílias).

Uma melhoria de acessibilidade, medida por uma redução nos custos generalizados de viagem, é equivalente a um aumento no retorno efetivo do trabalho e do capital. No caso de mudanças no retorno efetivo ao trabalho, isso pode alterar os resultados do lado da oferta, com destaque para:

- a) Melhor correspondência de trabalho (impacto de aglomeração), à medida que as viagens para as áreas de trabalho se expandem.
- b) Alteração do número de horas de trabalho.
- c) Redução da inatividade, conforme as pessoas entram no mercado de trabalho.

No caso de alterações no retorno efetivo do capital (lucros), isso pode alterar a demanda de trabalho, com destaque para:

- a) Aumento da demanda por mão de obra, ao passo que as empresas buscam expandir a produção.
- b) Redução da demanda por mão de obra, à proporção que as empresas se esforçam para obter eficiência de custos.

Impacto na oferta de trabalho

Deve-se assumir como ponto de partida que os investimentos em transporte não são capazes de aumentar o emprego líquido nacional. Como consequência, para demonstrar que os efeitos na oferta de trabalho são significativos, é necessário fornecer evidências específicas do contexto de que a acessibilidade insuficiente de transporte é uma barreira local para as pessoas entrarem no mercado de trabalho. Se isso puder ser demonstrado, as equações a seguir podem ser usadas para estimar os custos associados ao deslocamento em áreas onde os custos de viagem são afetados pelo regime de transporte.

A Equação (21) estima os custos generalizados de viagem e os de deslocamento para viagens entre as áreas relevantes para os diferentes modos. Já a Equação (22) calcula o impacto total da oferta de trabalho nas áreas onde se espera que os custos de viagem mudem como resultado do investimento de transporte.

$$G_{i,j}^{S,f} = \frac{\sum_m (g_{i,j}^{S,m,f} + g_{j,i}^{S,m,f}) T_{i,j}^{S,m,f}}{\sum_m T_{i,j}^{S,m,f}} \quad (21)$$

$$E^f = \sum_i \left(-\varepsilon^{LS} \left[\frac{\sum_j (G_{i,j}^{A,f} - G_{i,j}^{B,f}) W_{i,j}^{S,f} \Omega_j^{S,f}}{(1 - \tau_1) \sum_j (y_i^f W_{i,j}^{S,f})} \right] \right) \sum_j W_{i,j}^{S,f} \quad (22)$$

Onde:

- $G_{i,j}^{S,f}$ = custo médio generalizado de deslocamento (ida e volta) da área i para a área j , no cenário S . Esses custos variam dependendo do ano de previsão f .
- $g_{j,i}^{S,m,f}$ = custo generalizado de deslocamento da área i até a área j , no cenário S , pelo modo m e para o ano de previsão f .
- $T_{i,j}^{S,m,f}$ = número anualizado de viagens pendulares da área i para a área j , no cenário S , pelo modo m . Isso irá variar dependendo do ano de previsão f , à medida que varia na modelagem de impactos dos usuários de transporte.
- E^f = impacto da oferta de trabalho, assumindo que a demanda por trabalho seja perfeitamente elástica, isso será igual ao impacto no emprego do investimento de transportes. Esse impacto pode variar dependendo do ano de previsão f .
- ε^{LS} = elasticidade da oferta de trabalho em relação aos salários efetivos (líquido de impostos e outros custos de transporte) e é igual a 0,1. Não varia de acordo com o ano de previsão.
- $G_{i,j}^{A,f}$ = custo médio generalizado de deslocamento (ida e volta) da área i para a área j , sob o cenário alternativo A . Já $G_{i,j}^{A,B,f}$ é o custo de deslocamento no cenário-base B .
- $\Omega_j^{S,f}$ = média anual de viagens (ida e volta) por trabalhador empregado na área j , que pode variar de acordo com o ano de previsão.
- τ_1 = imposto médio necessário para converter o lucro bruto y_i^f em lucro líquido, com o qual a mudança nos custos de deslocamento pode ser comparada. Estima-se que seja igual a 30%. Não varia de acordo com o ano de previsão.
- y_i^f = rendimento/pagamento bruto médio anual dos trabalhadores na área j , para o ano de previsão f .
- $W_{i,j}^{S,f}$ = número de trabalhadores que vivem na área i , empregados na área j , no cenário S , para o ano de previsão f .

A estimativa de impacto positivo da oferta de trabalho antecipa o esperado aumento de empregos por conta de pessoas que entram no trabalho que, anteriormente ao investimento em infraestrutura de transporte, estariam inativas por conta dos altos custos de deslocamento.

Para estimar a oferta de mão de obra, há uma série de premissas subjacentes, a saber:

- i. Assume-se que a demanda por trabalho é perfeitamente elástica em toda a área sob consideração.
- ii. Presume-se que as pessoas tomem decisões sobre trabalhar com base em seus salários líquidos. A elasticidade da oferta de trabalho em relação aos salários, usados na Equação (21) e na Equação (22), é uma estimativa da força dessa resposta e é igual a 0,1.
- iii. Supõe-se que as reduções no custo generalizado de deslocamento aumentam o salário líquido efetivo e vice-versa.

Outra forma de avaliar os impactos da oferta de trabalho resultantes de um investimento em transporte é mediante os impactos no PIB, conforme demonstrado na Equação (23).

$$GDP^f = \sum_i \left(-\varepsilon^{LS} \left[\frac{\sum_j (G_{i,j}^{A,f} - G_{i,j}^{B,f}) W_{i,j}^{S,f} \Omega_j^{S,f}}{(1 - \tau_1) \sum_j (y_i^f W_{i,j}^{S,f})} \right] \sum_j (m_j^f W_{i,j}^{S,f}) \right) \quad (23)$$

Onde:

- GDP^f = valor de mercado do produto associado à mudança no nível de emprego para o ano previsto.
- ε^{LS} = elasticidade da oferta de trabalho em relação aos salários efetivos (líquido de impostos e outros custos de transporte). Não varia de acordo com o ano de previsão.
- $G_{i,j}^{A,f}$ = custo médio generalizado de deslocamento (ida e volta) da área i para a área j , sob o cenário alternativo A .
- $\Omega_j^{S,f}$ = média anual de viagens (ida e volta) por trabalhador empregado na área j , que pode variar de acordo com o ano de previsão.
- τ_1 = imposto médio necessário para converter o lucro bruto y_i^f em lucro líquido, com o qual a mudança nos custos de deslocamento pode ser comparada. Estima-se que seja igual a 30%. Não varia de acordo com o ano de previsão.
- y_i^f = rendimento/pagamento bruto médio anual dos trabalhadores na área j , para o ano de previsão f .

- $W_{i,j}^{S,f}$ = número de trabalhadores que vivem na área i , empregados na área j , no cenário S , para o ano de previsão f .
- m_j^f = salário médio bruto do trabalhador marginal que ingressa no mercado de trabalho na zona j , variando de acordo com o ano de previsão f . m_j^f deve ser considerado para o mesmo período de tempo (por exemplo, semanal ou anual) como y_j . Calculado como:
 - $m_j^f = \eta y_j^f$
 - $m_j^f = 0,69 y_j^f$.
- η = parâmetro que captura a menor produtividade do trabalhador marginal. Atualmente, é calculado como a fração de 0,69 do PIB médio por trabalhador.

Nessa aplicação, os benefícios dos usuários são equivalentes aos do erário. O método reflete o aumento das receitas fiscais (imposto de renda, contribuição social e imposto sobre as firmas) e a redução dos subsídios aos desempregados. Esse impacto na receita tributária é calculado pela Equação (24).

$$WI2^f = \tau_1 GDP^{A,f} \quad (24)$$

Onde:

- $WI2^f$ = bem-estar associado aos impactos da oferta de trabalho, irá variar dependendo do ano de previsão f .
- τ_1 = carga tributária sobre o impacto da oferta de trabalho, atualmente estimada em 40%. A alíquota não varia dependendo do ano de previsão.

Há uma série de premissas subjacentes à metodologia para avaliar os impactos na oferta de trabalho, a saber:

- i. É considerada uma economia com concorrência perfeita e pleno emprego. Sob a hipótese de concorrência perfeita, as empresas empregam trabalhadores adicionais até o ponto em que o aumento de receita marginal pela produção do trabalhador é igual ao seu salário. Em outras palavras, a variação do PIB como resultado do impacto da oferta de trabalho é igual aos rendimentos dos trabalhadores.
- ii. A produtividade dos trabalhadores à margem da força de trabalho é menor do que a do trabalhador médio. Isso é refletido na Equação (24) pelo ajuste de salários (m) pelo parâmetro η .
- iii. Aqueles que entram no emprego, e seus empregadores, não recebem implicitamente benefícios privados, ou seja, os benefícios associados ao usuário são

iguais a zero. Nesse método, o número de pessoas que ingressam no mercado de trabalho não é, por padrão, representado no modelo de transporte. Essa suposição também implica que os impactos desses novos usuários de transporte não afetam significativamente os usuários de transporte existente, os outros mercados (que não sejam o de transporte) e o meio ambiente. Esse método é apropriado para demonstrar que a mudança associada ao uso da terra não é significativa.

- iv. A mudança de bem-estar relacionada aos impactos da oferta de trabalho é igual à variação da receita tributária.

Impacto na composição do emprego (trabalhos mais/menos produtivos)

Um dos possíveis impactos no mercado de trabalho do investimento em transporte é a mudança na composição do emprego para aqueles mais (ou menos) produtivos. Isso decorre da realocação das vagas e da desigualdade espacial relacionada à produtividade (efeitos baseados no local). Esse efeito pode ser quantificado de duas formas:

- i. Usando cenários sobre como as empresas e as famílias provavelmente responderão às melhorias no transporte.
- ii. Usando um modelo de uso da terra para prever como o investimento no transporte impactaria as firmas e as famílias.

Para garantir a consistência entre os custos de viagem generalizados previstos e a localização do emprego, deve haver uma interação entre a metodologia de previsão de uso da terra e o modelo de transporte. Dessa forma, os locais de trabalho são informados pelos custos generalizados de viagem, e estes são informados pela localização dos empregos.

A avaliação da mudança para empregos mais/menos produtivos resultantes de um investimento em transporte pode ser calculada, em termos de impactos no PIB, conforme a Equação (25).

$$GDP^{A,f} = GDPW^{B,f} \sum (E_i^{A,f} - E_i^{B,f}) PI_i \quad (25)$$

- E_i^S = total de emprego para cada área i , no cenário-base B e no cenário alternativo A.
- PI_i = produtividade diferencial da zona por trabalhador em cada área i . O progresso tecnológico é considerado constante ao longo dos anos.

- $GDP^{A,f}$ = impacto a ser calculado, do movimento para empregos mais/menos produtivos do cenário alternativo (A) comparado com o cenário-base (B). Irá variar de acordo com o ano de previsão f .
- $GDPW^{B,f}$ = PIB médio nacional por trabalhador no cenário-base B. Irá variar dependendo do ano de previsão f .

Os benefícios dos usuários são equivalentes aos do erário. O método reflete o aumento das receitas fiscais (imposto de renda, contribuição social e imposto sobre as firmas). Esse impacto na receita tributária é calculado na Equação (26).

$$WI2^f = \tau_1 GDP^{A,f} \quad (26)$$

- $WI2$ = bem-estar associado à mudança para empregos mais/menos produtivos, variando de acordo com o ano de previsão f .
- τ_1 = arrecadação tributária deslocada para empregos mais/menos produtivos, atualmente estimada em 30%. A alíquota não varia de acordo com o ano de previsão.

Há uma série de premissas subjacentes à metodologia para avaliar a mudança para empregos mais/menos produtivos, que seguem:

- i. A mudança de produtividade é uma função do diferencial médio da produtividade de cada área, ganhando e perdendo empregos, em comparação à média nacional.
- ii. A produção associada às mudanças na produtividade é avaliada pelo PIB, por trabalhador, implicando mudança no retorno do trabalho e do capital. A distribuição geográfica da demanda e da oferta de trabalho será uma função de lucros e de salários, respectivamente. Assim, as mudanças de produtividade, que resultam da realocação do emprego, estarão associadas às alterações dos salários e dos lucros.
- iii. O método de valoração da mudança para empregos mais/menos produtivos implica mudança de uso da terra. Enquanto a base de evidências precisa ser desenvolvida, a estimativa de benefícios para os usuários com o uso fixo da terra pode fornecer um *proxy* razoável.
- iv. A mudança de bem-estar associada à mudança para empregos mais/menos produtivos é igual à variação da receita tributária.

3.7 Acessibilidade

O investimento em meios de transporte público tem como principal objetivo, entre outros, melhorar os meios de mobilidade da população, logo, ao abrir uma linha férrea entre dois pontos da cidade, espera-se facilitar o trânsito das pessoas nesse percurso, ou seja, ampliar a acessibilidade de uma parcela da população à locomoção. Esse benefício socioeconômico traz consigo diversos impactos indiretos, como a valorização imobiliária de uma região próxima aos pontos de trem, a democratização da mobilidade e o maior deslocamento de recursos e de mão de obra.

Desse modo, a fim de avaliar os ganhos com o aumento da acessibilidade pelo setor ferroviário, Eliasson *et al.* (2020) propõem a adoção do método de preços hedônicos, no qual estima-se o impacto das estações ferroviárias através dos valores imobiliários circundantes.

Visto que o modelo hedônico considera que os bens podem ser separados em diferentes atributos para a habitação, estes podem ser o número de quartos, a qualidade da estrutura e os atributos do bairro, incluindo a acessibilidade de transporte. Assim, o preço de um bem pode representar muitos preços implícitos de atributos individuais, possibilitando, então, a monetização da acessibilidade promovida por um modo de transporte (ELIASSON *et al.*, 2020).

Dessa maneira, a comparação proposta pelos autores, entre o modo rodoviário (ônibus) e o ferroviário (trem) com aplicação prática no município de Nacka, na Suécia, conta com duas etapas principais, a saber:

- i. Medir a acessibilidade
- ii. Estimar o impacto da acessibilidade nos preços dos imóveis.

Para uso da metodologia proposta, faz-se necessário o acesso aos dados de transações imobiliárias. No caso, foram recolhidos, por Eliasson *et al.* (2020), dados de transações de residências unifamiliares e de transações de apartamentos cooperativos em um período x dentro de um raio de distância de dois quilômetros da estação de metrô, por exemplo.

Dessas transações, foram observadas as seguintes variáveis:

- Caracterização do imóvel: preço; área habitável; mensalidade; número de quartos; ano de construção; área adicional; pontos de qualidade; disponibilidade de terraço; se geminada; proximidade com o mar; vista para o mar; e tamanho do lote.
- Medidas de acessibilidade: distância da estação; acessibilidade para transporte público; e acessibilidade para automóveis (carro).
- Caracterização do bairro: proporção de área construída; proporção de áreas íngremes; proporção de áreas planas; e proporção de casa residencial.

Existem diversas medidas para mensurar a acessibilidade, como a distância euclidiana (quanto mais próximo de uma estação, maior a acessibilidade) e a análise de rede (medindo a distância por redes de rodovias ou tempo de viagem em minutos). Porém, Eliasson *et al.* (2020) utilizam medidas de custos de transporte generalizados que são calculados através do modelo de transporte sueco Sampers que estima a acessibilidade através da derivação do excedente do consumidor.

Como o cálculo é baseado nos custos generalizados de transporte, pode-se extrair esse parâmetro específico para expressar a acessibilidade em unidade monetária. Todas as áreas do *Small Areas for Market Statistics* (SAMS) têm seus custos de transporte generalizados divididos em transporte público e privado. Os custos de viagem generalizados podem ser expressos como a Equação (27).

$$GCost_{i,j}^m = \theta_1^m travel\ time_{i,j}^m + \theta_2^m travel\ cost_{i,j}^m + \ln(destination\ attractiveness_j) \quad (27)$$

Onde:

- $GCost_{i,j}^m$ = soma do tempo de viagem, do custo de viagem e da atratividade do destino.
- $GCost$ = custo de transporte generalizado.
- m = modo de transporte.
- i = origem.
- j = destino.
- θ_1^m = parâmetro para tempo de viagem.
- θ_2^m = parâmetro para custos de viagem.

Esse método foi adotado por Eliasson *et al.* (2020), pois fornece uma descrição mais completa da acessibilidade, visto que leva em consideração o custo medido em tempo e a despesa monetária da viagem. Além disso, a inclusão da atratividade no destino, que é baseada em padrões reais de viagem, resulta numa medida de acessibilidade com uma boa representação do que pode ser intuitivamente entendido como acessibilidade.

Após mensurar a acessibilidade, é possível aplicar o método de precificação hedônica no sentido de avaliar o valor da acessibilidade pelos preços habitacionais. Assim, o modelo hedônico tem como base a Equação (28).

$$preço = \alpha A_{carro} + \beta A_{metrô} + \gamma A_{ônibus} + \delta X + \varepsilon \quad (28)$$

O preço é regredido conforme três diferentes medidas de acessibilidade, em que: carro (α), metrô (β) e ônibus (γ), além de uma matriz (X) para outros atributos específicos, como localização e moradia. Destaca-se a relação entre a acessibilidade dos transportes públicos, do metrô e do ônibus. Por exemplo, se $\beta > \gamma$, a acessibilidade por metrô é mais valorizada do que por ônibus.

Como resultado do modelo, é possível observar a variação nos preços imobiliários de acordo com o acesso aos modos de transporte selecionados pelo estudo.

3.8 Paisagem

A paisagem fornece o cenário para o dia a dia das pessoas, não sendo apenas aquelas ligadas à natureza. No contexto da avaliação de impactos ambientais causados por projetos de infraestrutura, os impactos na paisagem podem ser positivos quando relacionados à nova experiência estética e às amenidades visuais (HM TREASURY, 2022).

Alguns investimentos em transporte, como rodoviário ou ferroviário, normalmente serão pensados levando em conta o conceito de paisagismo (melhorar a aparência estética do esquema modificando as características do terreno circundante), construído como parte do projeto estético e da mitigação, estando esses projetos sujeitos à avaliação do impacto paisagístico (DFT, 2013).

A publicação sobre os custos externos em transporte na Europa (EC, 2015) constata que as infraestruturas de transporte costumam ter efeitos negativos para a natureza e para a paisagem. Como não existe uma metodologia para calcular os custos de danos referente à paisagem, é proposta a abordagem de custo de reparação, tendo como premissa que apenas a infraestrutura de transporte construída após 1950 é considerada responsável por danos à natureza e à paisagem.

Como elementos de custo considerados pelo estudo, destacam-se:

- Custos de reparação: investimento necessário para reparar e compensar os danos da infraestrutura de transporte à natureza e à paisagem, em que a área do projeto deve ser desselada.
 - O fator de custo para os custos de reparação é baseado no último estudo da UIC (SCHREYER *et al.*, 2004) e atualizado para 2008 usando a evolução dos preços entre 2004 e 2008 (índice de preços ao consumidor).
 - O valor-base para a Alemanha é de € 27,2 por m². O fator de custo alemão é transferido para outros países usando o PIB *per capita* (ajustado em paridade de poder de compra - PPC). Os custos de reparação são contabilizados apenas para as áreas de infraestrutura de transporte seladas.

- Custos de restauração de ecossistemas: a área tem que ser restaurada de forma que o ecossistema inicial (biótopo) seja recuperado.
 - O fator custo para os custos de restauração é baseado na recente pesquisa europeia Projeto NEEDS (OTT *et al.*, 2006), em que os custos médios de restauração de diferentes ecossistemas são dados para todos os países europeus em € por m² para o ano de 2004. A média dos custos de restauração para a UE é € 1,52 por m².
 - Os custos de restauração são contabilizados na área selada pela infraestrutura de transporte e as áreas adicionais são referentes à área afetada ao longo da infraestrutura de transporte. Para a área prejudicada adicional, são utilizados os mesmos dados do último estudo da UIC (SCHREYER *et al.*, 2004).
 - A área selada das infraestruturas rodoviárias, ferroviárias e fluviais são calculadas com base no comprimento e nas suposições sobre a média de largura dos diferentes tipos de infraestruturas.

4 MONETIZAÇÃO DE EXTERNALIDADES: PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA

O presente capítulo consiste em uma proposição metodológica aplicável à experiência brasileira, para avaliação e monetização de custos e de benefícios socioeconômicos e ambientais para o transporte ferroviário de passageiros, a fim de possibilitar o cálculo do benefício líquido para as propostas de investimento simuladas na Meta 1D desta cooperação técnica.

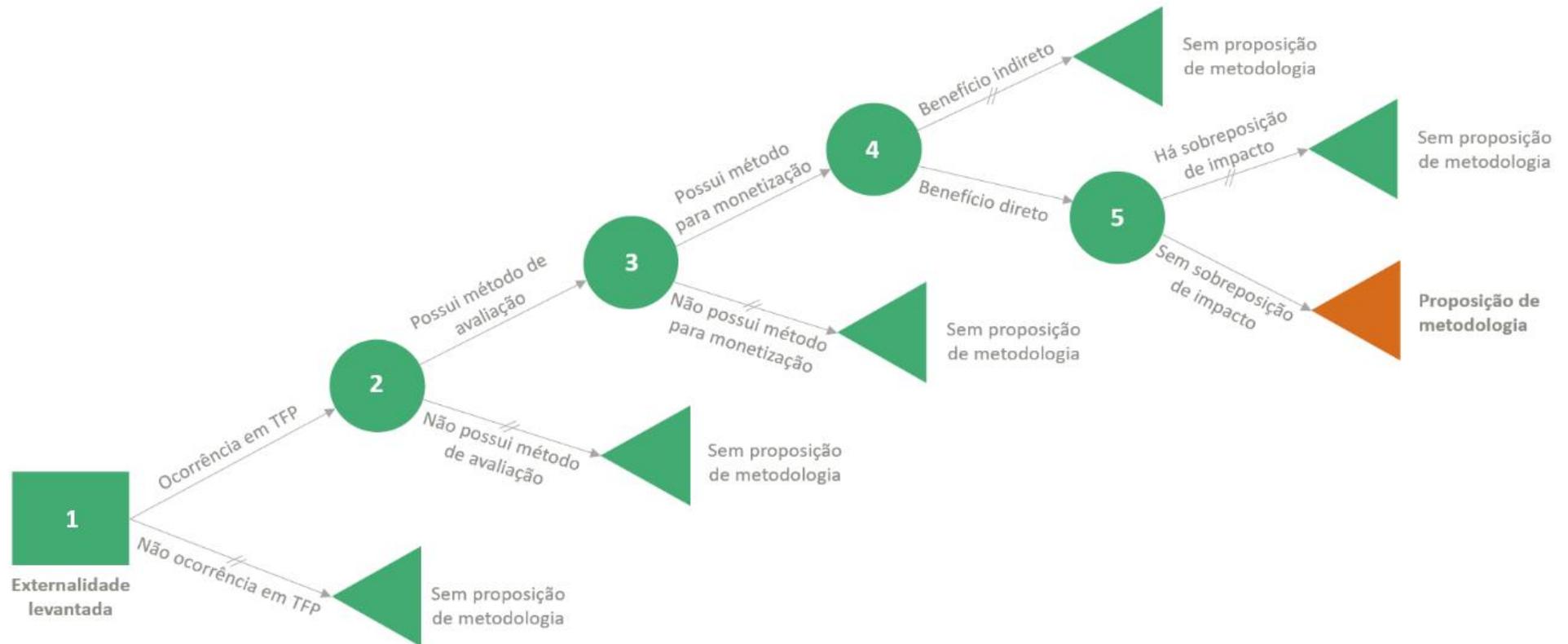
Para tanto, o capítulo 4 divide-se em três seções, sendo elas: a primeira apresenta as justificativas para a escolha das externalidades que tiveram metodologias de monetização desenvolvidas para o caso brasileiro; a segunda visa ilustrar a sistematização dos métodos desenvolvidos através de fluxogramas; e, por fim, a terceira esclarece as metodologias definidas para cada externalidade eleita.

4.1 Definição das externalidades propostas

Após a revisão de literatura apresentada no capítulo 2 e considerando a listagem inicial oriunda do *Plano de Trabalho* de impactos em projetos ferroviários de passageiros, foi levantada uma gama de possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais. A análise posterior teve como objetivo identificar quais dos impactos sugeridos poderiam ser avaliados e monetizados, a fim de permitir a aplicação prática e resultar na valoração dos benefícios socioeconômicos decorrentes de cada ligação ferroviária proposta.

Nesse sentido, a Figura 15 ilustra, em formato de árvore de decisão, a abordagem adotada para definição de quais externalidades, dentre as propostas, possibilitam a monetização dos seus impactos específicos no contexto do transporte ferroviário de passageiros (TFP).

Figura 15 – Árvore de decisão para proposição metodológica



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Conforme a estrutura ilustrada na Figura 15, para que a externalidade listada apresente uma proposição metodológica para sua monetização, é necessário que esta cumpra **cinco critérios**, entendidos como pontos de decisão, a saber:

- 1. Ocorrer em TFP:** critério inicial observado nas pesquisas realizadas, é premente que o impacto levantado ocorra em decorrência do transporte ferroviário de passageiros.
- 2. Possuir método de avaliação:** para possibilitar a valoração do benefício, é fundamental que este tenha uma metodologia de avaliação consolidada, sendo possível identificar a magnitude do impacto no investimento de transporte proposto.
- 3. Possuir método de monetização:** conforme objetivo de mensurar a relação custo-benefício socioeconômico, é necessário obter todos os impactos em uma medida equivalente, dessa forma, a monetização (valor em R\$) é entendida como a melhor possibilidade de comparação entre os impactos e possibilita a aplicação da metodologia ACB, a qual permite identificar o benefício líquido (descontado os custos) para a sociedade de um investimento em infraestrutura.
- 4. Ser um benefício direto:** a escolha por monetizar apenas benefícios diretos decorrentes dos projetos justifica-se pela determinação do *Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura*, de 2021 (BRASIL, 2021b), que sugere, como melhor prática, não valorar benefícios indiretos:

A valoração por preços sociais dos insumos e produtos do projeto, bem como a monetização das externalidades, já contabilizam os principais impactos relevantes do projeto sobre o bem-estar. Por consequência, na maioria das vezes os efeitos indiretos, indutivos e de segunda ordem não devem ser incluídos na análise de custos e benefícios do projeto. A principal razão para isso não é por serem mais difíceis de serem identificados ou quantificados que efeitos diretos, mas porque, se os mercados secundários forem aproximadamente eficientes, os efeitos indiretos são irrelevantes em termos de equilíbrio geral, uma vez que já são capturados pelos preços sombra. Acrescentar tais efeitos aos custos e benefícios mensurados nos mercados primários geralmente resulta em dupla contagem. (BRASIL, 2021b, p. 51).

- 5. Não ocorrer sobreposição de impacto:** por fim, mesmo que o impacto cumpra todos os critérios elencados, é importante avaliar, dentre aqueles selecionados, se há possibilidade de sobreposição dos impactos, o que acarretaria em uma dupla contagem e, com isso, uma estimativa incorreta dos benefícios. Dessa forma, nesses casos, opta-se por utilizar os impactos mais consolidados e com metodologias mais robustas.

Para selecionar um tipo de impacto a ser avaliado nos trechos ferroviários, valorando seu benefício líquido para a sociedade, é necessário cumprir todos os critérios elencados na árvore de decisão (ver Figura 15). Porém, entende-se que as decisões referentes a cada critério não seguem, em todos os casos, uma ordem cronológica única. Por isso, não devem ser interpretadas como um fluxo, podendo um impacto, por exemplo, ser desconsiderado com base no critério 5, sem necessariamente ter cumprido os critérios anteriores.

Nesse contexto, alguns impactos que tradicionalmente ganham destaque costumam ser interpretados como benefícios socioeconômicos, porém, conforme análise realizada, não conseguiram cumprir todos os critérios necessários para justificar uma proposição metodológica, com destaque para:

- **Geração de emprego:** conforme abordagem para avaliação socioeconômica dada pela ACB, a geração de empregos decorrente de projetos de infraestrutura não pode ser considerada um benefício socioeconômico, pois os salários representam custos para o projeto, estando o benefício social do trabalho captado através do preço sombra de mão de obra (PSMO), que tende a aumentar o benefício líquido do projeto quando o investimento for realizado em regiões com maiores taxas de desemprego ou de informalidade. Nesse contexto, quando apresenta o fator de conversão da mão de obra, o supracitado *Guia* destaca:

Vale ressaltar que, na avaliação socioeconômica, os empregos gerados pelo projeto não são considerados como benefício econômico, pois são custos (folha de pagamento). Se o mercado de trabalho estiver em pleno emprego, cada posto de trabalho criado pelo projeto deslocará trabalhadores de outras funções. Por outro lado, na presença de desemprego estrutural, o PSMO captura a diferença entre a folha de pagamentos do projeto e o custo de oportunidade da mão de obra, de modo que, do ponto de vista socioeconômico, essa redução de custos corresponda ao “benefício” da geração de empregos. Considerar como benefício os salários dos trabalhadores do projeto seria, portanto, incorrer em dupla contagem. (BRASIL, 2021b, p. 39).

- **Valorização imobiliária:** dentre os principais desafios na avaliação dos benefícios líquidos de um projeto está o de identificar os impactos que incorrem em dupla contagem. Com base nas análises efetuadas, entende-se que a valorização imobiliária possui efeitos semelhantes à redução do tempo de deslocamento e, portanto, deve ser desconsiderada, dado a preferência pelo impacto mais consolidado. Nesse contexto, similar a discussão proposta, o *Guia ACB* apresenta como exemplo de dupla contagem:

[...] computar o benefício do ganho no tempo de viagem de passageiros em um projeto de expansão de metrô e ao mesmo tempo contabilizar a valorização dos imóveis nos bairros atendidos pelo projeto, uma vez que a valorização decorre da redução do tempo de deslocamento. (BRASIL, 2021b, p. 51).

Por outro lado, a valorização imobiliária poderá permitir a operadora de transporte ferroviário de passageiro auferir ganhos com receitas acessórias, seja com a exploração comercial própria ou com aluguel de espaços para esse fim. Esse impacto, por envolver transações financeiras entre agentes da sociedade, não se caracteriza como benefício socioeconômico, porém, do ponto de vista do negócio, tende a contribuir com sua viabilidade. Assim, as receitas acessórias serão contabilizadas na Meta 1D, que busca avaliar a viabilidade econômico-financeira dos projetos propostos.

Com base na abordagem de definição dos impactos, que determina a necessidade de cumprimento dos cinco critérios elencados na árvore de decisão e aprofundados no tópicos subsequentes a este, o Quadro 13 apresenta os impactos listados no *Plano de Trabalho* do TED nº 01/2021/SNTT e justifica a inclusão, ou não, da metodologia de valoração para esses impactos de acordo com os critérios.

Quadro 13 – Possibilidade de valoração conforme levantamento na literatura e listagem do *Plano de Trabalho*

Impactos considerados	Determinação de proposição metodológica
Economia de tempo para usuários dos sistemas de transportes	Conforme cumprimento de todos os critérios, é proposta uma metodologia de avaliação no capítulo 4 para este impacto.
Redução de acidentes nos sistemas de transportes	Conforme cumprimento de todos os critérios, é proposta uma metodologia de avaliação no capítulo 4 para este impacto.
Redução nas emissões de GEE	Conforme cumprimento de todos os critérios, é proposta uma metodologia de avaliação no capítulo 4 para este impacto.
Descongestionamento dos outros modais de transportes	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Demandas induzida e reprimida	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Desenvolvimento regional	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Custos evitados e/ou postergados de ampliação nos outros sistemas de transporte	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Aproveitamento de energia elétrica resultante do processo de frenagem dinâmica	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Economias advindas de construção de edificações sustentáveis (painéis solares, aproveitamento de águas pluviais etc.)	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Redução de custos operacionais de outros sistemas de transporte	Entende-se que o impacto tem efeito indireto e, portanto, não cumpre o Critério 4. Além disso, nas pesquisas realizadas, não constaram métodos para sua avaliação e monetização, critérios 2 e 3, respectivamente.
Geração de empregos diretos e indiretos	Conforme premissas da metodologia ACB (BRASIL, 2021b), a geração de empregos diretos não deve ser considerada um benefício socioeconômico, por estar ligada aos custos do projeto. Referente aos empregos indiretos, a dificuldade de mensuração e a possibilidade de dupla contagem fazem com que o impacto não seja considerado na avaliação socioeconômica, em linha com o descumprimento dos critérios 4 e 5.
Receitas advindas da exploração comercial e imobiliária	Conforme premissas da metodologia ACB (BRASIL, 2021b), as receitas financeiras não devem ser consideradas benefícios sociais, por se tratar de uma transferência entre agentes de uma mesma sociedade.

Impactos considerados	Determinação de proposição metodológica
Formas de apropriação de parcela das receitas geradas pelos empreendimentos (receitas perenes)	Conforme premissas da metodologia ACB (BRASIL, 2021b), as receitas financeiras não devem ser consideradas benefícios sociais, por se tratar de uma transferência entre agentes de uma mesma sociedade.
Aproveitamento para exploração comercial e imobiliária de áreas públicas permutáveis	Conforme premissas da metodologia ACB (BRASIL, 2021b), as receitas financeiras não devem ser consideradas benefícios sociais, por se tratar de uma transferência entre agentes de uma mesma sociedade.
Impactos fiscais	Conforme premissas da metodologia ACB (BRASIL, 2021b), as receitas financeiras não devem ser consideradas benefícios sociais, por se tratar de uma transferência entre agentes de uma mesma sociedade.
Fomento científico em instituições de ensino e pesquisa	Entende-se que o impacto ocorre de forma indireta, descumprindo o Critério 4.
Transferência de tecnologia e know-how de operação do sistema ferroviário	Entende-se que o impacto ocorre de forma indireta, descumprindo o Critério 4.
Ganhos relacionados à incorporação de índices de conteúdo local	Entende-se que o impacto ocorre de forma indireta, descumprindo o Critério 4.
Ruídos	Conforme cumprimento de todos os critérios, é proposta uma metodologia de avaliação no capítulo 4 para este impacto.
Consumo de energia	Não foram encontradas metodologias robustas para avaliação e monetização do benefício relacionado ao consumo de energia para o transporte ferroviário de passageiros, portanto não se propõe uma metodologia, em conformidade com o Critério 2.
Biodiversidade	O impacto na biodiversidade é entendido como um efeito indireto e não consta nas referências obtidas na literatura como passíveis de avaliação, portanto não se propõe uma metodologia, em conformidade com os critérios 2 e 4.
Acessibilidade	O impacto na acessibilidade está relacionado com a economia de tempo para os usuários e, portanto, têm seus efeitos sobrepostos ao método já proposto, descumprindo, portanto, o Critério 5.
Equidade social	Entende-se que o impacto ocorre de forma indireta, descumprindo o Critério 4.
Uso do solo	Não foram encontradas metodologias robustas para avaliação relacionada ao uso do solo, portanto não se propõe uma metodologia, em conformidade com o Critério 2.
Paisagem	Não foram encontradas metodologias robustas para a monetização do impacto do TFP na paisagem, descumprindo, portanto, o Critério 2.
Recursos hídricos	Não foram encontradas metodologias robustas para avaliação de impactos nos recursos hídricos, portanto não se propõe uma metodologia, em conformidade com o Critério 2.
Mudanças climáticas	O referido impacto é um efeito indireto e está relacionado às emissões de GEE e poluentes atmosféricos, portanto têm seus efeitos sobrepostos ao método já proposto. Um método de monetização não foi proposto devido ao não cumprimento do Critério 4.

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Por fim, propõe-se a aplicação prática para aquelas externalidades que, através do levantamento realizado, mostraram-se passíveis de uma mensuração bem definida dos seus impactos, permitindo, inclusive, comparação entre modos de transporte complementares e a monetização de seus benefícios ou de custos para a sociedade. Nesse sentido, destaca-se o detalhamento metodológico para quatro externalidades:

- i. Sinistros em transporte
- ii. Ruídos
- iii. Tempo de viagem
- iv. Emissão de poluentes.

4.2 Sistematização dos métodos (fluxogramas)

De maneira a apresentar, de forma sistematizada, as metodologias de monetização propostas para cada um dos quatro impactos selecionados, foram desenvolvidos fluxogramas visando facilitar o entendimento das suas aplicações práticas. Nesse sentido, a presente seção tem como objetivo explicitar a sistematização das metodologias de valoração das externalidades evidenciadas em fluxogramas encontrados nas subseções de “Aplicação ao Brasil” ao final de cada impacto detalhado em 4.3, referente à aplicação metodológica.

As metodologias propostas são aplicáveis ao transporte rodoviário e ferroviário, tanto individualmente quanto de forma compartilhada. Os métodos detalhados buscam realizar um índice relativo, relacionando o nível do impacto à demanda de usuários no modo de transporte específico. Assim, as metodologias podem ser aplicadas para monetizar os impactos em cenários em que difere a composição e a distribuição de usuários entre o transporte rodoviário e ferroviário.

Dessa forma, há aderência da metodologia esquematizada nos fluxogramas com a aplicação prática de avaliação socioeconômica proposta para a Meta 1D, que prevê dois cenários de análise a serem comparados, conforme o requerimento para a elaboração da ACB (BRASIL, 2021b):

- i. **Cenário contrafactual (base):** onde há a ausência do projeto de investimento proposto, marcado, nesse caso, pelo cenário em que tem apenas o transporte rodoviário, e, portanto, toda a demanda de usuários utiliza esse modo.
- ii. **Cenário alternativo:** no qual é implementado o projeto de investimento, nesse caso, com a implementação de transporte ferroviário de passageiros, será percebida a migração de uma parcela de usuários para esse modo de transporte.

Assim, como os métodos propostos respondem às diferenças de demanda entre os modos rodoviário e ferroviário, estes podem ser aplicados a ambos cenários, apresentando, no fim, o benefício líquido para a sociedade encontrado em cada simulação.

4.3 Aplicação metodológica

Após o levantamento das metodologias para avaliação dos impactos, realizado no capítulo 3, são definidas as técnicas que melhor se adequem à realidade brasileira, sendo consideradas, portanto, três possibilidades para a valoração local das externalidades, a saber:

- i. Aplicação nas regiões brasileiras de levantamentos através de técnicas de inferência dos custos de cada externalidade, utilizando, sobretudo, o conceito de **DAP**.
 - Ponto positivo: a estimação da preferência declarada em relação a cada externalidade e para cada região resulta em valores mais próximos da realidade, tornando a aplicação mais robusta.
 - Ponto negativo: destaca-se a dificuldade de estimação por preferência declarada, realizada, tradicionalmente, por pesquisa de opinião, necessitando de um grande investimento de tempo e de recursos.
- ii. **Adaptação de valores internacionais**, devido à ausência de informações nacionais, com base em metodologias como a PPC.
 - Ponto positivo: a utilização de referências já consolidadas na literatura sobre a avaliação de externalidades, com métodos bem desenvolvidos e replicados em diversas localidades.
 - Ponto negativo: os valores adaptados acabam sendo genéricos, podendo não representar tão fielmente as questões locais, geográficas e econômicas, específicas do Brasil.
- iii. Utilização de **coeficientes nacionais**, com destaque para aqueles calculados para servirem de conversores à aplicação da metodologia ACB no transporte.
 - Ponto positivo: os valores foram desenvolvidos para o País, sendo agrupados e divulgados por fonte institucional. Assim, servem de referência para aplicação em diversos projetos de infraestrutura que buscam mensurar o custo-benefício, sobretudo no âmbito federal.
 - Ponto negativo: nem todas as metodologias de cálculo são bem divulgadas, dificultando o entendimento dos componentes e das técnicas de estimação para os coeficientes.

A primeira possibilidade de valoração de externalidades através da aplicação de pesquisas de preferência declarada para extrair a DAP dos indivíduos é o formato desejável para garantir uma maior confiabilidade das informações e da acurácia dos resultados, além de possibilitar uma regionalização da aplicação. Para essa opção, destaca-se que, de modo a garantir a evolução dos estudos do setor, é necessário que sejam realizados esforços e investimentos visando ao levantamento de informações com maior qualidade. No entanto, devido às dificuldades de aplicação prática dessa técnica associadas ao tempo de execução e aos recursos necessários para sua prática, as alternativas dois e três – respectivamente, adaptação de coeficientes internacionais e utilização de coeficientes nacionais – serão adotadas neste estudo e detalhadas para o caso brasileiro, a depender da externalidade considerada.

Buscando sintetizar as variáveis de saída das metodologias propostas para as quatro externalidades elencadas, o Quadro 14 apresenta as métricas, as unidades e as referências ponderadas.

Quadro 14 – Síntese das variáveis de saída para as metodologias propostas

Externalidade	Métrica do resultado da metodologia de monetização	Referência dos coeficientes para monetização
Sinistros	R\$/ocorrência (morte, ferido, ileso)	Os coeficientes de monetização para feridos e ileso derivam do <i>Catálogo de Parâmetros</i> , da EPL (2019b), e o valor para morte advém do <i>Catálogo de Parâmetros</i> , do Ministério da Economia (BRASIL; IPEA, 2022).
Ruído	R\$/PKM	O coeficiente de monetização do ruído deriva do documento da CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019).
Tempo de Viagem	R\$/hora poupada	O coeficiente de monetização do valor do tempo poupado (VTTS) relativo a 1 hora de percurso deriva do Ipea (FERRARI <i>et al</i> , 2019).
Emissão de CO ₂	R\$/((kg/PKM)	O coeficiente de monetização da emissão de CO ₂ origina do custo social do carbono apresentado no Manual de Análise Custo-Benefício, da EPL (2019b).
Emissão de gases poluentes não-CO ₂	R\$ (kg/km)	Utiliza-se o coeficiente de monetização originário do custo social do carbono para a emissão de gases poluentes não-CO ₂ após a conversão de valores para o equivalente emitido em CO ₂ (EPL, 2019b).

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Destaca-se que, conforme a percepção tanto dos formuladores de políticas quanto da população, o transporte ferroviário de passageiros apresentaria diversos benefícios sociais quando comparado ao rodoviário. Dessa maneira, a avaliação das externalidades selecionadas para o transporte ferroviário de passageiros, realizada de forma complementar entre os modos ferroviário e rodoviário, tende a gerar benefícios para a sociedade quando os impactos positivos forem maiores para o modo ferroviário e custos quando o contrário.

4.3.1 Sinistros

Quando se trata da avaliação de sinistros de transporte no Brasil, há uma ausência de dados e de estudos mais robustos, sobretudo referentes ao transporte ferroviário de passageiros. Diferente de outros países onde é realizada uma metrificação mais detalhada dos custos, os estudos nacionais não permitem uma aplicação prática tão definida, uma vez que, em muitos casos, os recursos disponíveis são insuficientes para o emprego devido dos métodos.

Cabe destacar que, nos capítulos anteriores, foi comumente empregada a terminologia “acidentes”, estando em consonância com as referências utilizadas até então. Todavia, devido à revisão da ABNT NBR 10697/2018, no ano de 2021, por parte da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o termo foi redefinido para “sinistros de trânsito”, portanto a seção de aplicação metodológica foi renomeada com essa terminologia. Contudo, mesmo com a mudança, há ocorrências do termo “acidentes” em 4.3.1, justificadas por seu uso em referências anteriores à adequação.

No sentido de aproximar as especificidades nacionais das metodologias de avaliação apontadas pela literatura, são elencadas a seguir referências acerca do impacto e da avaliação de sinistros em transporte ferroviário e rodoviário no País.

4.3.1.1 Referências nacionais

Como principais documentos utilizados, têm-se *Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018* (FERREIRA, 2020) e *Estimativa do Valor da Vida Estatística e do Valor da Economia de Tempo em viagens nas rodovias brasileiras com a utilização de pesquisa de Preferência Declarada* (FERRARI, 2019). Por fim, o documento *Parâmetros de Custo-Benefício para projetos de infraestrutura de transportes* (EPL, 2019b) também contribui para a construção teórica do relatório.

4.3.1.1.1.1 Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2020)

A CNT (2020) disponibilizou um anuário em que constam diversos dados referentes aos modos de transporte. É utilizado o levantamento do número de sinistros de trens no Brasil durante o intervalo de 2009 a 2020, cujos resultados são demonstrados na Tabela 14.

Tabela 14 – Evolução do número de vítimas envolvidas em sinistros com trens de carga (2009-2013)

Concessionária	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Rumo Malha Norte (RMN)	3	7	15	16	20	19	25	13	14	16	15	10
Rumo Malha Oeste (RMO)	26	17	68	75	49	45	51	18	28	36	38	14
Rumo Malha Paulista (RMP)	41	59	136	144	123	108	130	79	74	100	102	92
Rumo Malha Sul (RMS)	93	103	195	183	207	194	288	184	201	217	276	233
Estrada de Ferro Carajás (EFC)	13	22	34	31	28	34	35	29	28	22	20	19

Concessionária	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM)	2	26	37	36	36	36	30	35	30	30	23	11
Ferrovia Centro-Atlântica (FCA)	26	114	199	217	212	233	177	167	184	191	135	137
Estrada de Ferro Paraná Oeste (EFPO)	1	1	1	3	3	1	4	2	2	4	4	2
Ferrovia Norte-Sul Tramo Norte (FNSTN)	1	0	5	3	3	8	2	4	3	9	4	7
Ferrovia Tereza Cristina (FTC)	2	1	3	1	3	3	2	6	9	9	15	9
MRS Logística (MRS)	76	85	132	143	115	112	122	95	107	107	101	104
Ferrovia Transnordestina Logística (FTL)	25	68	203	107	71	40	57	59	55	54	40	56

Fonte: CNT (2020). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Por mais que, no Brasil, a malha ferroviária seja majoritariamente voltada ao transporte de cargas, há algumas linhas que transportam passageiros. São cerca de 1.500 quilômetros de extensão para viagens de longa distância de passageiros, efetuadas pelas ferrovias EFVM e EFC, ambas operadas pela concessionária Vale.

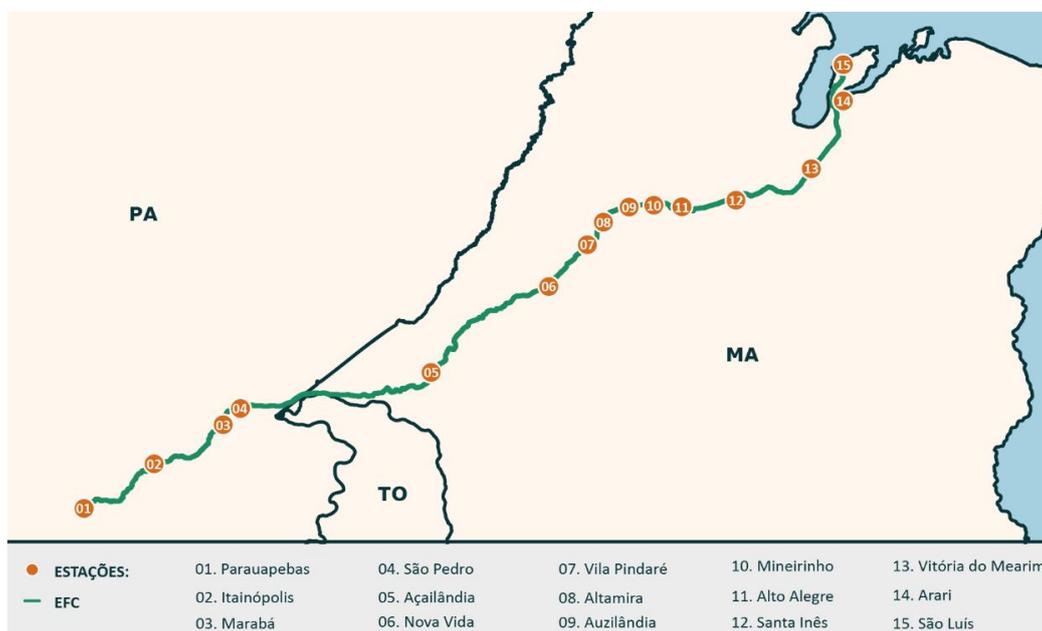
A Ferrovia Vitória-Minas, apresentada na Figura 16, liga o município de Cariacica (ES) a Belo Horizonte (BH), possuindo 664 km de extensão, sendo contabilizados mais de 1 milhão de passageiros que passam pela rota por ano, de acordo com dados de 2017 (BRASIL, 2018a). Já a Estrada de Ferro de Carajás, conforme a Figura 17, liga São Luís (MA) e Parauapebas (PA), com 861 quilômetros de extensão e transportando cerca de 350 mil passageiros por ano.

Figura 16– Mapa ilustrativo da rota de passageiro da EFVM



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Figura 17 – Mapa ilustrativo da rota de passageiro da EFC



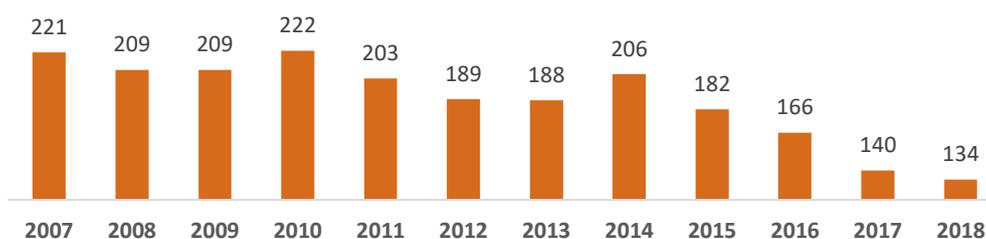
Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

A Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER, 2020) classificou a EFC como a ferrovia mais segura do Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Em 2017, o indicador de segurança da ferrovia foi de 2,67; em 2018, o resultado foi de 1,81; e, em 2019, chegou a 1,73. Foram considerados os índices anuais de sinistros de todas as ferrovias no País.

4.3.1.1.1.2 Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) (FERREIRA, 2020)

A Nota Técnica nº 75: *Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018* (FERREIRA, 2020) disponibiliza dados referentes ao número de óbitos decorrentes de sinistros nas ferrovias, tanto de carga quanto de passageiros, com base nas informações do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) (BRASIL, [2022]), conforme destacado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Número de óbitos decorrentes de sinistros em ferrovias de transporte de carga e de passageiros no Brasil (2007-2018)



Fonte: Ferreira (2020). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Considerando os índices de sinistros e de óbitos no País, foi utilizado como suporte para a supracitada Nota Técnica um estudo desenvolvido por Andriola, Bonatto e Dutra (2019) sobre o custo-benefício em transportes, levando em conta o VEV para o Brasil.

Os autores consideraram uma alternativa para a transferência de VEV para países emergentes por meio da realização de *benchmarking* de valores de VEV contra PIB *per capita*, como recomendado pelo Banco Mundial. O resultado foi uma razão de 70:1 entre VEV e PIB *per capita*, com determinadas margens de erro. O modelo empregado é o de McMahon e Dahdah (2008), conforme a Equação (29).

$$VEV = 70 * PIBcap \quad (29)$$

- VEV = VEV do país em estudo (USD)
- PIBcap: PIB *per capita* do país em estudo (USD).

É necessária a conversão de valores atuais de PIB *per capita* por meio da utilização da PPC e da deflação do poder de compra para o mesmo ano, que serão utilizados posteriormente para se obter o VEV em reais para o ano corrente. O valor obtido por Andriola, Bonatto e Dutra (2019), que foi utilizado para o estudo do Ipea, estima um VEV em torno de R\$ 2,26 milhões, em dezembro de 2018. Em

dezembro de 2019, este foi atualizado pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), e o resultado foi de R\$ 2,357 milhões. Ademais, para que seja possível ter uma maior percepção acerca dos valores despendidos com os sinistros, os dados a seguir evidenciam os principais destinos monetários existentes, baseados ainda na pesquisa do Ipea. A Tabela 15 apresenta um resumo dos custos com sinistros do setor de transporte ferroviário, enquanto que a Tabela 16 dispõe dos custos do rodoviário.

Tabela 15 – Resumo dos custos com sinistros de transportes ferroviários (2007-2018)

Custos dos sinistros associados às pessoas	Milhões de reais
Atendimento pré-hospitalar	-
Atendimento hospitalar	15,66
Pós-hospitalares	-
Custo da vida	5.348,83
Remoção/translado	-
Gastos previdenciários	-
Subtotal	5.364,49
Custos associados aos meios de transporte	Milhões de reais
Danos materiais aos meios de transporte	-
Perda de carga	86,46
Remoção/pátio	-
Reposição	-
Subtotal	86,46
TOTAL	5.450,95

Fonte: Ferreira (2020). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Tabela 16 – Resumo dos custos com sinistros de transportes rodoviários (2007-2018)

Custos dos sinistros associados às pessoas	Milhões de reais
Atendimento pré-hospitalar	-
Atendimento hospitalar	3.063,39
Pós-hospitalares	-
Custo da vida	1.091.783,00
Remoção/translado	-
Gastos previdenciários	-
Subtotal	1.094.846,39

Custos associados aos meios de transporte	Milhões de reais
Danos materiais aos meios de transporte	269.522,97
Perda de carga	21.104,37
Remoção/pátio	6.718,14
Custos associados aos meios de transporte	Milhões de reais
Reposição	175.682,74
Subtotal	473.028,22
TOTAL	1.567.874,61

Fonte: Ferreira (2020). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.1.1.1.3 Ipea (FERRARI, 2019)

Em um outro estudo do Ipea, buscou-se estimar o VEV no caso das rodovias brasileiras e, por meio da utilização da metodologia de escolha discreta, foi possível valorar a diminuição do risco de morte ao se maximizar a função utilidade e determinar a DAP. O VEV não deve ser interpretado como a DAP do indivíduo para salvar uma determinada vida, uma vez que o VEV estabelece o valor monetário da redução do risco de morte. Enquanto que a DAP para redução do risco de morte se obtém pela taxa marginal de substituição entre o custo e o número de mortes, o VEV considera a população como um todo e a sua redução no número de mortes. A Equação (30) retrata o cálculo utilizado para se obterem os valores adquiridos.

$$VEV = \frac{DAP \cdot população}{redução de mortes} \quad (30)$$

Onde:

- *VEV* = Valor Estatístico da Vida
- *DAP* = obtida pela taxa marginal de substituição entre o custo e o número de mortes, que se refere à razão dos coeficientes do modelo de escolha discreta estimado
- *população* = densidade anual de automóveis em um quilômetro qualquer das rodovias brasileiras
- *redução de mortes* = probabilidade ou redução do número de mortes no mesmo ano.

Estimou-se que o VEV com o uso da DAP ficou no intervalo de R\$ 2.362.458 a R\$ 3.125.360,41, a preços de 2017. Os valores encontrados proporcionam subsídio para as ACBs

dos projetos acerca de investimentos nas rodovias. Além disso, ao se considerar uma distância de 200 km, o modelo geral concluiu que a propensão a pagar para a redução do risco de uma morte é de R\$ 2,29, ressaltando que os valores de DAP são variáveis aleatórias.

O VEV foi calculado utilizando a DAP de um padrão específico de indivíduos, ou seja, os viajantes frequentes e os que apresentaram mais certeza nas respostas. Já a densidade de automóveis nas rodovias foi obtida por dois métodos, o primeiro (A) utilizou dados de uma pesquisa de 2017 do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), fornecida pelo DNIT, de volume de tráfego nas rodovias para se obter um número médio de automóveis por ano em um determinado trecho. O segundo método (B) utilizou dados da Matriz Origem/Destino (O/D) dos passageiros angariados no TED Ipea-EPL nº 2/2013, por meio da soma dos produtos de cada par O/D pelo respectivo número de passageiros. Logo, dividiu-se esse valor pelo número médio de passageiros por automóvel, e, por fim, o momento de transporte dividido pela extensão da malha rodoviária resultou na densidade dos automóveis.

A Tabela 17 apresenta as variáveis utilizadas pelo Ipea para calcular o VEV. A densidade obtida foi multiplicada pela DAP para que fosse possível fornecer o VEV. Para realizar o cálculo do VEV, foi usada a DAP de viajantes frequentes e a DAP dos respondentes que evidenciavam mais certeza nas respostas.

Tabela 17 – Cálculo do VEV

Cálculo do VEV	Método A	Método B
Extensão considerada (km)	72.370	105.814
Densidade (automóveis.km/ano)	1.307.682	988.476
DAP frequência (R\$)	2,29	2,29
VEV frequência (R\$/vida)	2.994.592,19	2.263.610,39
DAP certeza (R\$)	2,39	2,39
VEV certeza (R\$/vida)	3.125.360,41	2.362.458,00

Fonte: Ferrari (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.1.1.1.4 EPL (2019b)

O catálogo disponibilizado pela EPL sobre os *Parâmetros de Custo-Benefício para Projetos de Infraestrutura de Transportes* (EPL, 2019b) apresenta coeficientes para monetização de alguns fatores, em apoio a aplicação da metodologia de ACB, incluindo parâmetros referentes à valoração da segurança operacional e à perda de vidas.

A Tabela 18 e a Tabela 19 evidenciam, respectivamente, para o modo ferroviário e rodoviário, o valor para a ocorrência de mortos, de feridos, de ilesos e de danos no veículo, sendo que apenas o último se diferencia entre os modos.

De acordo com o *Manual de Custo-Benefício para Projetos de Infraestrutura de Transporte* (2019), também elaborado pela EPL, para se precificar a segurança operacional, foram considerados os danos aos bens materiais, os gastos com ferimentos nos casos que envolveram vítimas e eventuais perdas produtivas decorrentes de tais ferimentos, caso ocorressem. Já no que se refere à precificação das perdas associadas aos sinistros, partiu-se da renda que seria gerada pelas vítimas fatais dos sinistros, por meio da consideração de valores médios regionais, caso o sinistro não ocorresse.

Tabela 18 – Valoração social dos sinistros ferroviários

Parâmetro	Valor	Unidade	Descrição
Mortos	2.743.909,21	R\$/mortos	Valor da vida para acidentes ferroviários
Feridos	123.268	R\$/ferido	Valor de feridos para acidentes ferroviários
Ilesos	30.013	R\$/Ilesos	Valor de ilesos para acidentes ferroviários
Veículos danificados	150.000,00	R\$/veic.	Valor de veículos danificados em acidentes ferroviários

Fonte: EPL (2019b). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Tabela 19 – Valoração social dos sinistros rodoviários

Parâmetro	Valor	Unidade	Descrição
Mortos	2.743.909,21	R\$/mortos	Valor da vida para acidentes rodoviários
Feridos	123.268	R\$/ferido	Valor de feridos para acidentes rodoviários
Ilesos	30.013	R\$/Ilesos	Valor de ilesos para acidentes rodoviários
Veículos danificados	51.764	R\$/veic.	Valor de veículos danificados em acidentes rodoviários

Fonte: EPL (2019b). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.1.1.1.5 Brasil e Ipea (2022)

O *Catálogo de Parâmetro* publicado pelo Ministério da Economia e realizado em conjunto com o Ipea (BRASIL; IPEA, 2022) tem o objetivo de possibilitar o uso da metodologia de ACB no País, padronizando diversas premissas socioeconômicas necessárias à aplicação prática do método.

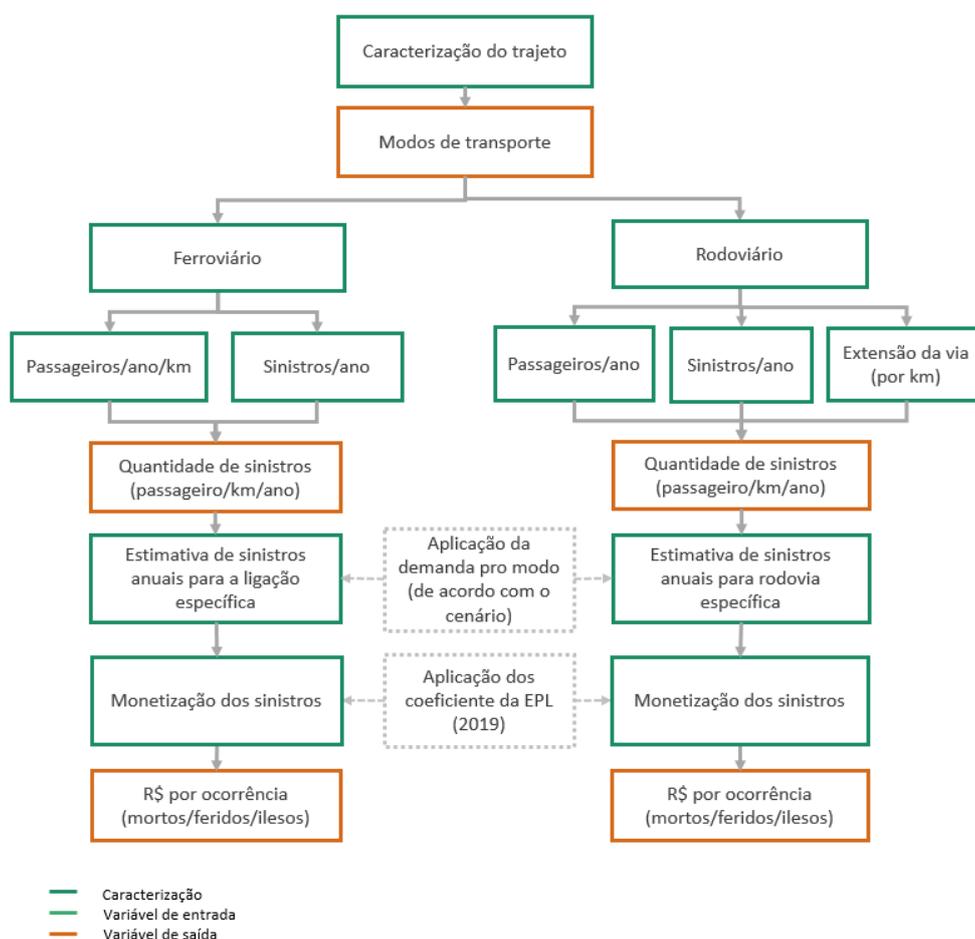
Dentre essas premissas, o catálogo apresenta uma referência atualizada para o VEV, medida que valora, em termos monetários, a diminuição do risco de morte, obtendo uma estimativa de R\$ 5,68 milhões a preços de janeiro de 2022.

4.3.1.2 Aplicação ao Brasil

Buscando estruturar uma proposta de aplicação metodológica que consiga, ao mesmo tempo, comparar a ocorrência de sinistros entre os modos ferroviário e rodoviário e monetizar os resultados para mensurar o benefício ou o custo para a sociedade atrelado ao investimento no transporte ferroviário, é proposta a abordagem apresentada na Figura 18.

Essa aplicação permite mensurar, de forma relativa (por passageiro/km), a ocorrência de alguns tipos de sinistros (envolvendo mortos, feridos e ileso), tanto para o modo ferroviário quanto rodoviário, a fim de estimar qual o custo em valores monetários atrelados a cada um desses modos de transporte dada uma determinada demanda de passageiros/km.

Figura 18 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de sinistros



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

A respeito dos dados necessários para construção do índice relativo de quantidade de sinistros (em passageiro/km/ano) para ambos modos, as fontes podem ser escolhidas de acordo com a melhor informação disponível.

No caso do transporte ferroviário, buscou-se, inicialmente, avaliar os dados nacionais, preferencialmente das duas linhas que operam passageiros no País: EFC e EFVM. A princípio, considerou-se a utilização desses dados como parâmetro, sobretudo, para as propostas de empreendimentos *brownfield*¹¹. Porém os dados nacionais de sinistros ferroviários disponíveis, conforme o *Anuário CNT do Transporte* (CNT, 2020), são classificados como “acidentes graves” e “acidentes não graves”, impossibilitando a utilização dos coeficientes elencados para monetização (EPL, 2019b), que consideram os sinistros como: mortos, feridos e ileso.

Por isso, como paradigma internacional consolidado, tanto para empreendimentos *brownfields* quanto para *greenfields*¹², propõe-se a utilização dos dados disponibilizadas pelo DoT, nos Estados Unidos, que apresenta dados completos da ocorrência de sinistros nas operações da National Railroad Passenger Corporation (Amtrak), empresa estatal de transporte ferroviário, que opera o transporte de passageiros interurbano ao longo de todo o país. Destaca-se que a operação da Amtrak serve como um paradigma para as operações no Brasil, porém, para possibilitar análises mais precisas e desenvolvimento do setor ferroviário de passageiros no País, entende-se que é necessário um esforço no levantamento de informações nacionais do setor.

Para realização do cálculo relativo ao modo rodoviário, foram analisadas bases de dados nacionais que evidenciam as ocorrências de sinistros. Entre estas, analisaram-se os dados do DATASUS¹³, plataforma disseminada para levantamento de mortalidade de acordo com categorias de ocorrência. Entretanto, após levantamento em outras bases, focadas na sistematização de dados sobre sinistros no modo rodoviário, optou-se por utilizá-las, conforme entendimento de que apresentavam categorias mais aderentes à aplicação da análise socioeconômica, como o número de mortos e de feridos em determinada via.

Assim, para rodovias federais, as informações podem ser encontradas através de dados publicados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), e, para rodovias estaduais e municipais, pontua-se que os dados são disponibilizados através do Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (BRASIL, 2022). Esses dados combinados aos volumes de tráfegos provenientes do Plano Nacional de

¹¹ Empreendimentos ditos *brownfield* são relativos a ferrovias existentes pelo menos com a faixa de domínio, mas que necessitam de alguma intervenção para o transporte ferroviário de passageiros.

¹² Empreendimentos interligando dois pontos de interesse à logística de transporte de pessoas, sem que entre eles haja uma conexão ferroviária.

¹³ <https://opendatasus.saude.gov.br/>.

Contagem de Tráfego (PNTC), do DNIT, fornecem os valores necessários à elaboração do índice relativo de sinistros rodoviários no País. Dessa forma, diferentemente do caso das ferrovias que utilizam um parâmetro-padrão em todas as comparações, no caso das rodovias, é possível identificar os dados por Unidade Federativa (UF) e, dessa forma, elaborar um índice regionalizado de sinistros por PKM.

Por fim, como coeficientes de monetização dos sinistros levantados, sugere-se a aplicação dos valores organizados pela EPL (2019b), conforme a Tabela 19 e a Tabela 20, para os casos de feridos e de ilesos. Já para valoração dos mortos, sugere-se o VEV de R\$ 5,68 milhões, considerado pelo Ministério da Economia (BRASIL; IPEA, 2022).

4.3.2 Ruídos

Apesar de o ruído ferroviário depender, em grande parte, do material rodante, sendo, dessa forma, similar ao redor do mundo, seu impacto pode divergir a depender da realidade local, conforme variáveis que determinem seu agravamento ou sua redução, por exemplo, a densidade populacional ou a proximidade de locais sensíveis, como conjuntos residências e centros de saúde.

Assim, como foco na aferição do impacto do ruído no caso de ferrovias de passageiros no Brasil, propõe-se a aplicação de uma metodologia que consiga, ao mesmo tempo, caracterizar a realidade local, seja socioeconômica ou ambiental, e monetizar o seu impacto. Nesse sentido, as próximas seções apresentam referências nacionais que tratam do ruído, sobretudo o caso ferroviário, visando à melhor aplicação metodológica para sua mensuração.

4.3.2.1 Referências nacionais

Ao analisar o ruído no Brasil, independentemente da sua fonte de propagação, destacam-se a Norma Brasileira (NBR) 10151 da ABNT (2000) e a NBR 10152 (ABNT, 1987), que padronizam os métodos de medição e de avaliação do ruído no País. Seguindo as diretrizes dessas normas, Ferraz *et al.* (2019) avaliaram o ruído ferroviário e seus impactos em Maringá (PR). Já Miguel e Souza (2019) analisaram os custos de ruídos para o Brasil, através da adaptação dos custos encontrados para a UE, utilizando a metodologia comparativa de PPC.

4.3.2.1.1.1 ABNT (2000)

A *NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento* expõe as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades no território brasileiro, logo o documento propõe um método para a

medição do nível de ruído, oferecendo uma avaliação da aceitabilidade da externalidade, em que valores em dB mais elevados são considerados nocivos, como exposto na Tabela 20.

Tabela 20 – Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e de fazendas	40	35
Área de estreitamento residencial urbana, de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT (2000). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.2.1.1.2 ABNT (1987)

A *NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico* traz os níveis compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, ou seja, o ruído aceitável nos diferentes espaços. Esses valores estão presentes na Tabela 21, em que os níveis inferiores representam o nível sonoro para conforto, enquanto que os valores superiores significam o nível sonoro aceitável para a finalidade e, acima deste, tem-se o desconforto dos indivíduos. Os valores são medidos em decibéis (A) e com base na curva de avaliação de ruído (NC), método que avalia o ruído em determinado ambiente.

Tabela 21 – Níveis de ruídos aceitáveis para o conforto acústico

Locais	dB(A)	NC	
Hospitais	Apartamentos, enfermarias, berçários, centros cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
	Laboratórios, áreas para uso do público	40 – 50	35 – 45
	Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas	Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35 – 45	30 – 40
	Salas de aula, laboratórios	40 – 50	35 – 45
	Serviços	45 – 55	40 – 50
Hotéis	Apartamentos	35 – 45	30 – 40
	Restaurantes, salas de estar	40 – 50	35 – 45
	Circulação	45 – 55	40 – 50
Residências	Dormitórios	35 – 45	30 – 40
	Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios	Salas de concerto, teatros	30 – 40	25 – 30
	Salas de conferências, cinemas, salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes	-	40 – 50	30 – 45

Locais		dB(A)	NC
Escritórios	Salas de reunião	30 – 40	25 – 35
	Salas de gerência, salas de projetos e de administração	35 – 45	30 – 40
	Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
	Salas de mecanografia	50 – 60	45 – 55
Igrejas e templos (cultos meditativos)	-	40 – 50	35 – 45
Locais para esportes	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 – 55

Fonte: ABNT (1987). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.2.1.1.3 Ferraz *et al.* (2019)

Ferraz *et al.* (2019) estudam o ruído ferroviário na cidade de Maringá, no Paraná, apresentando as características da externalidade, assim como a percepção da população local sobre o impacto. Desse modo, segue-se o método proposto pela ABNT (2000) para medição do ruído local, cujos resultados estão presentes na Tabela 22.

Tabela 22 – Níveis de ruído (Lden) identificados

Distância	Ruído de fundo (dBA) ¹⁴	Ruído com passagem do trem (dBA)
20 metros	64,3	69,7
40 metros	60,8	69,1

Fonte: Ferraz *et al.* (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Também foi realizado um questionário com a população local sob sua percepção do ruído emitido pelo trem, cujos resultados estão expostos na Tabela 23.

Tabela 23 – Distribuição dos entrevistados de acordo com o pior incômodo

Qual o pior incômodo?	Quantidade	%
Ruído (apito)	6	40
Vibração	3	20
Poeira	4	26,67
Todas as anteriores	1	6,67
Nada	1	6,67
Total	15	100

Fonte: Ferraz *et al.* (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Percebe-se, por fim, que os níveis de ruído se apresentam superiores àqueles aceitáveis de acordo com a NBR 10151, o que se nota pela avaliação qualitativa da população, na qual o ruído é a externalidade que causa mais incômodo aos indivíduos (40%).

¹⁴ Ruído de fundo corresponde ao ruído preexistente no ambiente sem considerar a passagem do trem.

4.3.2.1.1.4 Miguel e Souza (2019)

Os autores Miguel e Souza (2019) exibem um EVTEA para a aplicação prática da Malha Ferroviária Paulista. Logo, os benefícios ambientais considerados são: a poluição do ar, as perdas de biodiversidade, a mudança climática, o ruído, os processos relacionados à energia, os custos à natureza e a poluição do solo e da água.

O cálculo dos benefícios ambientais, urbanos e da redução do número de sinistros foi, portanto, efetuado a partir de dados da UE, cuja metodologia adotada se faz presente no capítulo 3. Para a transposição desses valores para o Brasil, optou-se por aplicar um fator de correção, qual seja: o PIB *per capita* em PPC, de acordo com a Equação (31) e a Equação (32).

$$PIB_{pc|PPC} = \frac{PIB_{pc|EU}}{PIB_{pc|BR}} \quad (31)$$

$$VPL_{PPC} = \frac{VPL}{PIB_{PPC}} \quad (32)$$

Onde:

- $PIB_{pc|PPC}$ = PIB ponderado em PPC.
- $PIB_{pc|EU}$ = PIB *per capita* da UE.
- $PIB_{pc|BR}$ = PIB *per capita* do Brasil.
- VPL = valor presente líquido.
- VPL_{PPC} = VPL ponderado em poder de compra.

Os valores adotados pelo estudo, obtidos do Banco Mundial, foram de \$ 32.948,13 para a UE e de \$ 13.262,80 para o Brasil. Os resultados corrigidos estão presentes na Tabela 24.

Tabela 24 – Total dos benefícios diretos oriundos dos investimentos na Malha Paulista

Benefício	Total a VPL (R\$)	Total a VPL ponderado pelo PIB <i>per capita</i> PPC (R\$)
Redução do custo do frete	3.878.545.994,79	3.878.545.994,79
Redução do número de acidentes	2.506.170.021,44	1.008.823.003,33
Benefícios ambientais	1.428.516.912,22	575.029.111,90
Benefícios urbanos	1.994.636.583,48	802.912.512,51
Total	9.807.869.511,93	6.265.310.622,53

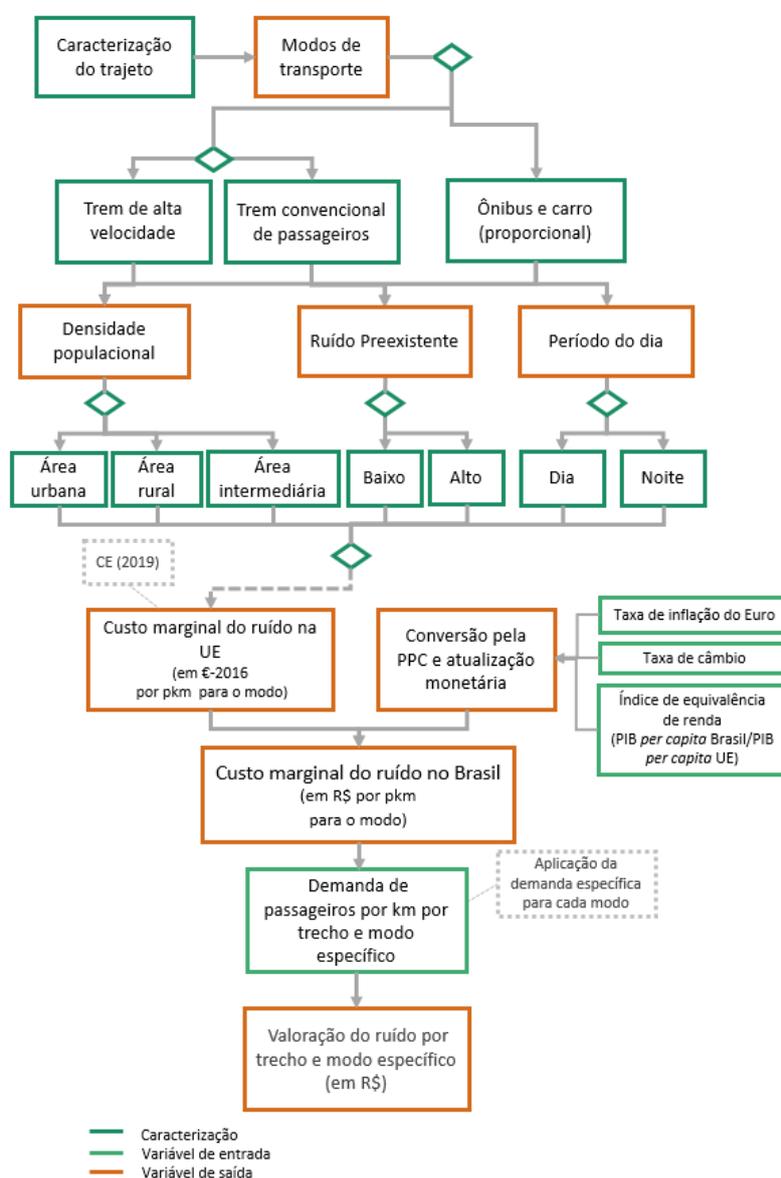
Fonte: Miguel e Souza (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.2.2 Aplicação ao Brasil

Nesta seção é proposta uma aplicação metodológica ao contexto brasileiro para avaliação e monetização do ruído, a qual adapta ao cenário nacional os custos marginais de ruídos obtidos para a União Europeia (SCHROTEN; BRUYN, 2019) com base no método utilizado por Miguel e Souza (2019), para transformação dos custos por meio da PPC.

A Figura 19 apresenta, em formato de fluxo, a metodologia para comparação e mensuração dos custos aplicáveis aos ruídos emitidos tanto por veículos rodoviários quanto por ferroviários, de modo a tornar possível a monetização do benefício ou do custo envolvido a essa externalidade em determinado projeto de transporte.

Figura 19 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de ruídos



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Por conseguinte, para aplicação do método proposto, faz-se necessário o levantamento das seguintes informações:

- Área analisada (urbana, intermediária, rural)
- Ruído preexistente (nível de tráfego)
- Período do dia
- Custo do ruído da União Europeia (SCHROTEN; BRUYN, 2019)
- Taxa de câmbio (EUR/BRL) no período considerado
- PIB *per capita* do Brasil e da União Europeia no período considerado
- Inflação da União Europeia para o período considerado
- Composição de frota de veículos rodoviários no município.

Inicialmente, é realizada a caracterização do trajeto, analisando o tipo de veículo a ser adotado para o modo ferroviário e rodoviário; sendo necessário, para o segundo, realizar a média ponderada de acordo com a proporção de categoria veicular presente na frota rodante no município.

Em seguida, deve-se classificar os municípios de estudo conforme três características:

- Densidade populacional: se urbano, suburbano ou rural, com base no IBGE (2017)¹⁵.
- Ruído preexistente: se nível de ruído preexistente baixo ou alto, a partir do nível de tráfego local.
- Período do dia: se o deslocamento será feito no período diurno ou noturno.

Ao classificar os trajetos em ambos os modos – rodoviário e ferroviário –, remete-se aos valores do custo marginal do ruído por passageiro/km apresentados pela CE (SCHROTEN; BRUYN, 2019), conforme Tabela 25.

¹⁵ A metodologia considera áreas urbanas aqueles municípios com população superior a 10.000 habitantes (se a distribuição for maior que 75% da população em áreas de ocupação densa) e municípios com mais de 25.000 habitantes (com distribuição de 50% a 75%). Áreas intermediárias como os municípios com população de 3.000 a 10.000 habitantes (com distribuição maior que 75%), municípios de 10.000 a 25.000 habitantes (com 50% a 75% de distribuição populacional), e aqueles com 25.000 a 50.000 habitantes (com distribuição de 25% a 50%). Áreas rurais como todos aqueles com distribuição populacional menor que 25%, municípios com população menor que 25.000 habitantes (com distribuição de 25% a 50%) e aqueles com população de até 10.000 habitantes (com distribuição populacional de 50% a 75%).

Tabela 25 – Custos marginais do ruído do transporte ferroviário – em €-centavo (2016) por passageiro-km (dados de 2016)

Modo de Transporte	Hora do dia	Nível de ruído preexistente	Urbano	Suburbano	Rural
Carro de passageiros	Dia	Alto	0,5	0,03	0,004
		Baixo	1,1	0,07	0,009
	Noite	Alto	0,9	0,05	0,007
		Baixo	2,1	0,13	0,015
Ônibus	Dia	Alto	0,5	0,03	0,004
		Baixo	1,3	0,08	0,010
	Noite	Alto	1,0	0,05	0,008
		Baixo	2,4	0,15	0,018
Trem de alta velocidade	Dia	Denso	0,13	0,07	0,01
		Alto	0,21	0,12	0,02
	Noite	Alto	0,23	0,13	0,02
		Baixo	0,38	0,21	0,03
Trem convencional de passageiros	Dia	Alto	0,45	0,20	0,03
		Baixo	0,74	0,33	0,05
	Noite	Alto	0,82	0,36	0,05
		Baixo	1,35	0,59	0,09

Fonte: Schrotten e Bruyn (2019, p.100, tradução nossa). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

O método persiste, portanto, em transformar os valores de referência para a União Europeia através do índice de PIB *per capita* EU/BR e monetizá-lo de acordo com a população exposta ao ruído ferroviário. O cálculo da externalidade é demonstrado na Equação (33).

$$R_{br} = (CR_{eu} \times tx_{inflação}) \times tx_{câmbio} \times tx_{renda} \quad (33)$$

Onde:

- CR_{br} = custo do ruído para o Brasil.
- CR_{eu} = custo do ruído para a União Europeia (SCHROTEN; BRUYN, 2019).
- $tx_{inflação}$ = taxa de inflação do euro.
- $tx_{câmbio}$ = taxa de câmbio (EUR/BRL).
- tx_{renda} = índice de equivalência de renda, dado pela razão entre o PIB *per capita* brasileiro e o da União Europeia, conforme Miguel e Souza (2019).

Dessa forma, a aplicação de tal transformação permite internalizar os custos de ruídos ferroviários monetizados de maneira robusta, com base na literatura internacional.

Essa metodologia permitirá, então, analisar comparativamente os dois modos a partir de uma avaliação qualitativa sob o impacto do ruído na população e de uma valoração dos custos impostos pela externalidade, permitindo a hierarquização, a depender de suas variáveis externas (densidade populacional, período do dia etc.) e internas (ruído emitido pelo veículo).

4.3.3 Tempo de viagem

O tempo de viagem é uma externalidade essencial no desempenho de um determinado modo de transporte, seja de carga ou de passageiros, impactando diretamente na decisão e satisfação dos usuários. No transporte pendular ou em viagens de longas distâncias, atrasos e demoras excessivas resultam em impactos negativos, como a perda da produtividade dos usuários do transporte.

A adaptação do tempo de viagem para o cenário brasileiro tem importância à medida que aspectos geográficos, de infraestrutura, velocidade constante e congestionamentos possuem efeitos no tempo de percurso de possíveis rotas rodoviárias e de linhas ferroviárias.

Assim, partindo do pressuposto de que o tempo é um recurso escasso, o tempo de viagem é uma variável que depende de fatores relacionados às condições das vias e dos serviços operacionais prestados. Por isso, as tentativas de metrificar o tempo despendido no deslocamento são importantes, uma vez que estão diretamente atrelados às operações logísticas e aos seus respectivos custos.

4.3.3.1 Referências nacionais

O documento utilizado foi desenvolvido pelo Ipea e intitula-se *Estimativa do Valor da Vida Estatística e do Valor da Economia de Tempo em viagens nas rodovias brasileiras com a utilização de pesquisa de Preferência Declarada* (FERRARI *et al.*, 2019). A publicação apresenta uma metodologia similar às analisadas em documentos estrangeiros e desenvolve um estudo aplicado para o modo rodoviário brasileiro.

4.3.3.1.1.1 Ipea (FERRARI *et al.*, 2019)

O Ipea realizou um estudo que objetiva estimar o VTTS para o caso de viagens intermunicipais em rodovias brasileiras, por meio da aplicação de duas metodologias, que partiram de um experimento de preferência declarada. A primeira empregou o modelo *mixed*

logit de escolhas discretas para estimar a DAP, e a segunda considerou características socioeconômicas. Em ambas, a DAP estimada seria o próprio VTTS.

Baseando-se em uma distância de 200 km, o modelo *mixed logit* concluiu que a DAP dos passageiros seria de R\$ 27,60 para a redução de uma hora de viagem. No entanto, deve-se ressaltar que há uma variação considerável nesse valor, a depender do comportamento e do grau de certeza das respostas dos indivíduos envolvidos na pesquisa.

De acordo com o segundo modelo, que parte de análises de variáveis socioeconômicas, foi estimado o valor do tempo proporcionalmente ao valor do tempo laboral. A Tabela 26 apresenta a propensão a pagar classificada por quatro características socioeconômicas, que possuem influência na disposição a pagar pela redução de tempo de viagem: gênero, faixa etária, faixa de renda e forma de viagem. Os valores foram calculados com relação ao salário-mínimo (SM) de 2017, de R\$ 937,00, e a categoria de faixa de renda está separada em faixas de até 2 SM, de 2 a 3 SM, 3 a 5 SM, 5 a 10 SM, 10 a 20 SM e mais de 20 SM, respectivamente.

Tabela 26 – Propensão a pagar classificada por características socioeconômicas (2017)

Gênero	DAP de economia de tempo (R\$/hora)
Homem	27,84
Mulher	26,13
Faixa etária	DAP de economia de tempo (R\$/hora)
Até 24 anos	26,35
De 25 a 34 anos	27,87
De 35 a 44 anos	27,23
De 45 a 54 anos	29,07
De 55 a 64 anos	22,69
Mais de 65 anos	31,57
Faixa de renda	DAP de economia de tempo (R\$/hora)
Até R\$ 1.874	14,32
Mais de R\$ 1.874 a R\$ 2.811	22,74
Mais de R\$ 2.811 a R\$ 4.685	23,77
Mais de R\$ 4.685 a R\$ 9.370	25,8
Mais de R\$ 9.370 a R\$ 18.740	27,66
Mais de R\$ 18.740	35,12
Forma de viagem	DAP de economia de tempo (R\$/hora)
Sozinho	26,28
Acompanhado	27,98

Fonte: Ferrari *et al.* (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.3.2 Aplicação ao Brasil

As metodologias para estimar o valor do tempo para passageiros nos modos rodoviário e ferroviário aplicados a projetos de transportes no Brasil ainda são escassas e apoiam-se, frequentemente, em métodos evidenciados em documentos estrangeiros. Dito isso, atualmente, utilizam-se os parâmetros propostos pela EPL (2019b) para análises de custo-benefício.

No entanto, o valor do tempo para passageiros calculado pela EPL é dado por dia, e não por hora, o que generaliza e dificulta sua aplicação. Além disso, este é calculado sem haver uma diferenciação por modo de transporte, porém, considerando em sua análise questões sobre o tempo de viagem, segurança e qualidade dos serviços. A Tabela 27 apresenta esse valor por passageiros, por dia, aplicável a todos os modos e sem distinção de motivo de viagem. As variáveis consideradas para o cálculo de valor do tempo passageiros/dia realizado pela EPL (2019b) não foram especificadas no documento, sendo referenciadas como parte de um relatório técnico não encontrado, intitulado *Avaliação da pré-disposição das pessoas do transporte rodoviário e aeroviário em pagar pelos deslocamentos considerando o tempo de viagem, a segurança e a qualidade dos serviços*, componente do projeto *Matrizes Origem-Destino de transporte inter-regional de cargas e passageiros, Brasil 2015 a 2050*.

Tabela 27 – Valor do tempo para passageiros (dia), segundo a EPL

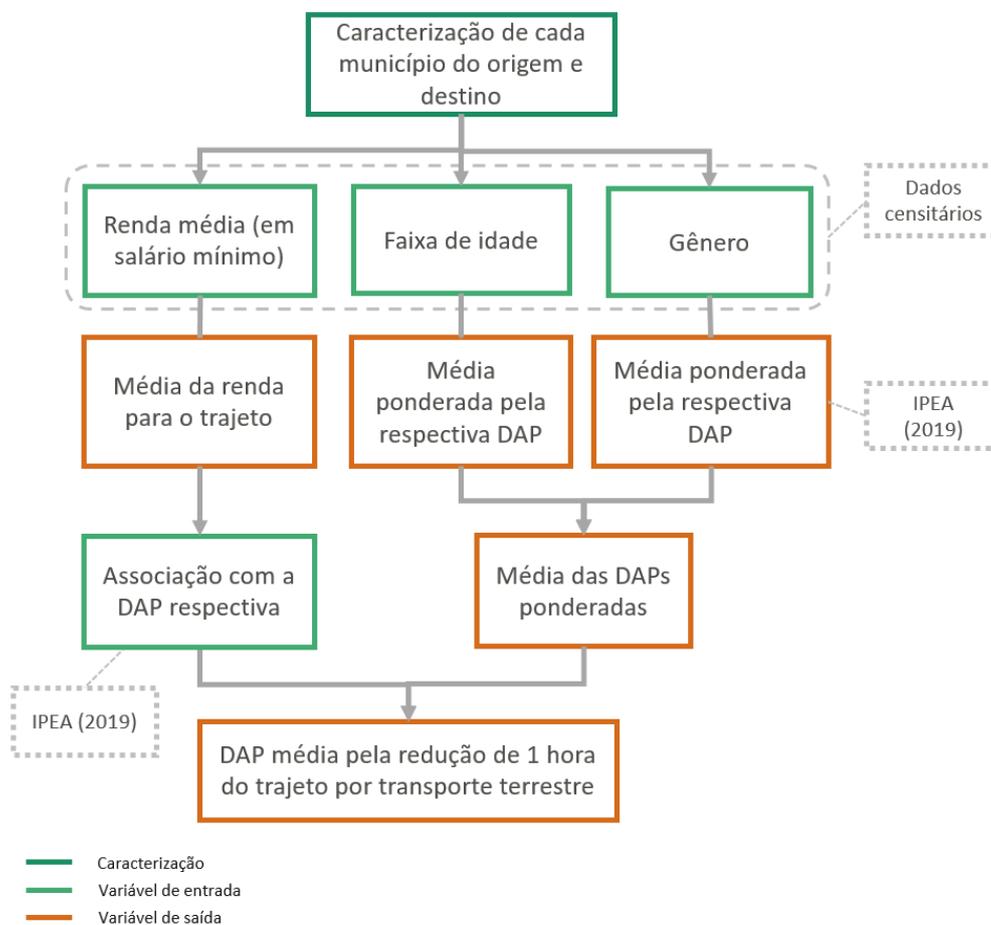
Parâmetro	Valor R\$	Unidade	Descrição
Passageiros	652,32	R\$/dia	Valor do tempo por dia para passageiros. Utilizado no cálculo de valor do tempo.

Fonte: EPL (2019b). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

De forma a buscar uma metodologia mais específica, foram pesquisados estudos nacionais. A publicação considerada para essa pesquisa refere-se ao documento do Ipea, de 2019 (FERRARI *et al.*, 2019), visto que esta é recente e propõe um método mais robusto para estimar o valor do tempo baseado na DAP do indivíduo em conformidade com variados aspectos socioeconômicos, e foi utilizada nas análises do *Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura 2021-2050* (BRASIL, 2021a). O estudo aponta o VTTS para o modo rodoviário, no entanto, entende-se que a DAP para a redução de uma hora de viagem é equivalente entre os modos de transporte terrestres (DOT, 2014). Portanto, a DAP associada ao transporte rodoviário pode ser utilizada nas análises do transporte ferroviário, ao menos enquanto novas pesquisas especificamente aplicadas a este último não sejam realizadas.

Assim, buscando monetizar o impacto do tempo de viagem dado por um investimento em transporte ferroviário, a Figura 20 apresenta o fluxo para compreensão da metodologia desenvolvida, que estima a DAP para redução de 1 hora de viagem, a partir das informações sobre a propensão a pagar do brasileiro para a redução de tempo de trajetos para o transporte terrestre.

Figura 20 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de tempo de viagem



Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

O método apresentado é dividido em duas etapas:

- i. Cálculo da DAP pela redução de 1 hora de viagem com base em critérios socioeconômicos característicos dos municípios de origem e destino. Esta etapa seleciona a respectiva DAP, relativo aos indicadores socioeconômicos, para cada trajeto, através da média das categorias para os municípios de origem e destino.
- ii. Aplicação da DAP encontrada para estimação do VTTS, considerando a diferença efetiva do tempo de viagem entre o modo rodoviário e ferroviário para o mesmo trajeto. Esta etapa identifica os diferentes tempos de viagem entre o modo ferroviário e rodoviário, aplicando a DAP para a diferença entre os valores, obtendo o VTTS em reais. Esse valor monetário será considerado um benefício quando representar uma redução no tempo de deslocamento.

4.3.4 Emissão de poluentes

Ao se estudarem os temas de emissão de gases poluentes e de GEE encontrados em relatórios governamentais e em literaturas técnicas no Brasil, ambos os conceitos são considerados sob a mesma ótica de pesquisa. Assim posto, o exposto no capítulo 3 sobre metodologias estrangeiras relativas à poluição atmosférica e GEE será incorporado na seção presente sob categoria genérica de “Emissão de poluentes”, visto que, nos documentos nacionais analisados, os dois conceitos aparecem frequentemente em conjunto, não havendo uma separação evidente nas metodologias de cálculo, sendo essas equações passíveis de aplicação ampla para quaisquer gases poluentes.

4.3.4.1 Referências nacionais

Desse modo, foram analisados documentos institucionais e artigos acadêmicos, com destaque para os estudos publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), pela EPL e pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), assim como pelo Ipea, cada qual apresentando uma metodologia própria, derivada de publicações internacionais consolidadas. Entre os documentos norteadores para os estudos nacionais, o relatório publicado pelo IPCC (WALDRON *et al.*, 2006)¹⁶ serve de referência para os dois primeiros documentos selecionados.

4.3.4.1.1.1 CETESB (2014)

O *Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo, emissões no setor de energia: subsetor de transportes* (CETESB, 2014) abarca as emissões diretas e indiretas de poluentes no estado de São Paulo. O documento trata especificamente dos gases emitidos nos variados modos de transporte, empregando uma metodologia particular para cada um, fundamentadas nos métodos aplicados em documentos publicados pelo IPCC (do inglês – *Intergovernmental Panel on Climate Change*).

A seguir são apresentadas as características para estimativa das emissões de poluentes para os modos ferroviário e rodoviário, com base no documento analisado.

¹⁶ *Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa* (do inglês – *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*).

Modo ferroviário

O documento divide a valoração de emissões de GEE e poluentes no modo ferroviário em dois conjuntos de emissões provenientes de queima de diesel e considerados mais relevantes por serem diretas, sendo eles:

- i. Emissões de CO₂
- ii. Emissões de CH₄ e N₂O.

Ambas estão alicerçadas nos métodos e nos fatores propostos pelo IPCC (WALDRON *et al.*, 2006), os quais dependem da disponibilidade de dados e dizem respeito à metodologia empregada no Tier 1. A Tabela 28 apresenta os fatores de emissão dos três gases poluentes mencionados, os quais são entendidos como os poluentes de maior importância no que tange às emissões do modo ferroviário. Nesse sentido, não são consideradas as emissões de NO_x, CO e NMVOC¹⁷.

Tabela 28 – Fatores de emissão de gases poluentes para o modo ferroviário (em kg/TJ)

GEE emitido	Diesel
Dióxido de carbono – CO ₂	74.100
Metano – CH ₄ *	4,15
Óxido nitroso – N ₂ O*	28,6

* Para um consumo específico médio de 0,47L/kWh para locomotivas de 2.983 kW de potência, determinado no IPCC (WALDRON *et al.*, 2006).

Fonte: CETESB (2014). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Ademais, a CETESB apresenta em seu documento duas equações correlacionadas para estimar as emissões ferroviárias seguindo o método Tier 1 do IPCC. A primeira, conforme a Equação (34), aponta para o cálculo de emissão de GEE segundo o próprio IPCC. Já a Equação (35) é uma adaptação da anterior para que esta se adeque à particularidade dos dados disponibilizados pelo Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP).

$$E = \sum C_i \times FE_i \quad (34)$$

Onde:

- E = emissão de GEE (em kg_{GEE} x ano⁻¹)
- C = consumo de combustível (em TJ¹⁸ x ano⁻¹)

¹⁷ Do inglês – *non-methane volatile organic compounds*.

¹⁸ TJ = 1012 J. Para efetuar a conversão de caloria para Joule, empregou-se a relação 1 cal = 4,1868 J.

- FE = fator de emissão (em $\text{kg}_{\text{GEE}} \times \text{TJ}^{-1}$)
- i = tipo de combustível.

$$E = \sum C_i \times FE_i \times 4,18 \times 10^{-6} \quad (35)$$

Onde:

- E = emissão de GEE [$\text{Gg}_{\text{GEE}} \times \text{ano}^{-1}$]
- C = consumo de combustível [$109 \text{ kcal} \times \text{ano}^{-1}$]
- FE = fator de emissão [$\text{kg}_{\text{GEE}} \times \text{TJ}^{-1}$]
- 4,18 = fator de conversão de kcal para kJ [$\text{J} \times \text{cal}^{-1}$]
- 10^{-6} = conversão de unidade de kg para Gg [$\text{G} \times \text{k}^{-1}$]
- i = tipo de combustível.

Modo rodoviário

Para o modo rodoviário, a estimativa de emissões fundamentou-se em métodos adotados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2014) e nos princípios vistos nos documentos do IPCC. Nesse cenário, os gases poluentes analisados abrangem CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , NO_x e NMVOC . Tendo em vista a necessidade de utilizar um combustível padrão para a aplicação do método, considera-se a gasolina, pois é majoritariamente utilizada pelos veículos leves de passageiros (carros) do modo rodoviário brasileiro; enquanto para veículos médios e grandes (*vans* e *ônibus*), as emissões consideram o diesel.

Tratando-se primeiramente do CO_2 , a Equação (36) apresenta a fórmula para estimar as emissões de CO_2 , a qual depende da variável de consumo de combustível e do fator de emissão do gás poluente.

$$E_{\text{CO}_2} = \sum C_i \times FE_i \quad (36)$$

Onde:

- E_{CO_2} = emissão de CO_2 [g]
- C_i = combustível consumido [L]
- FE_i = fator de emissão [g/L].

Nesse sentido, a Tabela 29 apresenta os fatores de emissão do CO₂, a depender do combustível empregado, e a Equação (37) apresenta a fórmula para estimar o consumo de combustível, ambas variáveis necessárias para estimar as emissões rodoviárias.

Tabela 29 – Dados de emissão de CO₂ no modo rodoviário por combustível

Combustível	Fator de emissão em kg/L
Gasolina	2,269
Diesel	2,671

Fonte: CETESB (2014). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

$$C_i = F \times I \times q \quad (37)$$

Onde:

- C_i = consumo de combustível [L]
- F = frota de veículos
- I = intensidade de uso ajustado [km/veículo]
- q = consumo médio de combustível por km rodado [L/km].

De acordo com a CETESB (2014), e baseando-se nas premissas do documento publicado pelo IPCC (WALDRON *et al.*, 2006), a fim de estimar a emissão de CO₂ no modo rodoviário, deve-se primeiramente avaliar os valores de consumo de combustível por tipo de veículo para, em seguida, obter o total de CO₂ emitido a partir da multiplicação do combustível consumido pelo fator de emissão apresentado na Tabela 29.

Quanto ao restante dos gases poluentes (CH₄, N₂O, CO e NO_x), as emissões são calculadas a partir da Equação (38), e seus fatores de emissão estão apresentados na Tabela 30. Visto que para esses poluentes faz-se necessário um maior grau de detalhamento, pois suas emissões dependem das características das operações, seus fatores possuem valores específicos para o consumo tanto de diesel quanto de gasolina para veículos leves, médios e pesados.

$$E = FE \times F \times I \quad (38)$$

Onde:

- E = emissão de gases poluentes não- CO₂ [g]
- FE = fator de emissão [g/km]
- F = frota de veículos
- I = intensidade de uso ajustada [km/veículo].

Tabela 30 – Fatores de emissão para veículos leves a gasolina (em g/km)

Gás poluente	Fator de emissão (g/km)
Metano – CH ₄	0,14
Óxido nitroso – N ₂ O	0,024
Monóxido de carbono – CO	0,37
Óxidos de nitrogênio – NO _x	0,039

Fonte: CETESB (2014). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Já para as emissões provenientes de veículos pesados a diesel na categoria de transporte de passageiros, a CETESB considera a classificação de emissão para ônibus urbano e rodoviário para os gases CO e NO_x, enquanto para CH₄ e N₂O não há diferença de categorias. Os fatores de emissão dos poluentes mencionados estão expostos na Tabela 31.

Tabela 31 – Fatores de emissão para veículos pesados a diesel (em g/km)

Categoria de transporte	Gás poluente	Fator de emissão (g/km)
Ônibus	CH ₄	0,060
Ônibus	N ₂ O	10,0
Ônibus rodoviário	CO	1,06
Ônibus urbano	CO	1,41
Ônibus rodoviário	NO _x	5,96
Ônibus urbano	NO _x	7,85

Fonte: CETESB (2014). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

4.3.4.1.1.2 EPL e IEMA (2021)

O documento *Metodologia EPL-IEMA para Emissões de GEE e Poluentes Locais* (EPL; IEMA, 2021) apresenta informações de emissões de poluentes atmosféricos de forma comparativa entre os modos de transporte. Segundo as instituições, a principal fonte de informações consultada foi o Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário (SAFF), no qual os dados consolidados são disponibilizados no Anuário Estatístico da ANTT.

A metodologia utilizada no documento para estimar as emissões considera dois principais conjuntos de informação:

- i. Taxa de atividade: distância percorrida, energia consumida e carga transportada (no caso do transporte de cargas).
- ii. Fator de emissão: quantidade de gases emitidos por unidade da taxa de atividade.

Os gases e poluentes estimados no modo ferroviário e rodoviário estão expostos no Quadro 15, havendo apenas uma diferença associada à emissão de óxidos de enxofre (SOx), visto que, em 2012, através do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), houve a determinação de redução expressiva da concentração de enxofre no combustível para 10 ppm¹⁹, o que acarretou a redução de emissões atmosféricas desse poluente. Assim, o próprio Proconve deixou de estabelecer limites de emissão de SOx para veículos pesados rodoviários fazendo com que essas emissões para o modo não fossem estimadas neste documento.

Quadro 15 – Poluentes e gases estimados no modo ferroviário e rodoviário

Poluentes e gases		Ferrovário	Rodoviário
Poluentes locais	CO, NOx, NMVOC, MP	✓	✓
	SOx	✓	-
GEE	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	✓	✓

Fonte: EPL e IEMA (2021). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Os fatores de emissão para o **modo ferroviário** baseiam-se na estimativa a partir do consumo de combustível:

- Fator de emissão CO₂ (g/L): consumo de combustível diesel mineral e biodiesel
- Fator de emissão não CO₂ (g/TJ): densidade energética (L/TJ) e densidade volumétrica (g/L) do combustível diesel mineral e óleo combustível.

4.3.4.1.1.3 Ipea (ROCHA; MORAIS; KLUG, 2019)

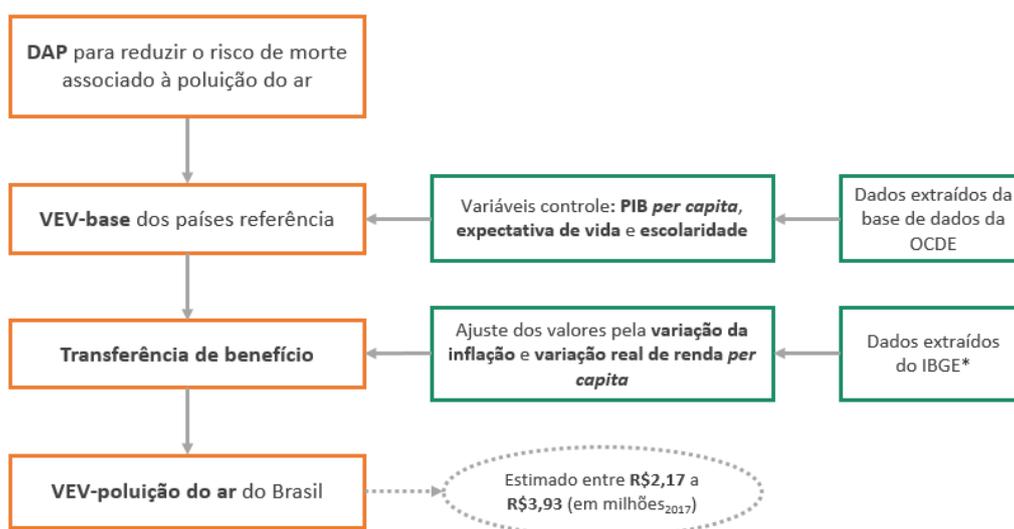
Buscando estimar um parâmetro de custo econômico da poluição atmosférica para utilização em análises custo-benefício, o documento *O custo econômico da poluição do ar: estimativa de valor da vida estatística para o Brasil* (ROCHA; MORAIS; KLUG, 2019) apresenta um método de valoração que parte da expressão em termos do VEV.

Assim, a fim de se obter o VEV-poluição do ar, usa-se como base a DAP da população referente à redução do risco de morte em razão de doenças relacionadas à poluição atmosférica. A DAP calculada pelo Ipea seguiu uma adaptação técnica de transferência de benefício, a qual consiste em ajustar estimativas realizadas em países que apresentam bons estudos empíricos, para o contexto de países em que falta pesquisas robustas no tema, como é o caso do Brasil.

¹⁹ Partes por milhão. Essa unidade é utilizada em soluções em que a massa do soluto é pequena a ponto de a massa do solvente representar quase a totalidade da massa da solução.

Dessa forma, ao constatar a necessidade de se desenvolver um estudo que defina um parâmetro de VEV-base mais aproximado da realidade brasileira, o documento propõe uma estimativa mais condizente para a realização da transferência. Para tanto, o Ipea utiliza como fonte os países recomendados pelo próprio instituto com estudos de DAPs associados à poluição atmosférica resgatados a partir da base de dados de metanálise da OCDE. Com isso, os seguintes países serviram de referência: Alemanha, China, Dinamarca, Espanha, França, Hungria, Suíça, Polônia, Reino Unido, República Checa, Tailândia e Taiwan. O esquema da metodologia empregada pelo Ipea se encontra na Figura 21.

Figura 21 – Esquema para estimar o VEV-poluição do ar baseado em países similares ao Brasil



* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Fonte: Rocha, Morais e Klug (2019). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Por fim, como exposto na Figura 21, utilizando dados disponibilizados pela base desenvolvida pela OCDE dos países elegidos como referência, e posteriormente adotando valores brasileiros publicados pelo IBGE para realizar a transferência de benefício, o Ipea estimou (em valores-base de 2017) um VEV-poluição do ar que varia entre R\$ 2,17 milhões a R\$ 3,93 milhões.

4.3.4.2 Aplicação ao Brasil

Estudos nacionais que apresentem uma estimativa de monetização de emissões de gases poluentes em projetos de transporte no Brasil ainda são escassos, ao passo que pesquisas que visem estimar as emissões em si já estão sendo realizadas no País. Portanto, no que diz respeito à valoração da emissão de gases, essa externalidade ainda é dependente de pesquisas estrangeiras, ao menos para traçar comparações.

O documento produzido pela EPL (2019a) monetiza as emissões de poluentes, levando em consideração apenas o CO₂, sem considerar outros gases. A Tabela 32 apresenta uma estimativa do preço do carbono emitido ao longo dos anos no Brasil e adotado pela EPL, em comparação ao preço geral, adquirido a partir do modelo DICE (do inglês – *Dynamic Integrated Climate-Economy*) de estimativa do custo social do carbono (NORDHAUS, 2017).

Tabela 32 – Custo social do carbono emitido

Ano	Custo social do carbono emitido – US\$ por tonelada de emissão	Custo social do carbono emitido no Brasil – R\$ por tonelada de emissão
2020 a 2024	22,6	67,57
2025 a 2029	25,7	76,84
2030 a 2049	29,1	87
> 2049	49,2	147,1

Fonte: EPL (2019a). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Além disso, a EPL estipula que se faz necessário considerar uma redução em até 7% da valoração das emissões rodoviárias de CO₂ em casos de melhora da qualidade na infraestrutura com a duplicação de vias. No entanto, como o valor das emissões no modo ferroviário é mais de 65% menor do que o preço das emissões no modo rodoviário, mesmo com um desconto de 7%, o modo ferroviário possui vantagem nesse quesito.

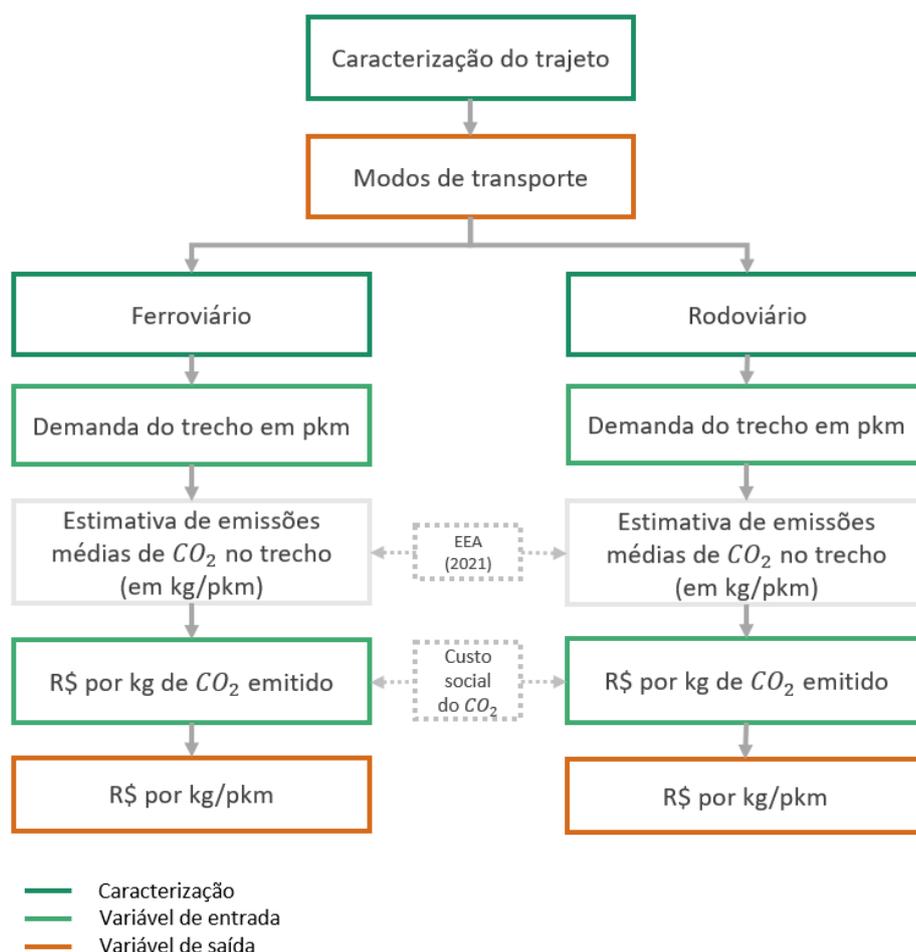
De modo a associar essa precificação por quilo de gás emitido pelo volume de emissão, a European Environment Agency (EEA) apresenta esses valores em PKM para os transportes terrestres rodoviários e ferroviários relativos às emissões de CO₂ (EEA, 2021). A Tabela 33 apresenta as emissões médias de quilo de CO₂ por PKM para ambos os modos, sendo o rodoviário separado entre emissões de carros (veículos leves para o transporte de passageiros) e vans e ônibus (veículos médios/pesados para o transporte de passageiro).

Tabela 33 – Emissão média de CO₂ por modo de transporte

Ano	Emissão média de CO ₂ em kg/PKM
Ferrovário	0,0033
Rodoviário: carros	0,143
Rodoviário: ônibus e van	0,08

Fonte: EEA (2021). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

A partir da emissão de CO₂ em kg/PKM por modo de transporte e o preço do carbono por quilo de emissão, o qual pode ser obtido convertendo o valor proposto pela EPL em toneladas para quilo, torna-se possível avaliar o custo/benefício para uma possível substituição de modo aplicados a um determinado trajeto em análise. Essa metodologia é apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de emissão de CO₂

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Já para o caso da monetização de emissões de demais GEE, os dados e estudos existentes ainda não possuem a mesma robustez das pesquisas realizadas com o CO₂, gás de maior efeito para o aquecimento global. Portanto, o único gás para o qual sua precificação é facilmente realizada é o CO₂, através do preço do carbono.

No entanto, apesar da falta de uma metodologia específica e padronizada para cada GEE, que não seja CO₂, adota-se internacionalmente a estratégia de se converterem as emissões desses demais gases poluentes para que sejam expressos em termos dos seus volumes equivalentes de CO₂ emitido, de maneira que se possa valorizá-los a partir da aplicação do custo social do carbono (UNFCCC, [20--]). Assim, a métrica utilizada para quantificar a contribuição de determinada GEE para às mudanças climáticas é o Potencial de Aquecimento Global (PAG), o qual é responsável por viabilizar a conversão do gás para seu volume equivalente de CO₂.

A Tabela 34 indica o PAG de GEE relevantes para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, do inglês – *United Nations Framework Convention on*

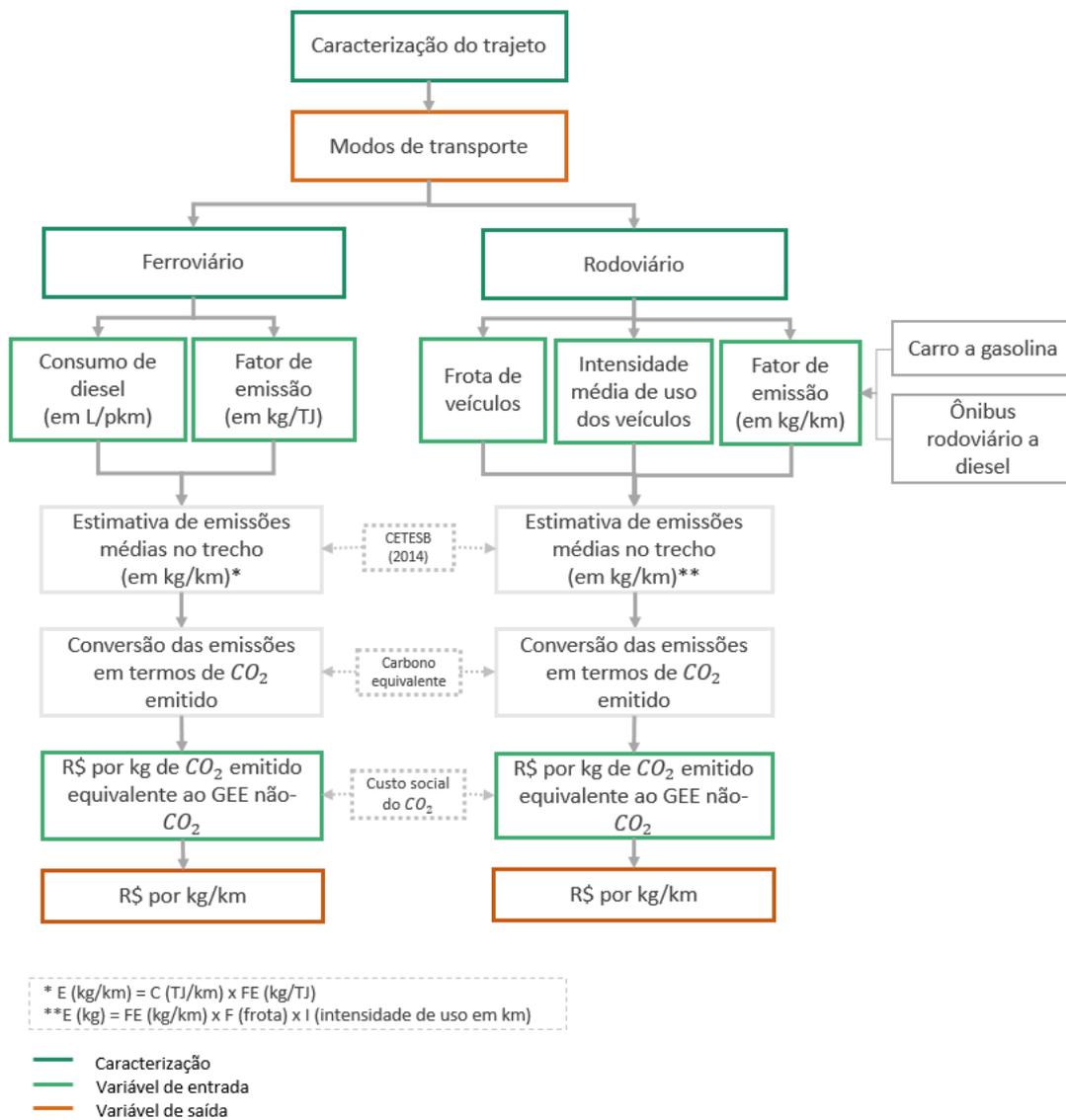
Climate Change), a qual apresenta a informação de demais GEE em relatórios públicos. Como exemplo, no caso do gás metano (CH₄), sua emissão possui um PAG 21 vezes mais elevado que uma molécula de CO₂ ao longo de 100 anos.

Tabela 34 – PAG em horizonte de 100 anos para os GEE relevantes à UNFCCC

GEE	PAG
Dióxido de carbono – CO ₂	1
Metano – CH ₄	21
Óxido nitroso – N ₂ O	265
Hidrofluorcarboneto – HFC-23	11.700
Tetrafluoroetano – HFC134a	1.300
Tetrafluorometano – CF ₄	6.500
Hexafluoroetano – C ₂ F ₆	9.200
Hexafluoreto de enxofre – SF ₆	22.800
Trifluoreto de nitrogênio – NF ₃	16.100

Fonte: UNFCCC ([202-]). Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

Posto isso, visto que para esses GEE não CO₂ não foi encontrado um valor médio de emissão por PKM que possa ser usado como referência, como o proposto pela EEA para o caso do CO₂, a metodologia para avaliar o custo/benefício para uma substituição de modo possui mais etapas. Assim, faz-se necessário realizar o cálculo para estimar a emissão desses gases por modo de transporte, para que depois seja possível converter seus volumes emitidos para serem expressos em termos de emissão de CO₂ e, assim, monetizar os GEE não CO₂ a partir da aplicação do custo social do carbono. Essa metodologia está especificada na Figura 23.

Figura 23 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de emissões de gases poluentes (não CO₂)

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O PRODUTO 1.B

O Produto 1.B se propõe a elencar metodologias para avaliar externalidades presentes no transporte ferroviário de passageiros, considerando as especificidades referentes à realidade nacional. Para isso, foram estruturadas três seções com objetivos diferentes, mas visando um resultado comum.

Inicialmente, são elencadas as principais externalidades do transporte ferroviário de passageiros; na sequência, foram apontados os métodos de avaliação destacados pela literatura especializada e as possibilidades de aplicação ao caso brasileiro; e, por fim, foram apresentados os métodos para avaliação das externalidades em destaque.

O capítulo 4 apresenta propostas de metodologias para mensuração de quatro externalidades de grande destaque quanto ao seu impacto no transporte ferroviário de passageiros. Como inovação, os métodos apresentados, e simplificados em formato de fluxo, permitem uma comparação entre cenários com diferentes demandas para os modos ferroviário e rodoviário em cada localidade específica, para cada uma das externalidades. Dessa forma, é possível regionalizar os impactos, determinando se o efeito seria positivo (benefícios) ou negativo (custos) para a sociedade.

Cabe ressaltar que os métodos propostos para estimação dos impactos de investimentos em ferrovias de passageiros são *ex-ante* e, sobretudo, por necessitarem de dados e coeficientes de preferência de fontes secundárias, os resultados encontrados apresentam um caráter preliminar, permitindo, inicialmente, entender o sentido do impacto e elencar projetos prioritários para a realização de estudos mais aprofundados e regionalizados que possibilitariam uma maior assertividade na identificação dos impactos à sociedade.

Destaca-se que, mesmo com a aplicação das metodologias para as externalidades propostas, supõe-se que os benefícios de implementação do transporte ferroviário de passageiros em determinada localidade estarão subestimados. Isso se justifica pois diversos impactos considerados nas pesquisas como o desenvolvimento regional, a diminuição nos custos operacionais de transporte, entre outros são apontados na literatura como benefícios gerados pelo transporte ferroviário de passageiros; porém, tanto por conta da proximidade com outras externalidades detalhadas no Produto quanto pela impossibilidade metodológica de avaliar e monetizar seus impactos no contexto brasileiro, as metodologias para mensuração desses impactos não foram apresentadas.

Conforme as referências abordadas ao longo do produto, a expectativa é de que a aplicação das metodologias evidencie os benefícios da implantação de projetos para o desenvolvimento do transporte ferroviário de passageiros, principalmente quando comparado ao modo rodoviário, padrão atual na maioria dos municípios brasileiros. O nível de benefício irá depender de cada aplicação, podendo, em alguns casos, justificar o investimento necessário à implantação.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLA, C. L.; BONATTO, A. Z. E.; DUTRA, D. L. Análise Custo Benefício em Transportes: o Valor Estatístico da Vida para o Brasil. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., Balneário Camboriú, 2019. **Anais eletrônicos** [...]. Balneário Camboriú: 2019. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Aspectos%20Econ%C3%B4micos%20Sociais%20Pol%C3%ADticos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Economia%20e%20Regula%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Transportes%20I/3_382_AC.pdf. Acesso em: 28 de abril de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA (ABIFER). Estrada de Ferro Carajás é classificada como ferrovia mais segura do Brasil. **ABIFER**, São Paulo, 11 fev. 2020. Disponível em: <https://abifer.org.br/estrada-de-ferro-carajas-e-classificada-como-ferrovia-mais-segura-do-brasil/>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA DE TRÁFEGO (ABRAMET). ABNT muda terminologia e adota a expressão sinistro de trânsito para qualificar incidentes no tráfego. **ABRAMET**, São Paulo, 2 fev. 2021. Disponível em: <https://www.abramet.com.br/noticias/abnt-muda-terminologia-e-adota-a-expressao-sinistro-de-transito-para-qualificar-incidentes-no-trafego/>. Acesso em: 14 jul.2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2000. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/NBR-10151-de-2000.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, dez. 1987. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-10.152-N%C3%ADveis-de-ru%C3%ADdo-para-conforto-ac%C3%BAstico.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. **Revista dos Transportes Públicos**, São Paulo, ano 21, p. 35-92, 1º trimestre, 1999. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf. Acesso em: 2 jul.2022.
- ATKINSON, G. *et al.* **Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use**. Paris: OECD Publishing, 2018. *E-book*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264085169-en>. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264085169-en.pdf?expires=1653051081&id=id&acname=ocid54025470&checksum=7FB81ADDEB25C998690176D6B3A00196>. Acesso em: 19 abr. 2022.
- BENAVIDES, G. R. L.; BENAVIDEZ, R. S. L. Benefícios Socioeconômicos para la Integración Económica de los bienes Públicos: Tren de carga y pasajeros. **REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas**, Managua, v. 6, n. 11, p. 76-86, enero-jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5377/reice.v6i11.6149>. Disponível em: <https://www.lamjol.info/index.php/REICE/article/view/6149>. Acesso em: 19 abr. 2022.

BRASIL. Comitê Interministerial de Planejamento da Infraestrutura (CIP-INFRA). **Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura 2021-2050**. Brasília, DF: CIP-INFRA, 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/comite-interministerial-de-planejamento-da-infraestrutura/pilpi.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade (SEPEC). Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI). **Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura**. Versão 2. Brasília: Ministério da Economia: SDI, out. 2021b. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/guia_acb.pdf/view. Acesso em: 11 abr. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura (MInfra). **Conheça as rotas de trem de passageiros no Brasil**. Brasília, DF, 2018a. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/conheca-as-rotas-de-trem-de-passageiros-no-brasil>. Acesso em: 17 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura (MInfra). Portaria nº 123, de 21 de agosto de 2020. Institui o Planejamento Integrado de Transportes, que contempla os subsistemas federais rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroviário, e as ligações viárias e logísticas entre esses subsistemas e desses com os sistemas de viação dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 ago. 2020a. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=28&data=24/08/2020>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura (MInfra). Portaria nº 124, de 21 de agosto de 2020. Aprova o Regimento Interno do Ministério da Infraestrutura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 ago. 2020b. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/08/2020&jornal=515&pagina=29&totalArquivos=167>. Acesso em: 3 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura (MInfra). **Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito**. Brasília, DF, 13 out. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS**. Brasília, DF, [2022]. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 13 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013**: Ano-base 2012. Relatório Final. Brasília, DF: MMA, jan. 2014. Disponível em: https://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviarios_2013.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA). **Política Nacional de Transportes**: Resumo Executivo. Versão em português. Livro de Estado e Caderno das Estratégias Governamentais. Brasília: MTPA, 2018b. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/resumo_executivo_pnt_portugues.pdf. Acesso em: 28 mar. 2022.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA). Portaria nº 235, de 28 de março de 2018. Institui a Política Nacional de Transportes e estabelece princípios, objetivos,

diretrizes e instrumentos para o setor de transportes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 mar. 2018c. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=264&data=29/03/2018>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BRASIL. Presidência da República. Participa +Brasil. **Plano Setorial de Transportes Terrestres – PSTT**. Brasília, DF: Presidência da República, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/plano-setorial-de-transportes-terrestres-pstt>. Acesso em: 11 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI); INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Catálogo de Parâmetros**. Anexo do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura. Brasília, DF: SDI: IPEA, jul. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/choque-de-investimento-privado/avaliacao-socioeconomica-de-custo-beneficio-1/catalogo-de-parametros.pdf>. Acesso em: 3 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade (SEPEC). Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI); EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA (EPL). **Manual de análise de custo-benefício para projetos de investimento em infraestrutura de transporte**. [Brasília]: SDI: EPL, abr. 2021. 50 p. [.pdf].

BRUYN, S. de. *et al.* **Environmental Prices Handbook**: EU28 version. Delft: CE Delft, 2018. Disponível em: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_7N54_Environmental_Prices_Handbook_EU28_version_Def_VS2020.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

CARTENI, A. et al. A Cost-Benefit Analysis of a Fully-Automated Driverless Metro Line in a High-Density Metropolitan Area in Italy. In: 2019 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING AND 2019 IEEE INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS EUROPE, EEEIC/I AND CPS EUROPE 2019, 19., 2019, Genoa. **Proceedings** [...]. Genoa: IEEE, June 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070829742&doi=10.1109%2fEEEIC.2019.8783471&origin=inward&txGid=e25df7931f3ce6f5d1ee4fbd8f84e72c>. Acesso em: 19 abr. 2022.

CHANG, Y.; YANG, Y.; DONG, S. Sustainability evaluation of high-speed railway (HSR) construction projects based on unascertained measure and analytic hierarchy process. **Sustainability (Switzerland)**, Beijing, v. 10, i. 2, Feb. 2018. Disponível em: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85041562713&doi=10.3390%2fsu10020408&origin=inward&txGid=95591b3a9c973b971b23b6cb5d7d18c4&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1. Acesso em: 19 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**: emissões no setor de energia: subsetor de transportes 1990 a 2008. São Paulo: CETESB, 2014. *E-book*. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/09/emissoes-no-setor-de-energia_Transportes.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS (CBTU). **Relatório de Gestão 2021**. Brasília, DF: CBTU, 2021. Disponível em: <https://www.cbtu.gov.br/images/gaplo/gestaoanual/gestao2021.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do Transporte**: estatísticas consolidadas. [Brasília, DF], 2020. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

CORNET, Y. et al. Engaging multiple actors in large-scale transport infrastructure project appraisal: An application of mamca to the case of hs2 high-speed rail. **Journal of Advanced Transportation**, [s. l.], v. 2018, 2018. Disponível em: <https://bitly.com/iRuyb>. Acesso em: 19 abr. 2022.

COTO-MILLÁN, P.; CASARES, P.; INGLADA, V. Economic assessment of railway policies: High speed or high-performance. A case of study. **Open Transportation Journal**, [Netherlands], v. 6, i. 1, p. 23-30, 2012. DOI: 10.2174/1874447801206010023. Disponível em: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84860656216&doi=10.2174%2f1874447801206010023&origin=inward&txGid=18ce28b16e1ce48b05e8394beaa6da5f&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1. Acesso em: 19 abr. 2022.

COTO-MILLÁN, P. et al. Externalities Analysis of Investments in Infrastructure: a Practical Approach. In: COTTO-MILLÁN, P.; INGLADA, V. (ed.). **Essays on Transport Economics**. Cantabria: Springer, Jan. 2007. Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-7908-1765-2_16.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

DELUCCHI, M. A.; MCCUBBIN, D. R. **External Costs of Transport in the U.S**. Davis: Edward Elgar Publishing Ltd., 2010. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/13n8v8gq>. Acesso em: 18 abr. 2022.

DEMIR, E. *et al.* A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [s. l.], v. 77, p. 95-114, 2015. ISSN 1366-5545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515000605>. Acesso em: 18 abr. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **EB-Escopo Básico 02**: Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental–EVTEA de empreendimento ferroviário destinado a eliminação de conflito urbano. [Rio de Janeiro]: DNIT, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/procedimentos-para-elaboracao-de-evtea/escopo-basico-02.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS (DEFRA). **Air quality appraisal**: impact pathways approach. [London]: Defra, 26 Mar. 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/assess-the-impact-of-air-quality/air-quality-appraisal-impact-pathways-approach>. Acesso em: 19 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS (DEFRA). **Environmental noise**: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet. London: Defra, Nov. 2014. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/380852/environmental-noise-valuing-impacts-PB14227.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (DfT). **TAG UNIT A1.1**: Cost-Benefit Analysis. [London]: DfT, July 2021a. Disponível em:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1007440/tag-unit-A1.1.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (DfT). **TAG unit A2-3 employment effects**: Transport Analysis Guidance (TAG) on the analysis of employment effects in transport appraisals. [London]: DfT, 31 May 2018. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/webtag-tag-unit-a2-3-employment-effects-may-2018>. Acesso em: 19 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (DfT). **TAG UNIT M2.1**: Variable Demand Modelling. London: DfT, May 2020. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/938855/tag-m2-1-variable-demand-modelling.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (DfT). **Transport analysis guidance**: Transport analysis guidance (TAG) provides information on the role of transport modelling and appraisal. [London]: DfT, 13 Oct. 2021b. Disponível em: <https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-tag>. Acesso em: 14 abr. 2022.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (DfT). **Understanding and Valuing the Impacts of Transport Investment**. [London]: DfT, 2013. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/253860/understanding-valuing-impacts-transport-investment.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

ELIASSON, J. *et al.* Transport Mode and the Value of Accessibility – A Potential Input for Sustainable Investment Analysis. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 5, p. 1-14, 10 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12052143>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/2143>. Acesso em: 28 mar. 2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. (EPL). **[Metodologia da Análise de Custo-Benefício]**. Brasília, DF, 2019a. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/metodologia-da-analise-de-custo-beneficio>. Acesso em: 13 maio 2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S. A. (EPL). **Parâmetros de Custo-Benefício para projetos de infraestrutura de transportes**. Brasília, DF: EPL, 2019b. Disponível em: https://www.epl.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=6469. Acesso em: 10 maio 2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. (EPL); INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Metodologia EPL-IEMA para Emissões de GEE e Poluentes Locais**: Acordo de Cooperação Técnica – EPL e IEMA. [Brasília, DF]: EPL: IEMA, 2021. Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/Metodologia-Emissoes_GEE.pdf. Acesso em: 13 maio 2022.

ESSEN, H. V. *et al.* **External Costs of Transport in Europe**: Update Study for 2008. Delft: CE Delft, Sept. 2011. Disponível em: http://ecocalc-test.ecotransit.org/CE_Delft_4215_External_Costs_of_Transport_in_Europe_def.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.

EUROPEAN COMMISSION (EC). Directorate-General for Regional and Urban policy. **Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects**: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. Brussels: EC, Dec. 2015. Disponível em: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf. Acesso em: 11 abr. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Rail and waterborne – best for low-carbon motorised transport**. Copenhagen, 2021. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/downloads/1c4510483b9a45ab8915e1260cd74445/1645808929/rail-and-waterborne-best.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2022.

FERRARI, T. K. *et al.* Estimativa do Valor da Vida Estatística e do Valor da Economia de Tempo em Viagens nas Rodovias Brasileiras com a Utilização de Pesquisa de Preferência Declarada. **Texto para Discussão**, Brasília, DF, Rio de Janeiro, n. 2.533, dez. 2019. *E-book*. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=35264. Acesso em: 10 maio 2022.

FERRAZ, B. *et al.* Caracterização do ruído ferroviário em uma área residencial de Maringá-PR, e sua percepção pela população local. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 6., [Maringá], 2019. **Anais eletrônicos** [...]. [Maringá]: EPCC, 29-30 out. 2019. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3324/1/BIANCA%20FERRAZ.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

FERREIRA, P. C. P. **Nota Técnica nº 75: Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018**. [Brasília, DF]: Ipea: Diset, set. 2020. *E-book*. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/200911_impactos_socioeconomico.PDF. Acesso em: 10 maio 2022.

GILCHRIST, A.; ALLOUCHE, E. N. Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review. **Tunnelling and Underground Space Technology**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 89-104, Jan. 2005. ISSN 0886-7798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.04.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088677980400286X>. Acesso em: 12 abr. 2022.

GONZÁLEZ, J. R. Q. Benefícios ambientais, sociais y económicos del tranvía y el tren ligero: valoración de las políticas públicas en Colombia. **Revista Transporte Y Territorio**, [s. l.], v. 17, p. 203-228, 2017. DOI <https://doi.org/10.34096/rtt.i17.3873>. Disponível em: <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/3873>. Acesso em: 2 maio 2022.

HANSEN, B.; BELLO, H.; CALDAS, M. A. Análise e proposição de custos externos de ferrovias. **Transportes**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 42-47, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4237/transportes.v20i2.597>. Disponível em: <https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/597>. Acesso em: 4 maio 2022.

HARDING, A. *et al.* **Quantifying the links between environmental noise related hypertension and health effects**. Buxton: Health & Safety Laboratory, 2011. Disponível em: <http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=17601>. Acesso em: 20 maio 2022.

HM TREASURY. **The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation**. London: HM Treasury, Mar. 2022. ISBN 978-1-5286-2229-5. *E-book*. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/938046/The_Green_Book_2020.pdf. Acesso em: 11 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil**. Uma primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **[Início]**. [Brasília, DF], c2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/>. Acesso em: 13 maio 2022.

ISLER, C. A.; WIDMER, J. A. Análise socioeconômica de alternativas para o transporte ferroviário de passageiros em uma rede regional. **Transportes**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 138-152, 29 out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1332>. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1332>. Acesso em: 19 abr. 2022.

LANE, B. W.; SHERMAN, C. P. Using the Kaldor-Hicks Tableau to assess sustainability in cost-benefit analysis in transport: An example framework for rail transit. **Research in Transportation Business and Management**, [s. l.], v. 7, p. 91-105, 2013. Disponível em: <https://bityli.com/qWPAyi>. Acesso em: 19 abr. 2022.

MARTINEZ, M. J. Calculation of Benefits of Advanced Integrated Rail Service: Application of Intelligent Transportation Systems to the Developing City of Lima, Peru. **Transportation Research Record**, Washington, D.C., n. 2.112, p. 26-33, 2009. DOI: 10.3141/2112-04. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/2112-04>. Acesso em: 4 maio 2022.

MCCMAHON, K.; DAHDAH, S. **The True Cost of Road Crashes: Valuing Life and the Cost of a Serious Injury**. London: iRAP, 2008. Disponível em: https://www.alternatewars.com/BBOW/ABM/Value_Injury.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

MIGUEL, D. A. A.; SOUZA, A. P. M. Avaliação Socioeconômica de Investimentos em Ferrovias de Carga: uma aplicação prática à Malha Paulista. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: ANPET, nov. 2019. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Aspectos%20Econ%C3%B4micos%20Sociais%20OPol%C3%ADticos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Gest%C3%A3o%20do%20Transporte%20Ferrovi%C3%A1rio%20e%20Hidrovi%C3%A1rio/3_143_AC.pdf. Acesso em: 3 maio 2022.

NORDHAUS, W. D. Revisiting the social cost of carbon. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, [s. l.], v. 114, i. 7, p. 1.518-1.523, 2017. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1609244114>. Acesso em: 13 maio 2022.

OTT W. *et al.* **New energy externalities development for sustainability (NEEDS)**. Deliverable D4.2: Assessment of biodiversity losses: Econcept and ESU-services Zürich. Uster: Econcept AG: ESU-services, 2006.

PEREIRA, A. P. O. **Subsídios para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Ferrovias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, 2000.

PETRUCCELLI, U. Assessment of external costs for transport project evaluation: Guidelines in some European countries. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 54, p. 61-71, 2015. ISSN 0195-9255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925515000499>. Acesso em: 2 maio 2022.

QUINTERO GONZÁLEZ, J. R. Beneficios ambientales, sociales y económicos del tranvía y el tren ligero: valoración de las políticas públicas en Colombia. **Revista Transporte y Territorio**, Argentina, n. 17, p. 203-228, 2017. DOI <https://doi.org/10.34096/rtt.i17.3873>. Disponível em: <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/3873>. Acesso em: 4 maio 2022.

ROCHA, G.; MORAIS, R. L. de; KLUG, L. **O custo econômico da poluição do ar: Estimativa de valor da vida estatística para o Brasil**. Brasília, DF; Rio de Janeiro: Ipea, out. 2019. (Série Texto para Discussão). Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9469/1/td_2517.pdf. Acesso em: 13 maio 2022.

SCHREYER, C. *et al.* **External costs of transport**: update study. Final report. Zürich: INFRAS; Karlsruhe: IWW, Oct. 2004. Disponível em: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n28/ncost.en.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SCHROTEN, A.; BRUYN, S. de. **Handbook on the external costs of transport**. Version 2019 - 1.1. Delft: European Commission, Jan. 2019. V. 1. *E-book*. Disponível em: <https://cedelft.eu/publications/handbook-on-the-external-costs-of-transport-version-2019/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

SICILIANO *et al.* Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services. **Eur. Transp. Res. Rev.**, [s. l.], v. 8, n. 23, 2016. DOI 10.1007/s12544-016-0209-5. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12544-016-0209-5.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SOVACOOOL, B. K.; KIM, J.; YANG, M. The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 72, Feb. 2021. ISSN 2214-6296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101885>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620304606>. Acesso em: 19 abr. 2022.

TANG, C.; GUAN, M; DOU, J. Understanding the impact of High Speed Railway on urban innovation performance from the perspective of agglomeration externalities and network externalities. **Technology in Society**, [s. l.], v. 67, Nov. 2021. ISSN 0160-791X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101760>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X21002359>. Acesso em: 19 abr. 2022.

THE WORLD BANK. Transport Economics, Policy and Poverty Thematic Group: Notes on Economic Evaluation of Transport Projects. **Transport Note n. TRN-15**, Washington, D.C., Jan. 2005. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/11800/339360rev0trn0150EE>Note2pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 abr. 2022.

TIRACHINI, A.; HENSHER, D. A.; ROSE, J. M. Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 53, p. 36-52, July 2013. ISSN 0965-8564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.06.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856413001146>. Acesso em: 18 abr. 2022.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Common Metrics**. [New York], [20-]. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/methods-for-climate-change-transparency/common-metrics>. Acesso em: 18 out. 2022.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Rules and Reference. **Global warming potential values under the temporary measures**. [New York], [202-]. Disponível em: https://cdm.unfccc.int/Reference/CDM_note.html. Acesso em: 18 out. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Mortality Risk Valuation**. Washington, D.C., 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/environmental-economics/mortality-risk-valuation#terminology>. Acesso em: 8 set. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (DOT). **Revised Department Guidance on Valuation of Travel Time in Economic Analysis**. Washington, D.C.: DOT, 9 July 2014. Disponível em: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/USDOT%20VOT%20Guidance%202014.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (VTPI). **Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications. Executive Summary.** 2nd. ed. Victoria: VTPI, Mar. 2011. Disponível em: <https://www.vtpi.org/tca/tca00.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

WALDRON, C. D. *et al.* Mobile Combustion. *In: THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Geneva: IPCC, 2006. v. 2, chap. 3, p. 3.1-3.78. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf. Acesso em: 12 maio 2022.

WIJNEN, W. *et al.* **Crash cost estimates for European countries.** Deliverable 3.2. Loughborough: SafetyCube, 1 May 2017.

WOLDEAMANUEL, M.; OBSIE, A.; WOLDETENSAE, B. Passengers' perception towards socioeconomic benefits of Addis Ababa light rail transit. **Case Studies on Transport Policy**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 198-207, Mar. 2022. DOI: 10.1016/j.cstp.2021.12.002. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85121841637&doi=10.1016%2fj.cstp.2021.12.002&origin=inward&txGid=b7f6c2ff7615be0f18425d42b0a86705>. Acesso em: 19 abr. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Night Noise Guidelines for Europe.** Copenhagen: Charlotte Hurlley, 2009. Disponível em: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição das referências utilizadas	13
Figura 2 – Métodos de avaliação para preços de não mercado	15
Figura 3 – Relação entre impactos adversos, indicadores de custos sociais e métodos de avaliação.....	21
Figura 4 – Estrutura operacional para o desenvolvimento sustentável de HSR	46
Figura 5 – Aspectos impactados por ferrovias no Tripé da Sustentabilidade	54
Figura 6 – Relação entre HSR e inovação regional	56
Figura 7 – Metodologia dos custos totais e médios por acidentes.....	60
Figura 8 – Exposição ao ruído, custos por indivíduo exposto	65
Figura 9 – Metodologia de custos totais e médios do ruído.....	66
Figura 10 – Representação da abordagem de via de impacto para valorar os impactos de ruídos	69
Figura 11 – Metodologia para custos totais e médios da poluição atmosférica.....	80
Figura 12 – Relações existentes entre emissão e monetização dos poluentes	81
Figura 13 – Passo a passo para monetização dos poluentes	82
Figura 14 – Metodologia de custos totais e médios das mudanças climáticas.....	87
Figura 15 – Árvore de decisão para proposição metodológica.....	103
Figura 16– Mapa ilustrativo da rota de passageiro da EFVM	113
Figura 17 – Mapa ilustrativo da rota de passageiro da EFC.....	113
Figura 18 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de sinistros	119
Figura 19 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de ruídos ..	125
Figura 20 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de tempo de viagem.....	131
Figura 21 – Esquema para estimar o VEV-poluição do ar baseado em países similares ao Brasil	138

Figura 22 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de emissão de CO ₂	140
Figura 23 – Fluxo da aplicação metodológica para monetização da externalidade de emissões de gases poluentes (não CO ₂)	142

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diferentes categorias dos custos externos totais em 2016 para os UE28	29
Gráfico 2 – Diferentes modos de transporte para os custos externos totais em 2016 para os UE28	29
Gráfico 3 – Custos externos médios em 2016 para os UE28: transporte de passageiros e mercadorias (excluindo congestionamentos).....	29
Gráfico 4 – Número de óbitos decorrentes de sinistros em ferrovias de transporte de carga e de passageiros no Brasil (2007-2018).....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Benefícios (ou custos) típicos de projetos de transporte	22
Quadro 2 – Benefícios econômicos em projetos de transporte	23
Quadro 3 – Síntese dos impactos no setor de transporte	30
Quadro 4 – Categorias dos custos de transporte	32
Quadro 5 – Relevância das externalidades negativas por modo de transporte	33
Quadro 6 – Sumário das metodologias propostas por vários guias de país para estimar os custos externos	37
Quadro 7 – Sistema de índices de avaliação para o desenvolvimento sustentável de projetos de HSR	47
Quadro 8 – Impactos nos projetos de transporte	49
Quadro 9 – Impactos de um sistema de tráfego e vantagens do sistema ferroviário	49
Quadro 10 – Lista dos critérios considerados para o HSR	50
Quadro 11 – Externalidades no transporte ferroviário de passageiros, conforme ocorrência nas referências.....	58
Quadro 12 – Métodos utilizados para monetizar impactos na mudança climática, conforme literatura.....	82
Quadro 13 – Possibilidade de valoração conforme levantamento na literatura e listagem do <i>Plano de Trabalho</i>	106
Quadro 14 – Síntese das variáveis de saída para as metodologias propostas	110
Quadro 15 – Poluentes e gases estimados no modo ferroviário e rodoviário.....	137
Quadro 16 – Referências utilizadas no Produto 1B	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da pesquisa sistêmica	12
Tabela 2 – Quantidade de ocorrências em estudos e metodologias, por externalidade de transporte	39
Tabela 3 – Benefícios sociais do trem de alta velocidade no trecho Santander-Madri (milhões de €2008).....	44
Tabela 4 – Descrição dos benefícios socioeconômicos percebidos	45
Tabela 5 – Componentes dos custos externos dos acidentes para os UE28 em € ₂₀₁₆	61
Tabela 6 – Custos totais e médios de acidentes externos para os UE28 em € ₂₀₁₆	62
Tabela 7 – Valorização do aborrecimento pelo ruído nos UE28 em € ₂₀₁₆ por pessoa por dB, Lden	66
Tabela 8 – Custos de saúde nos UE28 em € ₂₀₁₆ por pessoa, por dB e por ano baseado em Defra (2014).....	67
Tabela 9 – Preço ambiental para o ruído no transporte ferroviário para os UE28 em € ₂₀₁₆ por pessoa, por dB e por ano	67
Tabela 10 – Fatores de ponderação para ruído para diferentes tipos de transporte	67
Tabela 11 – Custos totais e médios para transporte ferroviário de passageiros para os UE28 ..	68
Tabela 12 – Metodologia de monetização do valor do tempo poupado para viagens a trabalho	74
Tabela 13 – Metodologia de monetização do valor do tempo poupado para viagens a lazer ...	74
Tabela 14 – Evolução do número de vítimas envolvidas em sinistros com trens de carga (2009-2013).....	111
Tabela 15 – Resumo dos custos com sinistros de transportes ferroviários (2007-2018).....	115
Tabela 16 – Resumo dos custos com sinistros de transportes rodoviários (2007-2018).....	115
Tabela 17 – Cálculo do VEV	117
Tabela 18 – Valoração social dos sinistros ferroviários	118
Tabela 19 – Valoração social dos sinistros rodoviários.....	118
Tabela 20 – Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A).....	122
Tabela 21 – Níveis de ruídos aceitáveis para o conforto acústico	122

Tabela 22 – Níveis de ruído (Lden) identificados.....	123
Tabela 23 – Distribuição dos entrevistados de acordo com o pior incômodo.....	123
Tabela 24 – Total dos benefícios diretos oriundos dos investimentos na Malha Paulista.....	124
Tabela 25 – Custos marginais do ruído do transporte ferroviário – em €-centavo (2016) por passageiro- km (dados de 2016)	127
Tabela 26 – Propensão a pagar classificada por características socioeconômicas (2017)	129
Tabela 27 – Valor do tempo para passageiros (dia), segundo a EPL.....	130
Tabela 28 – Fatores de emissão de gases poluentes para o modo ferroviário (em kg/TJ)	133
Tabela 29 – Dados de emissão de CO ₂ no modo rodoviário por combustível	135
Tabela 30 – Fatores de emissão para veículos leves a gasolina (em g/km)	136
Tabela 31 – Fatores de emissão para veículos pesados a diesel (em g/km)	136
Tabela 32 – Custo social do carbono emitido.....	139
Tabela 33 – Emissão média de CO ₂ por modo de transporte	139
Tabela 34 – PAG em horizonte de 100 anos para os GEE relevantes à UNFCCC.....	141

LISTA DE SIGLAS

ABIFER	Associação Brasileira da Indústria Ferroviária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACB	Análise Custo-Benefício
ACBM	Análise Custo-Benefício Monetizado
AEA	Agência Ambiental Europeia
Amtrak	National Railroad Passenger Corporation
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AVC	Acidente vascular cerebral
AVI	Análise de Via de Impacto
BEESP	Balanço Energético do Estado de São Paulo
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CE	<i>Choice Experiment</i>
CE	Comissão Europeia
CEG	Comitê Estratégico de Governança
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGECO	Coordenação Geral de Estudos
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CRF	<i>Concentration-response functions</i>

CV	<i>Contingent Valuation</i>
DALY	<i>Disability-adjusted life year</i>
DAP	Disposição a Pagar
DAR	Disposição a Receber
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DfT	Department for Transport
DICE	<i>Dynamic Integrated Climate-Economy</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DPLAN	Departamento de Planejamento, Gestão e Projetos Especiais
DOT	U.S. Department of Transportation
DW	<i>Disability weight</i>
EB	Escopo Básico
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFPO	Estrada de Ferro Paraná Oeste
EFVM	Estrada de Ferro Vitória Minas
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
ERA	European Union Agency for Railways

EU ETS	<i>European Union Emissions Trading System</i>
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica
FNSTN	Ferrovias Norte-Sul Tramo Norte
FTC	Ferrovias Tereza Cristina
FTL	Ferrovias Transnordestina Logística
GEE	Gases do efeito estufa
GEE	<i>Greenhouse Gas Emission</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HM	Her Majesty's
HPT	<i>High Performance Train</i>
HSR	<i>High Speed Rail</i>
HST	<i>High Speed Train</i>
IAM	Infarto agudo do miocárdio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPA	<i>Impact Pathway Approach</i>
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
KHT	<i>Kaldor-Hicks Tableau</i>

LabTrans	Laboratório de Transportes e Logística
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LRT	<i>Light Rail Transit</i>
LRVC	<i>Long Run Variable Cost</i>
MCA	<i>Multicriteria Analysis</i>
Meta	<i>Meta-Analysis</i>
MGE	Modelo de Geração de Empregos
MIInfra	Ministério da Infraestrutura
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material particulado
MRS	MRS Logística
MTPA	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
Multi	<i>Multiple methods</i>
NAEI	<i>National Atmospheric Emissions Inventory</i>
NBR	Norma Brasileira
NCA	Nível de Critério de Avaliação
ND	Não decisivo
NMVOC	<i>Non-methane volatile organic compounds</i>
O/D	Origem/Destino
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde

PAF	Programa de Autorizações Ferroviárias
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PCM	<i>Pollution climate mapping</i>
PDTFP	Plano de Desenvolvimento do Transporte Ferroviário de Passageiros
PGP	Plano Geral de Parcerias
PIB	Produto Interno Bruto
PIT	Planejamento Integrado de Transportes
PKM	Passageiros por quilômetro
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PNL 2035	Plano Nacional de Logística 2035
PNT	Política Nacional de Transportes
PNTC	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PPC	Paridade do Poder de Compra
Ppm	Partes por milhão
PRF	Polícia Rodoviária Federal
Proconve	Programa de Controle da Emissões Veiculares
PS	Plano Setorial
PSMO	Preço sombra de mão de obra
PSTT	Plano Setorial de Transportes Terrestres
QALY	<i>Quality-adjusted life years</i>
RENAEST	Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito

RMN	Rumo Malha Norte
RMO	Rumo Malha Oeste
RMP	Rumo Malha Paulista
RMS	Rumo Malha Sul
SAFF	Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário
SAMS	<i>Small Areas for Market Statistics</i>
SDI	Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura
SEI	Sistema Eletrônico de Informações
SM	Salário-mínimo
SNTT	Secretaria Nacional de Transportes Terrestres
TAG	<i>Transport Analysis Guidance</i>
TED	Termo de Execução Descentralizada
TFP	Transporte ferroviário de passageiros
TIR	Taxa Interna de Retorno
TKM	Toneladas por quilômetro
TKU	Toneladas por quilômetro útil
TREMODO	<i>Transport Emission Model</i>
UE	União Europeia
UE28	Estados-Membros da União Europeia
UF	Unidade Federativa
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

UIC	Union internationale des chemins de fer
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VEV	Valor Estatístico da Vida
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VMR	Value of Mortality Risk Reduction
VOC	<i>Vehicle Operating Costs</i>
VPL	Valor presente líquido
VSL	<i>Value of a statistical life</i>
VTPI	Victoria Transport Policy Institute
VTTS	<i>Value of travel time savings</i>
WEI	<i>Wider economic impact</i>
WHO	World Health Organization

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – DETALHAMENTO DAS BIBLIOGRAFIAS UTILIZADAS

Quadro 16 – Referências utilizadas no Produto 1B

Pesquisa	Autores	Título	Ano	Link de acesso	Data de acesso
Exploratória	Eliasson <i>et al.</i>	<i>Transport Mode and the Value of Accessibility—A Potential Input for Sustainable Investment Analysis</i>	2020	link	28 mar. 2022
Exploratória	Essen <i>et al.</i>	<i>External Costs of Transport in Europe: Update Study for 2008</i>	2011	link	19 abr. 2022
Exploratória	Ferrari <i>et al.</i>	<i>Estimativa do Valor da Vida Estatística e do Valor da Economia de Tempo em Viagens nas Rodovias Brasileiras com a Utilização de Pesquisa de Preferência Declarada</i>	2019	link	10 maio 2022
Exploratória	Ferraz <i>et al.</i>	<i>Caracterização do ruído ferroviário em uma área residencial de Maringá-PR, e sua percepção pela população local</i>	2019	link	12 maio 2022
Exploratória	Hansen, Bello e Caldas	<i>Análise e proposição de custos externos de ferrovias</i>	2012	link	4 maio 2022
Exploratória	Isler e Widmer	<i>Análise socioeconômica de alternativas para o transporte ferroviário de passageiros em uma rede regional</i>	2017	link	19 abr. 2022
Exploratória	Brasil e EPL	<i>Manual de análise de custo-benefício para projetos de investimento em infraestrutura de transporte</i>	2021	--	--
Exploratória	Brasil. Ministério da Economia	<i>Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura</i>	2021	link	11 abr. 2022
Exploratória	Nordhaus	<i>Revisiting the social cost of carbon. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)</i>	2017	link	13 maio 2022
Exploratória	Ott <i>et al.</i>	<i>New energy externalities development for sustainability (NEEDS). Deliverable D4.2: Assessment of biodiversity losses: Econcept and ESU-services Zürich. Uster: Ecocept AG: ESU-services</i>	2006	link	--
Exploratória	Quintero González	<i>Benefícios ambientales, sociales y económicos del tranvía y el tren ligero: valoración de las políticas públicas en Colombia</i>	2017	link	4 maio 2022
Exploratória	Rocha, Morais e Klug	<i>Texto para Discussão: o custo econômico da poluição do ar</i>	2019	link	13 maio 2022
Exploratória	The World Bank	<i>Notes on Economic Evaluation of Transport Projects. Transport Note n. TRN-15</i>	2005	link	28 abr. 2022
Exploratória	ABRAMET	<i>ABNT muda terminologia e adota a expressão sinistro de trânsito para qualificar incidentes no tráfego</i>	2021	link	14 jul. 2022

Pesquisa	Autores	Título	Ano	Link de acesso	Data de acesso
Exploratória	Brasil. Ministério da Infraestrutura (MInfra)	<i>Conheça as rotas de trem de passageiros no Brasil</i>	2018	link	14 jul. 2022
Exploratória	ABIFER	<i>Estrada de Ferro Carajás é classificada como ferrovia mais segura do Brasil</i>	2020	link	12 jul. 2022
Exploratória	Brasil. Comitê Interministerial de Planejamento da Infraestrutura (CIP-INFRA)	<i>Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura 2021-2050.</i>	2021	link	10 jul. 2022
Exploratória	European Environment Agency	<i>Rail and waterborne best for low-carbon motorised transport</i>	2021	link	8 jul. 2022
Exploratória	ANTP	<i>Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público</i>	1999	link	2 jul. 2022
Exploratória	IBGE	<i>Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação</i>	2017	link	4 jul. 2022
Exploratório	Andriola, Bonatto e Dutra	<i>Análise Custo Benefício em Transportes: o Valor Estatístico da Vida para o Brasil</i>	2019	link	28 abr. 2022.
Exploratório	Benavides e Benavidez	<i>Beneficios Socioeconómicos para la Integración Económica de los bienes Públicos: Tren de carga y pasajeros</i>	2018	link	19 abr. 2022
Exploratória	Atkinson <i>et al.</i>	<i>Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use</i>	2018	link	19 abr. 2022
Referência	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	<i>ABNT NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento</i>	2000	link	12 maio 2022
Referência	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	<i>ABNT NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico</i>	1987	link	12 maio 2022
Referência	Brasil. Ministério da Saúde	<i>DATASUS</i>	2022	link	13 maio 2022
Referência	Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA)	<i>Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012</i>	2013	link	24 abr. 2022
Referência	CE Delft	<i>Environmental Prices Handbook: EU28 version</i>	2018	link	13 abr. 2022
Referência	CNT	<i>Anuário CNT do Transporte: estatísticas consolidadas</i>	2020	link	4 abr. 2022
Referência	Comissão Europeia	<i>Handbook on the external costs of transport – V1.1. Directorate-General for Mobility and Transport</i>	2019	link	3 maio 2022

Pesquisa	Autores	Título	Ano	Link de acesso	Data de acesso
Referência	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)	<i>1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo.</i>	2014	link	12 maio 2022
Referência	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)	<i>EB-Escopo Básico 02: Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental—EVTEA de empreendimento ferroviário destinado a eliminação de conflito urbano</i>	2016	link	19 abr. 2022
Referência	Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA)	<i>Air quality appraisal: impact pathways approach</i>	2021	link	19 abr. 2022
Referência	Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA)	<i>Environmental noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet</i>	2014	link	19 abr. 2022
Referência	Department for Transport (DFT)	<i>TAG unit A2-3 employment effects</i>	2018	link	19 abr. 2022
Referência	Department for Transport (DFT)	<i>Understanding and Valuing the Impacts of Transport Investment</i>	2013	link	14 abr. 2022
Referência	Department for Transport (DFT)	<i>Transport analysis guidance</i>	2021	link	29 abr. 2022
Referência	Department for Transport (DFT)	<i>Transport analysis guidance (TAG)</i>	2020	link	14 abr. 2022
Referência	Department for Transport (DFT)	<i>TAG UNIT M2.1: Variable Demand Modelling</i>	2021	link	19 abr. 2022
Referência	Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL)	<i>Parâmetros de Custo-Benefício para projetos de infraestrutura de transportes</i>	2019	link	10 maio 2022
Referência	Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL) e Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)	<i>Metodologia EPL-IEMA para Emissões de GEE e Poluentes Locais: Acordo de Cooperação Técnica – EPL e IEMA</i>	2021	link	13 maio 2022
Referência	Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL)	<i>Metodologia da Análise de Custo-Benefício</i>	2019	link	13 maio 2022
Referência	European Commission (EC)	<i>Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020</i>	2015	link	13 abr. 2022
Referência	Ferreira	<i>Nota Técnica nº 75: Impactos socioeconômicos dos acidentes de transporte no Brasil no período de 2007 a 2018</i>	2020	link	10 maio 2022
Referência	Health & Safety Laboratory	<i>Quantifying the links between environmental noise related hypertension and health effects</i>	2011	link	--
Referência	HM Treasury	<i>The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation</i>	2022	link	11 abr. 2022

Pesquisa	Autores	Título	Ano	Link de acesso	Data de acesso
Referência	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)	<i>Início</i>	2022	link	13 maio 2022
Referência	Schroten e Bruyn	<i>Handbook on the external costs of transport</i>	2019	link	13 abr. 2022
Referência	Schreyer <i>et al.</i>	<i>External costs of transport: update study. Final report</i>	2004	link	19 abr. 2022
Referência	U.S. Department of Transportation	<i>The Value of Travel Time Savings: departmental guidance for conducting economic evaluations revision 2</i>	2014	link	14 abr. 2022
Referência	Victoria Transport Policy Institute (VTPI)	<i>Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications</i>	2011	link	18 abr. 2022
Referência	Waldron <i>et al.</i>	<i>2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>	2006	link	12 maio 2022
Referência	World Health Organization (WHO)	<i>Night Noise Guidelines for Europe</i>	2009	link	--
Referência	Wijnen <i>et al.</i>	<i>Crash cost estimates for European countries.</i>	2017	link	--
Sistêmica	Woldeamanuel, Obsie e Woldetensae	<i>Passengers' perception towards socioeconomic benefits of Addis Ababa light rail transit</i>	2021	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Carteni <i>et al.</i>	<i>A Cost-Benefit Analysis of a Fully-Automated Driverless Metro Line in a High-Density Metropolitan Area in Italy</i>	2019	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Chang, Yang e Dong	<i>Sustainability evaluation of high-speed railway (HSR) construction projects based on unascertained measure and analytic hierarchy process</i>	2018	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Cornet <i>et al.</i>	<i>Engaging multiple actors in large-scale transport infrastructure project appraisal: An application of mamca to the case of hs2 high-speed rail</i>	2018	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Coto-Millán <i>et al.</i>	<i>Externalities Analysis of Investments in Infrastructure: a Practical Approach</i>	2007	link	18 abr. 2022
Sistêmica	Coto-Millán, Casares e Inglada	<i>Economic assessment of railway policies: High speed or high-performance. A case of study</i>	2012	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Delucchi e McCubbin	<i>External Costs of Transport in the U.S.</i>	2010	link	18 abr. 2022
Sistêmica	Demir <i>et al.</i>	<i>A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing</i>	2015	link	18 abr. 2022
Sistêmica	Gilchrist e Allouche	<i>Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review</i>	2005	link	12 abr. 2022

Pesquisa	Autores	Título	Ano	Link de acesso	Data de acesso
Sistêmica	Lane e Sherman	<i>Using the kaldor-hicks tableau to assess sustainability in cost-benefit analysis in transport: An example framework for rail transit</i>	2013	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Martinez	<i>Calculation of Benefits of Advanced Integrated Rail Service: Application of Intelligent Transportation Systems to the Developing City of Lima, Peru</i>	2009	link	20 abr. 2022
Sistêmica	Miguel e Souza	<i>Avaliação Socioeconômica de Investimentos em Ferrovias de Carga: uma Aplicação Prática à Malha Paulista</i>	2019	link	2 maio 2022
Sistêmica	Petrucelli	<i>Assessment of external costs for transport project evaluation: Guidelines in some European countries</i>	2015	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Siciliano <i>et al.</i>	<i>Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services</i>	2016	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Sovacool, Kim e Yang	<i>The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities</i>	2021	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Tang, e Guan e Dou	<i>Understanding the impact of High Speed Railway on urban innovation performance from the perspective of agglomeration externalities and network externalities</i>	2021	link	19 abr. 2022
Sistêmica	Tirachini, Hensher, e Rose	<i>Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand</i>	2013	link	18 abr. 2022

Elaboração: LabTrans/UFSC (2022)

