



## **Análise comparativa do desempenho do ônibus no transporte de passageiros no trecho Rio de Janeiro x Niterói**

### ***Comparative analysis of the role of buses in passenger transportation on the Rio de Janeiro x Niteroi route***

(Débora de Souza Martins - debora\_souza@id.uff.br)

(Ilton Curty Leal Junior – Universidade Federal Fluminense - iltoncurty@id.uff.br)

(Ricardo Cesar da Silva Guabiroba - Universidade Federal Fluminense - ricardocesar@id.uff.br)

#### **Resumo**

O Brasil enfrenta questões econômicas, sociais, ambientais e climáticas preocupantes. Parte do problema é causado pelo transporte rodoviário nacional insustentável. Para o desenvolvimento de um modelo mais sustentável dessa modalidade de transporte, é necessário a ação dos agentes sociais envolvidos, principalmente do governo — desde a instância municipal até a federal. Tendo em vista que o ônibus é um dos transportes públicos mais utilizados pela população, esta pesquisa objetivou medir o seu desempenho comparado a outras modalidades de locomoção no trecho Rio de Janeiro x Niterói, a fim de verificar o impacto de ações de melhorias públicas e privadas no desempenho sustentável. Para isso, foram realizadas simulações que compararam dois cenários: (i) o desempenho original do ônibus; e (ii) o desempenho do ônibus com a implementação das melhorias que impactam nos resultados dos indicadores analisados. Foi possível observar que o desempenho do ônibus não apresentou resultados tão satisfatórios quanto o esperado. A partir dos resultados obtidos, pôde-se constatar que, apesar de o ônibus apresentar melhor desempenho em relação ao transporte individual, seu potencial de melhoria é inferior a outras modalidades de transporte coletivo.

**Palavras-chave:** Transporte público; Ônibus; Sustentabilidade; Simulação de Monte Carlo.

#### **Abstract**

*Brazil faces worrying economic, social, environmental and climate issues. Part of the problem is caused by unsustainable national road transportation. To develop a more sustainable model for this type of transport, action is needed from the social agents involved, especially the government (from the municipal to the federal level). This work aimed to measure bus performance compared to other public transport modes on the way between Rio de Janeiro x Niteroi, to verify the impact of public and private actions on the sustainable performance, once bus is one of the public transport modes most used by the population. To this end, simulations were carried out comparing two scenarios: (i) the original performance of the bus; and (ii) the performance considering the implementation of improvements in the results of the indicators analyzed. It was possible to observe that the performance of the bus did not present results as satisfactory as expected. From the results obtained, it was clear that, although the bus presents better performance in relation to individual transport, its potential for improvement is lower than other public transport modes.*

**Keywords:** Public transportation; Bus; Sustainability, Monte Carlo Simulation.

*Recebido em 07/03/2024*

*Revisado em 17/03/2024*

*Aceito em 23/08/2024*

## 1. Introdução

Com a ampliação do debate sobre sustentabilidade, alguns agentes sociais, como empresas, universidades e governos, começaram a envolver-se nessa pauta, tornando-a parte da meta global proposta pela Organização da Nações Unidas (ONU). Para tal, a organização desenvolveu e divulgou indicadores, ações e condutas que pudessem ser implementadas para aumentar a qualidade de vida da sociedade e diminuir o impacto negativo no meio ambiente (ONU, 2015).

O deslocamento e o transporte estão intimamente ligados à sustentabilidade; não apenas por serem um dos principais responsáveis pela emissão de gases poluentes nos grandes centros (Carvalho, 2011), mas também por promoverem a mobilidade em massa de pessoas e produtos (Araújo et al., 2011). Esse último ponto é essencial a partir do momento que se considera o investimento no bem-estar da população como parte das estratégias de sustentabilidade. Ao trazer o foco para o transporte rodoviário de passageiros, tais ações podem ter impactos ainda mais relevantes, dado que 92% da população brasileira utiliza esse meio de transporte (MME *apud* Leal Jr., 2021).

Considerando os argumentos descritos, as seguintes perguntas são pertinentes para o problema apresentado pela pesquisa: (1) Qual é o potencial de impacto de ações de sustentabilidade no desempenho do transporte de passageiros por ônibus? e (2) Qual é a melhoria do desempenho sustentável do ônibus em relação as demais alternativas de transporte, tendo em vista a implementação das ações de sustentabilidade?

Para responder às perguntas apresentadas, este artigo buscou levantar um conjunto de ações de sustentabilidade, a fim de avaliar e analisar os impactos de cada uma delas na curva de probabilidade do desempenho do transporte rodoviário de passageiros por meio do ônibus.

Além disso, para o desenvolvimento do presente trabalho, tomou-se como base Guimarães (2016), o qual utiliza a Simulação de Monte Carlo (SMC) para avaliar e comparar os diversos meios de transporte para passageiros disponíveis no trecho Rio de Janeiro x Niterói, no estado do Rio de Janeiro. Em sua análise, o autor considera o transporte por meio de barcas, motos e carros, além do ônibus — que será o enfoque deste artigo. Para complementar a base teórica e metodológica, foi utilizado o trabalho de Leal Jr. et al. (2023), uma vez que os autores propõem uma série de práticas sustentáveis para serem aplicadas no transporte rodoviário e, em seguida, avaliam o potencial de impacto das ações propostas na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, nos custos com acidentes e no uso de energia total (combustível).

Considerando o problema de pesquisa, os objetivos e o contexto apresentados, este estudo torna-se relevante não apenas por seu papel no desenvolvimento acadêmico, mas também por sua aplicabilidade prática no transporte de passageiros. Os resultados podem servir, ainda, de base para a tomada de decisão de gestores públicos e privados na melhoria do transporte público.

O presente trabalho desenvolve, além da introdução, as seguintes fases: referencial teórico, em que serão debatidas as questões específicas ao tema, levantadas previamente por outros autores; metodologia, em que serão abordados os indicadores selecionados para a análise, bem como a SMC; análise e discussão dos resultados, em que buscará compreender os



cenários gerados pelas análises e quais os seus potenciais de impacto; e, por fim, as considerações finais e o referencial bibliográfico.

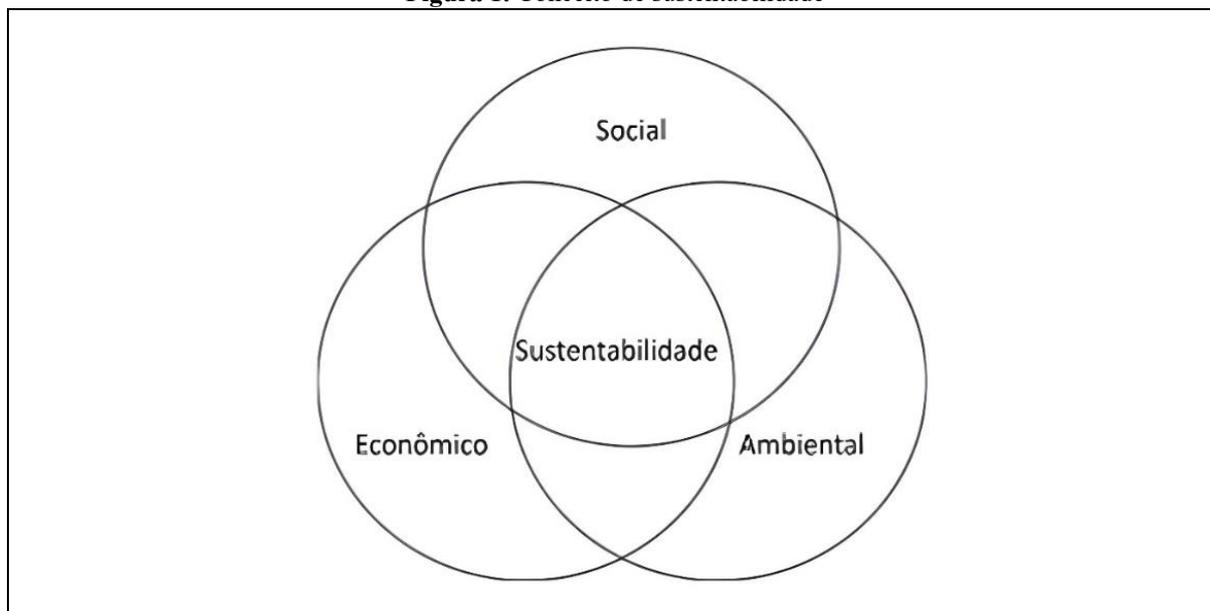
## 2. Referencial teórico

Esta seção é dedicada ao aprofundamento do arcabouço teórico que fundamenta a presente pesquisa e conta com duas subseções. Na primeira, explora-se o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade; na segunda, dedica-se à compreensão dos artigos selecionados e de como eles se relacionam com o conceito de sustentabilidade ao transporte rodoviário.

### 2.1. Contextualização da sustentabilidade e seus principais aspectos

A partir da Conferência de Estocolmo, promovida pela ONU em 1972, os primeiros passos foram dados em direção ao desenvolvimento do conceito e da aplicação da sustentabilidade (BNDES, 2021). Em 1994, John Elkington, fundador da consultoria britânica *Sustainability*, criou o conceito chamado *Triple Bottom Line* (em português, “tripé da sustentabilidade”), que estabeleceu os três pilares da sustentabilidade, sendo eles: econômico, ambiental e social. Conforme Figura 1.

Figura 1. Conceito de sustentabilidade



Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir da sua publicação, foram definidos os aspectos sobre os quais se pauta a sustentabilidade — e que são a base das ações analisadas no presente trabalho.

Em 1992, aconteceu a Agenda 21; o tratado foi o primeiro compromisso internacional para a sustentabilidade, formalizando um pacto entre 100 países, entre eles, o Brasil. Tais tratados foram revistos, em 2012, durante o Rio+20, em que 188 países se comprometeram com medidas que visavam a erradicação da pobreza, emprego digno, crescimento econômico e

energia acessível e limpa para o desenvolvimento sustentável. Também existem projeções para o futuro, como o *Race to Zero*, uma campanha global da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), em 2019, que busca envolver empresas, cidades, investidores, entre outros agentes, para um objetivo comum: zerar a emissão líquida de CO<sub>2</sub> até 2050 (BNDES, 2021).

No cenário atual do Brasil, 85,7% do transporte público de passageiros é feito por ônibus, o equivalente a 33,5 milhões de passageiros diários. No entanto, dos 2.867 municípios brasileiros atendidos por esse transporte, apenas 20,8% utilizam o Plano Municipal de Transporte (PMT) — documento que estrutura o transporte público coletivo, a circulação de carros e pedestres, a acessibilidade para pessoas com deficiência e a integração do transporte público com o privado, entre outros, de acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU, 2023).

As empresas de transporte por ônibus enfrentam desafios ligados tanto à parte técnica da aplicação de medidas de integração, na organização, como também em aspectos ligados à etapa metodológica de elaboração do Plano Municipal (Machado & Piccini, 2018).

As ações de sustentabilidade descritas nas seções seguintes atuam, justamente, como medidas aplicáveis para diminuir os desafios enfrentados no transporte por ônibus, de acordo com a viabilidade para cada caso e contexto, reforçando a necessidade do desenvolvimento de ações sustentáveis voltadas ao transporte rodoviário.

## 2.2. Análise a respeito dos estudos relacionados ao tema

Nesta seção, buscou-se compreender como aplicar o tripé da sustentabilidade — social, ambiental e financeiro — ao transporte público rodoviário de passageiros, por meio de ações que possam melhorar os índices de sustentabilidade. A Tabela 1 contém os resultados mais relevantes provenientes da pesquisa bibliográfica realizada, em especial, dos materiais utilizados como base metodológica. Da mesma forma, apresenta os trabalhos que propõem as ações para a simulação e obtenção dos novos potenciais de impacto. Vale destacar que alguns trabalhos pesquisados focam no transporte de carga, mas determinadas ações podem ser adaptadas ao contexto do transporte de passageiros.

**Tabela 1.** Referencial teórico relacionado ao tema de pesquisa

Título	Autores	País	Objetivo	Enfoque	Potencial de Impacto
<i>Probabilistic evaluation of truck transport performance based on ecoefficiency measures in Brazil</i>	Leal Jr. et al. (2023)	Brasil	Estimar probabilisticamente o desempenho da ecoeficiência no transporte rodoviário de caminhões, propondo soluções na área de tecnologia e gestão, tanto pública quanto privada.	Econômico e ambiental	Existem os seguintes grupos de ações e as porcentagens que representam seu potencial de impacto: redução na emissão de CO <sub>2</sub> (17% a 80%); redução no custo com acidentes e redução no índice de acidentes (3% a 10%); e redução do



Título	Autores	País	Objetivo	Enfoque	Potencial de Impacto
					consumo total de energia (1% a 20%).
Análise operacional de ônibus elétricos a bateria em São Paulo	Rebouças, Daniel e Delgado (2022)	Brasil	Avaliar o desempenho da implementação do projeto de eletrificação das frotas de ônibus na cidade de São Paulo.	Ambiental	O relatório apresenta simulações em que a redução de consumo de energia total seria de 28% em comparação ao ônibus à diesel, bem como a emissão de CO <sub>2</sub> zerada, por consumir uma fonte de energia 100% renovável.
<i>Use of event data recorder systems as a basis for the development and application of training procedures focusing on safety, operational and economical aspects for road freight transportation: an application and analysis approach</i>	Oliveira (2021)	Brasil	Avaliar como a capacitação profissional e o informe de feedback baseado no sistema <i>Event Data Recorder</i> (EDR), podem impactar o comportamento e o padrão de condução de motoristas profissionais nos critérios de segurança, operação e economia.	Econômico	O estudo levanta que, dentro dos cenários propostos, houve redução média do consumo de combustível, sendo que a comparação entre as duas primeiras fases de monitorização atingiu 5,34% de melhoria na eficiência dos veículos.
Covid-19 e o transporte público por ônibus: Impactos no setor e ações realizadas	NTU (2020)	Brasil	Analisar os reflexos da pandemia gerados em 279 sistemas de transporte ao redor do Brasil.	Ambiental	O relatório dedica o capítulo quatro à proposição de ações de apoio aos sistemas de transporte analisados, como por exemplo: fornecimento de óleo diesel direto das distribuidoras, a fim de causar uma redução de custo de até 50% e proposição do Programa Emergencial “Transporte Social”.
Plano Nacional de Energia	EPE (2020)	Brasil	Elaborar estratégias que atendam aos critérios de segurança energética,	Ambiental	O relatório não apresenta valores que podem ser



Título	Autores	País	Objetivo	Enfoque	Potencial de Impacto
			retorno adequado aos investimentos, disponibilidade de acesso à população e cumprimento de critérios socioambientais.		considerados como medida do potencial de impacto.
Como ter um transporte público eficiente, barato e com qualidade na sua cidade.	ANTP (2019)	Brasil	Propor ações de melhoria para diversos meios de transporte nas cidades brasileiras.	Ambiental	O relatório não apresenta valores condicionados às ações levantadas.
Implantação de faixa exclusiva para ônibus na BR-282/ Via Expressa: Resumo dos benefícios aos usuários do transporte público	UFSC (2019)	Brasil	Condensar as ações implementadas na nova via expressa e os impactos das ações para a população.	Social	Aumento de aproximadamente 20 km na velocidade média em períodos de congestionamento; aumento na população atendida, gerando um fluxo 12 vezes maior do que seria possível de automóvel.
Avaliação da Sustentabilidade nos Serviços de Transporte Coletivo com Base em Indicadores de Manutenção Veicular	Melo (2019)	Brasil	Avaliar como o conceito de sustentabilidade tem influenciado as práticas de manutenção nos serviços de transporte urbano de passageiros, especificamente do modo de transporte por ônibus.	Econômico	No capítulo quatro, que trata dos resultados, são apresentadas algumas medidas quantitativas, mas elas são referentes à análise das empresas que é realizada no trabalho. Algumas ações de melhoria são levantadas, mas não existem informações quantitativas que poderiam ser utilizadas como medida do potencial de impacto.
Logística dos Transportes no Brasil	IBGE (2019)	Brasil	Transmitir os dados sobre principais estruturas de transporte do país.	Social	A nota técnica reúne temas importantes para a análise da logística do território nacional. Portanto, seus valores quantitativos sustentam a análise realizada, mas não existem valores que podem ser considerados como medida do potencial de impacto.



Título	Autores	País	Objetivo	Enfoque	Potencial de Impacto
<i>Evaluating the sustainability of urban passenger transportation by Monte Carlo simulation</i>	Guimarães, Leal Jr e Vieira da Silva (2018)	Brasil	Avaliar o desempenho de alternativas de transporte de passageiros aplicando simulação de Monte Carlo a aspectos econômicos, sociais e ambientais indicadores	Econômico, Social e Ambiental	Apresentam-se os seguintes grupos de ações, conforme os agentes em enfoque: Redução na emissão de CO <sub>2</sub> (17 a 80% e 5 a 32%), Redução no custo de acidente (3 a 10%, 6 a 56% e 10 a 90%), Redução no consumo de energia (1 a 20% e 5 a 35%).
Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - SIMOB/ANTP	SIMOB/ANTP (2018)	Brasil	Levantar os dados pertinentes ao sistema de mobilidade nacional, tendo como principais indicadores como o índice de viagens e divisão modal.	Social	O relatório se propõe a apresentar os dados do SIMOB/ANTP relativos ao ano de 2018 e não levanta valores do potencial de impacto.
Avaliação do desempenho sustentável das alternativas de transporte urbano de passageiros	Guimarães (2016)	Brasil	Possibilitar a avaliação do desempenho das alternativas de transporte urbano de passageiros no percurso Rio-Niterói, considerando os aspectos da sustentabilidade.	Social	A tese apresenta ações para cada cenário traçado, mas não apresenta números ou porcentagens a respeito da aplicação dessas melhorias na prática.
<i>Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning</i>	Litman (2015)	Canadá	Desenvolver indicadores relacionados a sustentabilidade.	Ambiental	Não é possível identificar medidas quantitativas para o potencial de impacto deste trabalho, pois a proposta do mesmo é o levantamento de indicadores a serem utilizados em outros projetos.
Análise da ecoeficiência de um sistema de transporte público urbano de passageiros	Bermond (2015)	Brasil	Estimar a ecoeficiência do transporte público por meio de indicadores previamente selecionados.	Ambiental	Baseado nas Figuras 10 e 11 do estudo, é possível verificar reduções gradativas nas emissões de CO e MP, que reduziram em aproximadamente 87% e 95%.



Título	Autores	País	Objetivo	Enfoque	Potencial de Impacto
Ações de ecoeficiência para melhoria do desempenho no transporte rodoviário de produtos perigosos	Leal Jr e D'Agosto (2012)	Brasil	Avaliar os resultados econômicos e ambientais a partir da implantação de melhorias no transporte rodoviário.	Econômico	Levantam-se as seguintes ações com os maiores potenciais de impacto: Uso de biocombustível (70% a 80%); Uso de motores com gerenciamento eletrônico (30%); e Implantação de programa de conservação e manutenção de veículos (24%).
Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos	Carvalho (2011)	Brasil	Divulgar o resultado dos estudos realizados pelo IPEA.	Ambiental	No relatório não há valores que possam ser considerados como critério do potencial de impacto.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os enfoques levantados na Tabela 1 foram baseados em cada um dos pilares que fundamentam a sustentabilidade. Percebe-se que grande parte dos trabalhos analisados, apresentam um enfoque ambiental, seguido do fator econômico e, por último, o social.

No tocante ao enfoque ambiental, nota-se que são, em sua maioria, relatórios de organizações governamentais, os quais avaliam e medem as consequências dos comportamentos de transporte do panorama nacional (ANTP, 2019; IBGE, 2019; EPE, 2020; Carvalho, 2011). Neste caso, Litman (2015) destaca-se como exceção, uma vez que se dedica ao desenvolvimento de indicadores sustentáveis.

Referente ao enfoque econômico, Leal Jr. e D'Agosto (2012) tratam a respeito da redução no consumo de combustível e do número de acidentes, da utilização de biodiesel e, também, das alterações nos valores de frete, a partir da implantação de ações que, além de melhorar os resultados econômicos, avançam nas questões ambientais do transporte rodoviário. Os resultados demonstram que todas as alternativas podem ser melhoradas a partir da aplicação de medidas de sustentabilidade.

Em Oliveira (2021), é utilizado o sistema *Event Data Recorder* (EDR) para avaliar o impacto da capacitação dos motoristas no custo com manutenção veicular, tendo como principais indicadores a eficiência energética e segurança, em conjunto ao próprio custo. Os resultados da tese demonstram que há impactos positivos nos treinamentos adotados com os motoristas das empresas entrevistadas.

No que concerne ao tópico social, destaca-se o relatório do IBGE (2019), que apresenta as condições de transporte do Brasil e a sua distribuição geográfica. Neste, pode-se verificar



uma predominância das regiões Sul-Sudeste e da região Centro-Oeste, pois estas concentram maiores malhas de diferentes meios de transporte, mas, principalmente, do rodoviário e ferroviário.

Os trabalhos de Rebouças, Daniel e Delgado (2022), NTU (2020), UFSC (2019), Guimarães, Leal Jr e Silva (2018) e Guimarães (2016) abordam ações que podem ser implementadas para melhoria do transporte rodoviário de passageiros e a quantificação do potencial de impacto de cada uma delas.

Apesar da Tabela 1 apresentar os enfoques de maneira individual, é possível verificar que existem intersecções entre eles. Da mesma maneira, é possível encontrar combinações entre os enfoques ambiental/social, econômico/ambiental e social/econômico (Leal Jr. et al., 2023; ANTP, 2018; EPE, 2020; Carvalho, 2011, Guimarães, Leal Jr e Silva, 2018; Guimarães, 2016).

Ao comparar as produções acadêmicas relacionadas ao transporte rodoviário de carga com as de transporte de passageiros, é possível encontrar convergências no que concerne aos indicadores selecionados, como, por exemplo, a redução no consumo de energia e descarbonização, pois os veículos (caminhão e ônibus) são similares em relação à emissão de poluentes atmosféricos, o que resulta em ações semelhantes na busca de um potencial significativo de impacto. Entretanto, estes divergem em relação aos seus enfoques, pois existe um fator social muito mais evidente quando se trata do transporte de passageiros, já que os consumidores finais do serviço têm contato direto com o processo de condução (Leal Jr. & D'Agosto, 2012; Leal Jr. et al., 2023; Guimarães, 2016; Oliveira, 2021; Melo, 2019; Bermond, 2015).

Os artigos tratam de vieses distintos do transporte rodoviário de passageiros. Guimarães (2016) apresenta uma perspectiva voltada à intermodalidade; Melo (2019) apresenta uma ótica mais econômica, com a missão de compreender o impacto dos treinamentos na manutenção veicular; e Bermond (2015), por sua vez, também trata de custos, mas com o objetivo de analisar a eficiência do transporte público.

### 3. Metodologia

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. Para isso, o capítulo foi dividido nas seguintes subseções: classificação da pesquisa, a qual dedica-se a destacar a natureza, a abordagem e o procedimento técnico da pesquisa; resumo das etapas do procedimento metodológico; e levantamento de dados.

#### 3.1. Classificação da pesquisa

Na Tabela 2, é apresentada a classificação da pesquisa e o motivo para cada tipo de pesquisa proposto.

**Tabela 2.** Classificação da pesquisa

<b>Tipo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Definição e motivo para enquadramento da pesquisa</b>
<b>Natureza</b>	Aplicada	Os trabalhos de natureza aplicada configuram-se como uma pesquisa de conhecimento prático a respeito do tema proposto (Silva, 2005). Uma vez que a simulação gera resultados concretos a respeito dos indicadores propostos e como são postos em prática, esse processo se enquadra nesta pesquisa. Esses resultados podem afetar positivamente as métricas de sustentabilidade.
<b>Abordagem</b>	Quantitativa	As pesquisas de abordagem quantitativa são destinadas às pesquisas que utilizam métricas diversas, como porcentagem, média, moda e outras para demonstrar os resultados (Silva, 2005). Neste trabalho, isso aplica-se uma vez que os indicadores analisados são representados por valores numéricos, os quais serão recalculados na simulação a fim de obter valores quantificáveis para o potencial de impacto.
<b>Procedimento técnico</b>	Análise Relacional Grey (GRA)	A teoria consiste que dados, tais como as características operacionais, mecanismos, estruturas e comportamento de um determinado sistema, são tidos como deterministas e parcialmente conhecidos (Duum & Garcia, 2017, p. 2). Para a aplicação neste trabalho, a Análise Relacional Grey foi utilizada como técnica de normalização e agregação de dados, tratando-os a partir dos indicadores e os padronizando numa escala entre 0 e 1, em que o zero representa o pior resultado e o um representa o melhor. Dessa forma, os dados com medidas diversas puderam ser comparados entre si e seguir para a etapa de simulação.
	Simulação de Monte Carlo (SMC)	É uma ferramenta para a simulação de probabilidade múltipla. O algoritmo emprega a amostragem aleatória repetida para obter a probabilidade de ocorrência de uma série de resultados, indo além de um modelo de previsão normal, porque contempla um conjunto de resultados com base em um intervalo de valores estimados em relação a um conjunto de valores de entrada fixos. É desenvolvido um modelo que prevê resultados possíveis, utilizando uma distribuição de probabilidade, como uma distribuição uniforme ou normal, para qualquer variável que possua incerteza inerente. Conforme a quantidade de dados aumenta, as previsões também crescem, permitindo projetar resultados mais distantes no tempo e com maior precisão (IBM, 2023). Ao concluir uma Simulação de Monte Carlo, são gerados diversos resultados possíveis com a probabilidade de ocorrência de cada um e, assim, obtêm-se os valores quantitativos a serem utilizados como potencial de impacto.

Fonte: Elaboração própria (2023).

A natureza, a abordagem e o procedimento técnico definiram as linhas gerais para que este artigo prosseguisse aos procedimentos metodológicos, auxiliando o desenvolvimento das etapas seguintes.

### 3.2. Procedimento metodológico e suas etapas

Nesta seção, buscou-se aprofundar os processos específicos do desenvolvimento deste artigo. A Tabela 3 foi desenvolvida para a demonstração de cada passo, assim como as respectivas saídas produzidas.



**Tabela 3.** Acompanhamento das etapas e suas saídas

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Subetapa</b>	<b>Saída</b>
1. Pesquisa bibliográfica	Dedicou-se ao aprofundamento conceitual no tema.	1.1. Estudo e análise dos artigos base; 1.2. Pesquisa de material complementar.	Métodos e abordagens necessários para desenvolver a pesquisa para a construção da Tabela 1.
2. Levantamento de dados	A partir da literatura apresentada na Tabela 1 e de Guimarães (2016) foram levantados os dados necessários.	2.1. Aplicação dos potenciais de impacto nos valores base de Guimarães (2016); 2.2. Delimitação de indicadores para a SMC.	Material e dados para análise.
3. Implementação da Análise Relacional Grey	Pré-processamento dos dados para uniformização das medidas dos indicadores.	3.1. Uso da técnica, preparando os valores para a simulação.	Sistematização e padronização dos dados levantados.
4. Aplicação da SMC	Desenvolvimento prático dos cenários e suas combinações a partir do programa @RISK.	4.1. Reconhecimento das funcionalidades do @RISK; 4.2. Parametrização do programa; 4.3. Simulação dos cenários.	Construção e definição dos cenários das Tabelas 4 e 5, e das curvas de desempenho geradas das Figuras 2, 3, 4, 5.
5. Análise dos resultados	Partindo da etapa anterior, verificou-se o potencial de impacto das ações de sustentabilidade propostas e suas influências na sociedade.	5.1. Verificação de maneira quantitativa da variação no potencial de impacto; 5.2. Comparação entre os resultados dos cenários.	Diferenciação entre modelos de desenvolvimento e resultados alcançados.

Fonte: Elaboração própria (2023).

### 3.2.1. Pesquisa bibliográfica

Para a obtenção dos artigos que compõem o referencial teórico, realizou-se pesquisa bibliográfica com foco no termo “sustentabilidade no transporte”, direcionados à busca na plataforma do periódico CAPES. Não foram utilizados filtros em relação à data de publicação. A partir desses resultados, determinou-se os artigos relevantes para o tema. Além disso, selecionou-se os relatórios dos órgãos competentes relacionados à área de transporte, energia, meio ambiente e sustentabilidade para contribuir no arcabouço teórico.

### 3.2.2. Levantamento de dados

Analisando a base metodológica da dissertação de Guimarães (2016), verificou-se que a utilização do método proposto por Guimarães e Leal Jr. (2016) para analisar o transporte de passageiros, utilizando, também, um conjunto de ações combinadas. Porém, é avaliado sob o ponto de vista intermodal, ou seja, aplicado a todos os tipos de transporte público disponíveis no trecho Rio de Janeiro x Niterói. Embora o escopo deste artigo trate especificamente do transporte rodoviário de passageiros, o trabalho de Guimarães é essencial para compreender o cenário geral do transporte de passageiros, além de contribuir para a construção de uma base sólida para a comparação do desempenho do ônibus.

Segundo o autor, o transporte por ônibus ocupa o 1º lugar no *ranking* das alternativas do trecho analisado do cenário base, mas está em penúltima posição no cenário otimista. Isso demonstra que esses tipos de transporte têm performances divergentes e devem receber uma gestão efetiva para que desempenhem seu papel de maneira sustentável. Também são apresentados os principais fatores para a queda de desempenho dessa modalidade, como o tempo de uso elevado e uso de combustível fóssil. Como sugestão de medidas, é possível implementar o uso de combustíveis alternativos e desenvolver processos para a melhoria nos terminais e pontos de embarque (Guimarães, 2016).

O objetivo é selecionar o recorte aplicável a este trabalho — do transporte público rodoviário por ônibus — para estabelecer uma base de comparação aos resultados obtidos nas análises desenvolvidas, exclusivamente, para este artigo. Para tal, foi elaborada a Tabela 4, adaptando a metodologia aplicada em Guimarães (2016) ao presente estudo.

No trabalho de Leal Jr. et al. (2023) é proposto um conjunto de cerca de 40 ações, subdivididas em três grupos: redução na emissão de CO<sub>2</sub>, redução no custo com acidentes e redução no consumo total de combustível, presentes na Tabela 2. Cada ação também pode ser classificada como tecnológicas ou de gestão (pública e privada). A partir dessas ações, é possível quantificar o potencial de impacto das ações individuais e do grupo de ações combinadas, mediante a definição de valores determinados para compor cenários: otimista, usual e pessimista. Os resultados demonstram que as medidas para a diminuição de CO<sub>2</sub> que envolvem o uso de tecnologia apresentam maiores potenciais de impacto, assim como as ações de gestão pública. A análise das ações individuais que apresentam um maior potencial de impacto pode servir tanto para a implementação de políticas públicas eficientes, como para analisar a viabilidade financeira de cada uma e o seu impacto ambiental. Dessa forma, contempla todos os pilares da sustentabilidade, conforme apresentado na introdução.

O presente trabalho apresenta, nas Tabelas 4 e 5, uma estrutura baseada na desenvolvida por Leal Jr. et al. (2023) para o desenvolvimento das mesmas, buscando averiguar qual será o comportamento dos resultados, uma vez alterados pelas ações de sustentabilidade selecionadas, sendo elas: redução da emissão de CO<sub>2</sub> (Guimarães, Leal Jr., & Silva, 2018); aumento na taxa de ocupação dos ônibus (UFSC, 2019); uso de ônibus elétrico (Rebouças, Daniel, & Delgado, 2022); uso de faixa exclusiva (NTU, 2022).

### 3.2.3. Implementação da GRA

Nesta etapa, optou-se por selecionar indicadores que impactassem no transporte de passageiros em que as ações seriam implementadas dentro dos três enfoques da sustentabilidade. A Tabela 4 apresenta o que foi desenvolvido por Guimarães (2016), tratado como cenário base.

**Tabela 4.** Cenário base – dados originais obtidos de Guimarães (2016)

Ambiental									
Consumo de energia total			Consumo energia renovável			Emissão de CO <sub>2</sub> -e			
[MJ/pass/viagem]			[MJ/pass/viagem]			[kg/pass/viagem]			
ID	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
A1	57,05767	39,37237	9,0621	10,71966	7,397048	1,702534	3983,021	2748,465	632,5975
A2	60,55508	41,37765	9,405363	60,55508	41,37765	9,405363	3659,641	2500,655	568,4123
A3	16,48095	13,79604	5,555561	3,096344	2,591918	1,043746	1150,501	963,0723	387,822
<b>A4</b>	<b>13,51606</b>	<b>5,678435</b>	<b>2,064954</b>	<b>0,624478</b>	<b>0,262359</b>	<b>0,095406</b>	<b>1027,446</b>	<b>431,6556</b>	<b>156,9709</b>
A5	23,19997	6,441354	1,995537	0	0	0	1797,967	499,1963	154,6514
Econômico									
Custo total			Receita Governamental (Imposto)						
[R\$/pass/viagem]			[R\$/pass/viagem]						
ID	Min.	Med.	Max	Min.	Med.	Max.			
A1	620,2869	145,0525	1,069127	0,347661	0,17192	0,019866			
A2	621,9769	145,9817	1,228192	0,347661	0,17192	0,019866			
A3	388,1415	98,69	0,65084	0,052817	0,045272	0,018863			
<b>A4</b>	<b>7,35</b>	<b>5,9</b>	<b>4,9</b>	<b>0,856275</b>	<b>0,68735</b>	<b>0,57085</b>			
A5	5	3,8	3,5	0,462	0,35112	0,3234			
Social									
Tempo total de viagem			Segurança						
[h/pass/viagem]			[qtd/pass]						
ID	Min.	Med.	Max.	Min.	Med	Max.			
A1	1,285	0,585	0,295714	0,05763	0,055951301	0,054273			
A2	1,285	0,585	0,295714	0,05763	0,055951301	0,054273			
A3	0,664	0,47	0,295714	0,77361	0,751077586	0,728545			
<b>A4</b>	<b>2,6257</b>	<b>1,013429</b>	<b>0,634</b>	<b>0,0206</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0194</b>			
A5	1,115964	0,744033	0,214269	1,31E-05	1,27E-05	1,23E-05			

Notas: A1 - Carro gasolina; A2 - Automóvel etanol; A3 - Motocicleta gasolina; A4 - Ônibus (B5); A5 - Barca (combustível marítimo).

Fonte: Guimarães (2016).

Para que houvesse um modo de comparar os três enfoques da sustentabilidade de maneira semelhante, foi necessário que os dados passassem por um tratamento. Dentro do



enfoque ambiental, foram selecionados os indicadores: consumo de energia total, consumo de energia renovável e emissão de CO<sub>2</sub>-e, os quais, entre si, apresentam medidas de cálculos divergentes. Esses indicadores diferenciam-se das medidas de cálculo para os dados dos indicadores do enfoque econômico: custo total e receita governamental. A mesma situação se repete nos indicadores do enfoque social escolhidos: tempo total de viagem e segurança.

Ao seguir a etapa de simulação, os indicadores seriam comparados entre si. No entanto, matematicamente, é impossível, pois os dados possuem medidas diferentes. Para que fossem uniformizados e pudessem ser comparados uns aos outros, dando prosseguimento às etapas do presente artigo, os valores foram tratados pela técnica da GRA.

Os resultados se concentram no intervalo entre 0 e 1, onde zero é a representação do pior desempenho possível e o um representa o cenário ideal, com o melhor resultado possível; dessa forma, podem se concentrar de diversas maneiras nesse intervalo, com foco ou não em determinados valores.

A aplicação da GRA pode ser dividida em quatro etapas: (1) coleta e consolidação dos dados; (2) normalização, baseada em critérios (quanto maior o valor, melhor; quanto menor o valor, melhor; quanto mais próximo ao valor de referência, melhor); (3) cálculo do Coeficiente Relacional Grey, com base na matriz de distância e nos pesos associados; e (4) estabelecimento dos graus de relacionamento Grey. Para o presente trabalho, apenas as etapas (1) e (2) foram desenvolvidas.

Dessa forma, seja um conjunto de observações  $\{X_0^{(0)}, X_1^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}\}$ , onde  $X_0^{(0)}$  é a observação referencial e  $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}$  são observações originais a serem comparadas. Cada observação  $X_i$  possui  $n$  medidas que são descritas sob a forma de séries  $X_i = \{X_i^{(0)}(k), \dots, X_m^{(0)}(n)\}$ , em que cada componente dessa série, antes de qualquer operação, é normalizado conforme as Equações 1 e/ou 2.

Se quanto maior o valor, melhor ou mais desejável, por exemplo, o lucro, aplica-se a Equação 1.

### Equação 1.

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min_{\forall i} (x_i^{(0)}(k))}{\max_{\forall i} (x_i^{(0)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(0)}(k))} \quad \text{para } i: 0 \dots m, \quad k: 1 \dots n$$

Se quanto menor o valor, melhor ou mais desejável (por exemplo, o custo), aplica-se a Equação 2.

### Equação 2.

$$x'_i(k) = \frac{\max_{\forall i} (x_i^{(0)}(k)) - x_i^{(0)}(k)}{\max_{\forall i} (x_i^{(0)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(0)}(k))} \quad \text{para } i: 0 \dots m, \quad k: 1 \dots n$$

Onde:  $x'_i(k)$  é o valor normalizado de uma medida  $k$  para uma observação original  $x_i^{(0)}$ .



A série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis, representa o estado desejado para qualquer série em análise, sendo representada por  $x_0$ . Os valores desejados são iguais a 1. Essa é uma abordagem alternativa para os casos em que o parâmetro (medida ou indicador) de referência não é facilmente encontrado ou difícil de ser calculado (Guimarães, Leal Jr e Vieira da Silva, 2018).

A partir da normalização, foi realizada uma média ponderada das medidas para alcançar o índice de sustentabilidade, por meio da aplicação da Equação 3.

#### Equação 3.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

Onde:  $x_i$  refere-se aos valores de cada alternativa em cada medida; e  $f_i$  refere-se aos pesos associados a cada medida. O objetivo é avaliar como cada ação isolada, levantada nos materiais, impactaria os resultados obtidos anteriormente, a fim de visualizar implicações positivas ou negativas, potencialmente geradas, e se essas implicações foram significativas para os agentes envolvidos, passando por empresas, governo e sociedade.

Além do cenário apresentado na Tabela 4, foi desenvolvido um novo cenário, em que as ações de melhoria foram aplicadas e os indicadores recalculados a partir das porcentagens levantadas em pesquisa bibliográfica apresentada na Tabela 1. Os valores do cenário base (Tabela 4) e os valores com a aplicação das ações de melhorias (Tabela 5), após tratamento com a GRA, foram utilizados para a aplicação da Simulação de Monte Carlo - SMC.

#### 3.2.4. Aplicação da SMC

A SMC foi concebida pelos cientistas John Von Neumann e Stanislaw Ulam, e designa uma classe de técnicas estatísticas que se baseiam em amostragens aleatórias massivas para obter resultados numéricos (Paula, 2014).

Com os dados devidamente normalizados pela GRA, foi possível a aplicação da SMC. Para a simulação com os dados dos dois cenários foram realizadas 100.000 iterações, de forma que fosse possível gerar a curvas de probabilidades considerando a agregação dos dados, conforme a equação 3.

### 4. Resultados

Seguindo as etapas descritas na seção anterior, os dados do cenário base foram alterados para gerar os valores dos indicadores considerando as ações de melhoria para o transporte rodoviário.

Os valores dos indicadores foram recalculados, com base nos dados coletados nos trabalhos que constam na Tabela 1. Dentre os escolhidos, destaca-se NTU (2022), que indica uma redução de 25% na oferta de serviços de transporte público por ônibus causados pela pandemia da Covid-19. Esse resultado foi incluído no novo cenário impactando em um aumento de 25% da taxa de ocupação mínima por viagem, uma vez que é considerada a mesma quantidade de passageiros utilizando esse serviço. Também foi implementada uma melhoria

referente à faixa exclusiva, a qual apresentou benefícios aos passageiros, de acordo com a UFSC (2019), pois influenciou no tempo de viagem, sendo capaz de igualar automóveis e ônibus na análise desenvolvida.

Outra ação incluída na nova simulação foi o uso de ônibus elétricos. Eles possuem dois impactos positivos, segundo a literatura: (1) o consumo de energia total, 28% menor comparado a um ônibus regular, e (2) a capacidade de zerar a emissão de CO<sub>2</sub> (Rebouças; Daniel & Delgado, 2022). Cabe destacar que essas ações foram escolhidas por conveniência, devido a disponibilidade dos dados e aplicabilidade ao caso estudado.

Os resultados dos indicadores dos outros modos de transporte foram mantidos da Tabela 4 para a Tabela 5, considerando que os mesmos não tiveram nenhuma alteração. Com a aplicação da GRA, os dados normalizados se alteram quando as equações 1 e 2 são aplicadas, já que a normalização é feita de modo relativo à série de dados considerada para cada indicador.

**Tabela 5.** Cenário recalculado com a aplicação das ações de melhoria

Ambiental									
Consumo de energia total			Consumo energia renovável			Emissão de CO <sub>2</sub> -e			
[MJ/pass/viagem]			[MJ/pass/viagem]			[kg/pass/viagem]			
ID	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
A1	57,05767	39,37237	9,0621	10,71966	7,397048	1,702534	3983,021	2748,465	632,5975
A2	60,55508	41,37765	9,405363	60,55508	41,37765	9,405363	3659,641	2500,655	568,4123
A3	16,48095	13,79604	5,555561	3,096344	2,591918	1,043746	1150,501	963,0723	387,822
<b>A4</b>	<b>3,0275</b>	<b>1,5899</b>	<b>0,5781</b>	<b>3,027597</b>	<b>1,589961</b>	<b>0,578187</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
A5	23,19997	6,441354	1,995537	0	0	0	1797,967	499,1963	154,6514
Econômico									
Custo total				Receita Governamental (Imposto)					
[R\$/pass/viagem]				[R\$/pass/viagem]					
ID	Min.	Med.	Max	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
A1	620,2869	145,0525	1,069127	0,347661	0,17192	0,019866			
A2	621,9769	145,9817	1,228192	0,347661	0,17192	0,019866			
A3	388,1415	98,69	0,65084	0,052817	0,045272	0,018863			
<b>A4</b>	<b>7,35</b>	<b>5,9</b>	<b>4,9</b>	<b>0,856275</b>	<b>0,68735</b>	<b>0,57085</b>			
A5	5	3,8	3,5	0,462	0,35112	0,3234			
Social									
Tempo total de viagem				Segurança					
[h/pass/viagem]				[qtd/pass]					
ID	Min.	Med.	Max.	Min.	Med	Max.	Min.	Med	Max.
A1	1,285	0,585	0,295714	0,05763	0,055951301	0,054273			
A2	1,285	0,585	0,295714	0,05763	0,055951301	0,054273			
A3	0,664	0,47	0,295714	0,77361	0,751077586	0,728545			
<b>A4</b>	<b>1,5907</b>	<b>0,882</b>	<b>0,584714</b>	<b>0,0206</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0194</b>			

A5	1,115964	0,744033	0,214269	1,31E-05	1,27E-05	1,23E-05
----	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Notas: A1 - Carro gasolina; A2 - Automóvel etanol; A3 - Motocicleta gasolina; A4 - Ônibus (B5); A5 - Barca (combustível marítimo)

Fonte: Elaboração própria (2023).

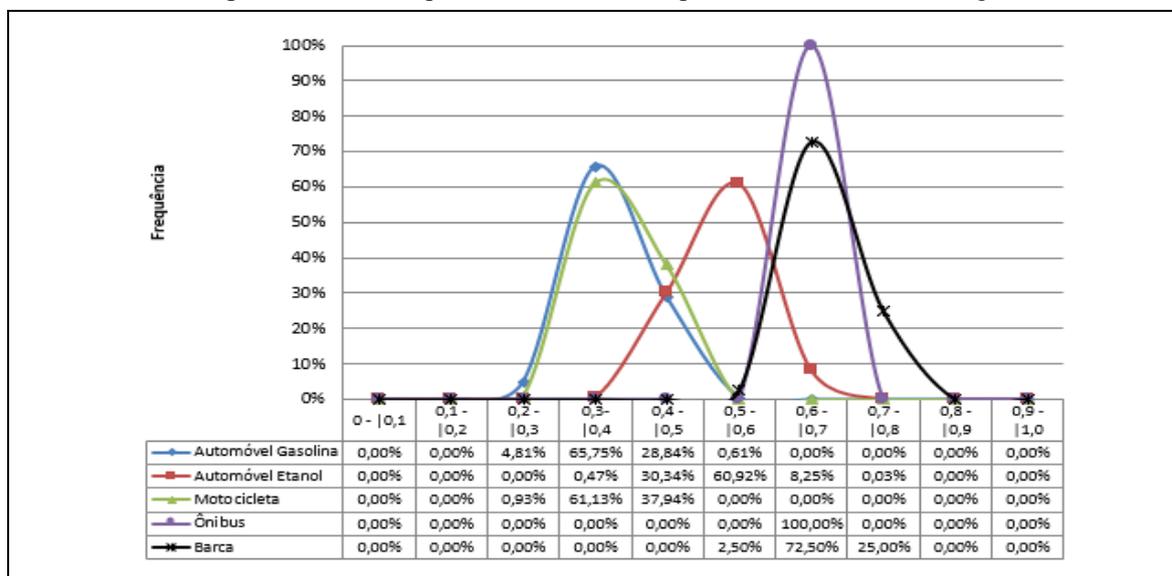
Em uma primeira análise, foi considerado o resultado conjunto das alternativas de transporte de passageiros no trecho Rio de Janeiro x Niterói e seus respectivos desempenhos.

Tendo em vista o cenário base (dados da Tabela 4) e aplicando a GRA e SMC, o ônibus e a barca ocupam as posições de destaque em relação aos demais modos de transporte, o que pode se dar devido a sua maior capacidade de lotação de passageiros e consequentes ganhos de escala.

Conforme a Figura 2, o ônibus apresenta uma frequência de resultados positivos numa das faixas mais próximas de 1 na escala, entre 0,5-0,7, quando os demais modos de transporte (com exceção da barca) tem seus picos nas faixas entre 0,2-0,5. O pico dos demais meios de transporte não ultrapassa o desempenho mínimo atingido pelos ônibus.

Por outro lado, a barca apresenta vantagem em relação aos demais meios de transporte dentro das combinações analisadas, pois os indicadores consideram o número de passageiros, que são transportados em maior quantidade pelas barcas — comportam até 2.000 passageiros, acima de qualquer outro meio de transporte analisado.

**Figura 2.** Curvas de probabilidade de desempenho das alternativas – original

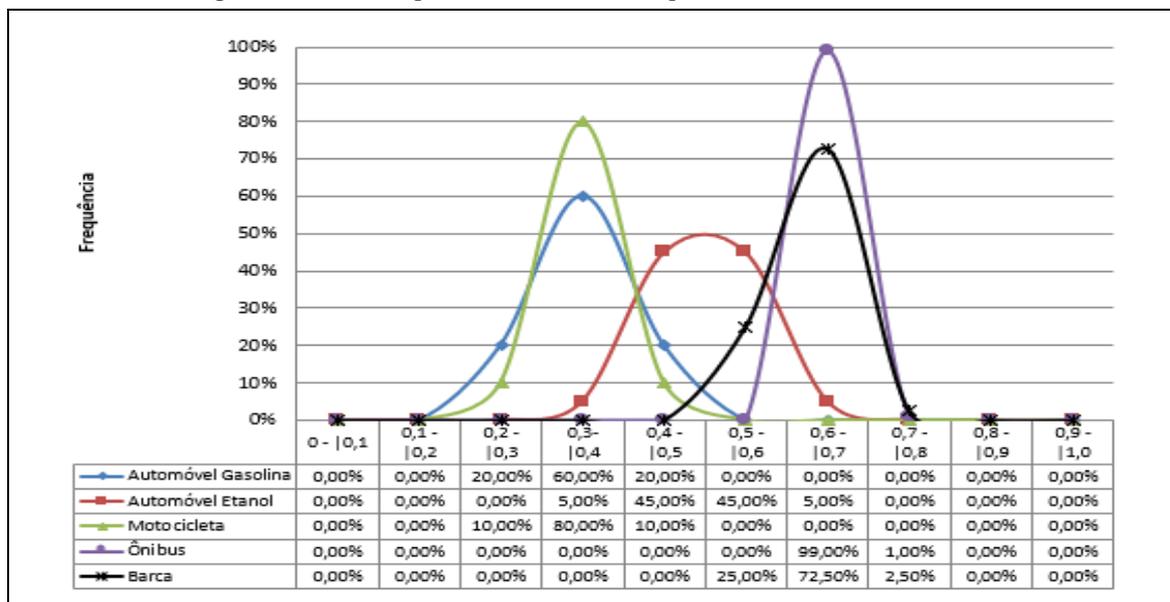


Fonte: Guimarães (2016).

No cenário com melhorias, considerando os resultados apresentados na Tabela 5, aplicaram-se novos valores dos indicadores do ônibus. Com isto, tornou-se possível a verificação do impacto das ações em seu desempenho em relação às demais alternativas.



**Figura 3.** Curvas de probabilidade de desempenho das alternativas – melhorias



Fonte: Elaboração própria (2023).

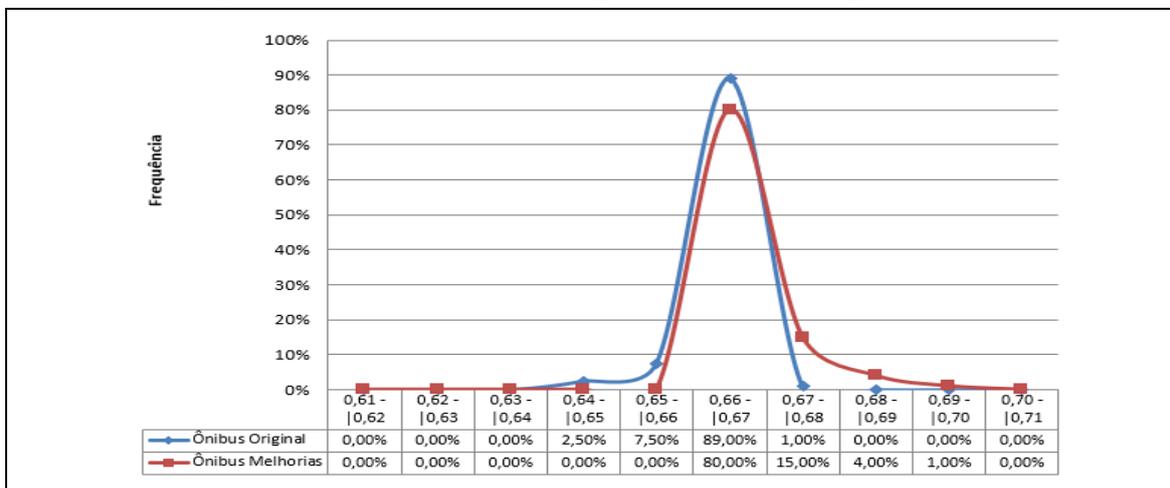
Observa-se que na Figura 3, o comportamento geral de todos os meios de transportes praticamente se manteve o mesmo, inclusive, o do ônibus. Houve pequenos deslocamentos, em que os modos de transporte individuais (ou que transportam poucos passageiros), como moto e automóveis, passam a concentrar a maior frequência dos seus resultados, entre 0,1-0,4. A barca segue em destaque em relação aos demais, porém também sofreu uma queda na sua faixa de resultados, passando a ser entre 0,4 e 0,7.

Os resultados do ônibus não sofrem uma mudança significativa na distribuição, tendo uma curva levemente mais ampla para a direita, mas segue com a concentração na mesma faixa de resultados. Entretanto, como os resultados são comparativos, considerando as técnicas utilizadas, o ônibus apresenta uma curva de desempenho melhor do que os demais modos, mantendo seus números concentrados na faixa de 0,6 a 0,7 no índice de desempenho.

Na Figura 4, considerando os intervalos de frequências divididos entre 0,61 e 0,71, é possível verificar com mais detalhes a mudança de comportamento que os resultados sofreram decorrente da simulação do cenário com melhorias. As curvas de desempenho seguem o padrão apresentado nas Figuras 2 e 3, com uma crista acentuada, em que a frequência de resultados se concentra numa faixa muito pequena de desempenhos.

No cenário base (original), há distribuição dos desempenhos concentrada na faixa de 0,64 a 0,66. Já no cenário com aplicação das ações de melhoria, há concentração resultados entre 0,66 e 0,70, mostrando um pequeno deslocamento da curva de desempenho para a direita.

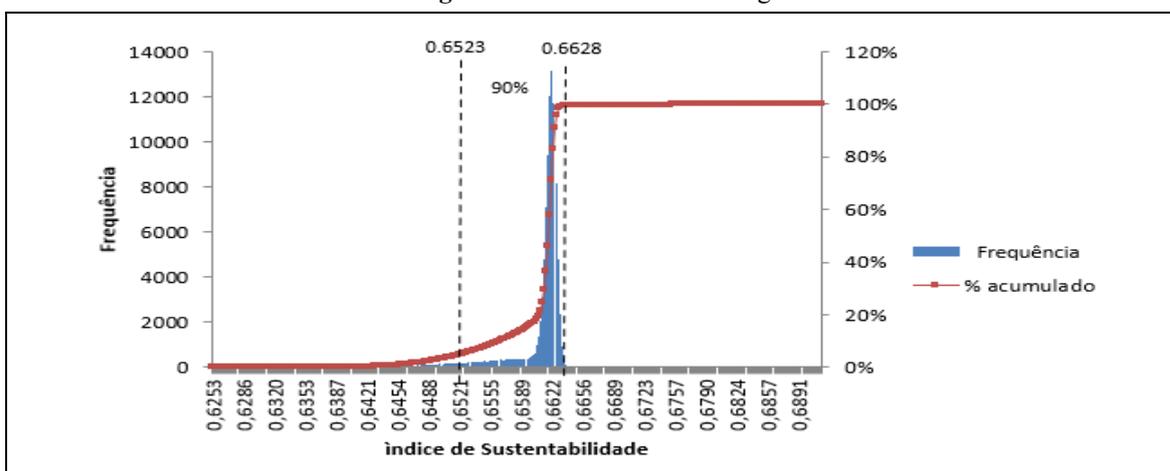
**Figura 4.** Deslocamento da curva de probabilidade de desempenho do ônibus



Fonte: Elaboração própria (2023).

Na avaliação individual dos desempenhos do ônibus em cada cenário, é possível verificar, de maneira mais detalhada, os comportamentos dos desempenhos avaliados. Comparativamente, a Figura 6 tem uma amplitude maior nos resultados mais altos de desempenho. Na Figura 5, o maior resultado apresentado foi 0,6632. Já na Figura 6, foi possível chegar a resultados de 0,7024, mesmo que em frequências ínfimas.

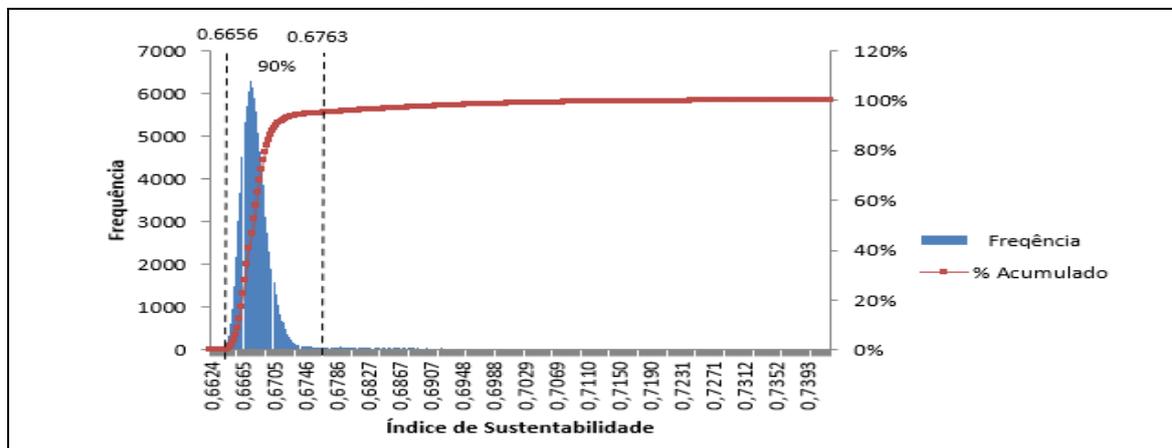
**Figura 5.** Ônibus – Cenário Original



Fonte: Guimarães (2016).

Ainda, analisando as figuras 5 e 6, verifica-se que 90% dos resultados de desempenho no cenário original estão entre 0,6523 e 0,6628, enquanto no cenário com as melhorias, essa concentração está entre 0,6656 e 0,6763.

**Figura 6.** Ônibus – Cenário com melhorias



Fonte: Elaboração própria (2023).

É possível reconhecer um padrão consistente de comportamento do ônibus entre a frequência dos seus resultados, que se mantiveram, com pequenas alterações.

Do ponto de vista das simulações em um ambiente computacional controlado, as melhorias podem ser consideradas pouco significativas. Do ponto de vista de uma implementação prática das ações propostas, isso pode ter uma conotação mais preocupante.

De maneira teórica, é possível afirmar que houve melhorias no desempenho do ônibus em comparação aos demais modos de transporte, principalmente ao considerar que ele já apresentava bons resultados, conforme a Figura 2. No entanto, ao analisar de uma perspectiva realista, um cenário com ações de impacto sustentável pode apresentar entraves. Tendo em conta os custos financeiros, logísticos, legais e trabalhistas decorrentes da implementação de tais ações, a análise mostra que as mesmas podem não ter um impacto satisfatório aos agentes envolvidos.

No que tange a aquisição de ônibus elétricos, esta pode ser considerada extremamente custosa, tanto na compra dos veículos e dos pontos de carregamento da bateria, quanto na capacitação dos motoristas, segurança dos veículos, assim como os custos diferenciados da manutenção especializada. Também requerem adequações legais e trabalhistas, como revisão das normas de segurança no trabalho, dentre outros.

Tudo isso deve ser feito de maneira que seja possível manter o valor da passagem acessível para o usuário (que não se alterou nos cenários analisados), sendo essa a fonte de captação de recursos para bancar todos esses investimentos.

A construção ou expansão de faixas exclusivas também é complexa, não apenas em relação ao alto custo que demandaria para a construção, mas em como manter o funcionamento minimamente eficaz da área durante o período das obras. Isso poderia implicar na qualidade de vida dos passageiros e motoristas, fazendo com que as viagens se tornassem ainda mais distantes e desgastantes. Apesar de trazer um benefício ambiental, também traz um grande custo aos agentes de implementação que, embora seja bastante



positiva de maneira isolada, não influencia tanto na melhoria geral do desempenho do transporte por ônibus.

No caso de investir em um meio de transporte, a barca apresenta melhores resultados, pois já possui uma vantagem em relação aos demais meios de transporte. Para os agentes de implementação, como o governo estadual, haveria melhores resultados gerais ao investir em ações para melhoria do funcionamento das barcas, como melhor distribuição dos horários, visando melhorar os gargalos gerados nos horários vazios e nos horários de pico, em que há horário de superlotação (Guimarães, Leal Jr., & Silva, 2018). As barcas, segundo Guimarães (2016), também apresentam potencial de melhoria na utilização de sua capacidade, podendo melhorar ainda mais os índices de desempenho sustentável.

## 5. Considerações finais

O presente trabalho buscou levantar um conjunto de ações de sustentabilidade, a fim de avaliar e analisar os impactos de cada uma delas na curva de probabilidade do desempenho do transporte rodoviário de passageiros por meio do ônibus.

Para tal avaliação, foi utilizada uma combinação dos métodos de GRA e SMC para obtenção dos resultados, nos quais é possível verificar o potencial de impacto das ações propostas. A partir dessa avaliação, notou-se um aumento de aproximadamente 5% dos valores que representam os piores resultados apresentados na Figura 5 para os piores resultados apresentados na Figura 6. Também existe um aumento de aproximadamente 7% dos valores que compõem os melhores resultados nas Figuras 5 e Figura 6. A apresentação desses resultados conecta-se à primeira pergunta de pesquisa: “Qual é o potencial de impacto de ações de sustentabilidade no desempenho do transporte de passageiros por ônibus?”. Mesmo que numericamente, a implantação das ações individuais e combinadas aumentem o desempenho sustentável do ônibus, na prática, o potencial de impacto é baixo, pois o nível de complexidade para implementar cada uma dessas ações é alta e requer altos custos para um baixo retorno social e ambiental.

Tratando-se da pergunta “Qual é a melhoria do desempenho do ônibus em relação às demais alternativas de transporte, considerando a implantação das ações de sustentabilidade?”, também não é possível notar nenhuma melhoria sustentável significativa considerando a alta complexidade para implementação das ações do ponto de vista financeiro, como também logístico, trabalhista e legal. Pode-se considerar que os objetivos da pesquisa foram cumpridos, mesmo que os resultados obtidos não tenham sido exatamente o esperado.

Seria mais interessante aos agentes responsáveis um aprofundamento nos estudos, simulações e ações voltados à barca, pois essas têm o segundo lugar no *ranking* de desempenho dos meios de transporte e potencial de melhoria maior devido à sua capacidade e conseqüente ganho de escala.

A barca apresenta bons resultados do ponto de vista social, visto que atende uma maior quantidade de passageiros a um preço acessível. Também pode promover melhorias no tráfego rodoviário ao deslocar passageiros de outros modos terrestres, principalmente dos modos individuais como automóveis e motos. Todavia, esse meio de transporte também



apresenta benefícios na implementação de melhorias do ponto de vista econômico. Por exemplo: é menos custoso aumentar os horários de saída das barcas do que fazer expansão de faixas para ônibus. Além disso, o investimento também pode ser menor do que em ônibus elétricos. Do ponto de vista ambiental, a barca apresenta baixos índices de emissão de CO<sub>2</sub> e de consumo de energia total por passageiro.

Uma proposta de aprimoramento futuro consiste em investigar a viabilidade desse sistema de transporte, analisando como diversas ações, tecnologias e esforços logísticos podem influenciar tanto seu desempenho global quanto individual. Além disso, sugere-se a exploração do desempenho de outros modos de transporte, juntamente à identificação de ações específicas para melhorar cada um deles.

Este estudo enfrentou limitações devido à restrição de dados adequados e atualizados, o que impede a exploração mais abrangente de cenários e ações de forma isolada. Além disso, verificam-se desafios na implementação prática das ações considerando questões tecnológicas e de gestão. A análise de outros modos de transporte também foi limitada, sugerindo uma área potencial para contribuições futuras.

A pesquisa ofereceu uma contribuição teórica valiosa ao avaliar o desempenho do ônibus, considerando sua posição como o meio de transporte de passageiros mais amplamente utilizado no Brasil. Adicionalmente, o artigo instigou um debate sobre a viabilidade de estender as iniciativas de aprimoramento do transporte público para além dos ônibus, destacando a importância da intermodalidade e da reconsideração do transporte de passageiros sob uma perspectiva sustentável.

### Referências bibliográficas

Araújo, M. R. M., Oliveira, J. M., Jesus, M. S., Sá, N. R., Santos, P. A. C., & Lima, T. C. Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida (2011). *Psicologia & Sociedade*, 23(3), 574–582. <https://doi.org/10.1590/S0102-71822011000300015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/XWXTQXKJ44BtT5Qw7dLWgvF/#>. Acesso em: dez. 2023.

Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano – NTU (org.) (2020). *Covid-19 e o transporte público por ônibus: impactos no setor e ações realizadas*. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637231535674949776.pdf>. Acesso em dez. 2023.

Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano – NTU (org.) (2023). *Grandes números da mobilidade urbana*. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>. Acesso em: dez. 2023.

Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (org.) (2018). *Sistema de informações da mobilidade urbana*.

Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (org.) (2019). *Como ter um transporte público eficiente, barato e com qualidade na sua cidade*. p. 44.



Bermond, V. (2015). *Análise da ecoeficiência de um sistema de transporte público urbano de passageiros*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/items/30bbd538-e9ab-410b-8942-c91c428bc67c>. Acesso em: dez. 2023.

Carvalho, C. H. R. (2011). *Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros*. Texto para discussão. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmninnkcbgpccjpcglclefindmkaj/https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/imagens/stories/PDFs/TDs/td\\_1606.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnkcbgpccjpcglclefindmkaj/https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/imagens/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf). Acesso em: dez. 2023.

De Oliveira, L. P. (2021). *Use of Event Data Recorder Systems as a Basis for the Development and Application of Training Procedures Focusing on Safety, Operational and Economical Aspects for Road Freight Transportation: An Application and Analysis Approach*. (Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro).

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020). Ministério de Minas e Energia e Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (org.). *Plano Nacional de Energia 2050*. p. 230. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: jun. 2023.

Garcia, P. A. A., & Duim, F. A. C. (2017). Uma abordagem baseada em análise relacional Grey para a avaliação de programas de pós-graduação brasileiros em mestrado em administração de empresas. *Sistemas & Gestão*, 12(4), 391–400. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2017.v12n4.806>. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/806/731>. Acesso em: dez. 2023.

Guimarães, V. A. (2016). *Avaliação do desempenho sustentável das alternativas de transporte urbano de passageiros*.

Guimarães, V. A., Leal Junior, I. C., & Silva, M. A. V. (2018). Evaluating the sustainability of urban passenger transportation by Monte Carlo simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 732-752.

IBM (org.). *O que é Simulação de Monte Carlo?*. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/monte-carlo-simulation>. Acesso em: jul. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019). [S.I.]: *Nota Técnica da Logística dos Transportes no Brasil*. p. 8. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/redes\\_e\\_fluxos\\_geograficos/logistica\\_dos\\_transportes/Nota\\_tecnica\\_da\\_Logistica\\_dos\\_Transportes\\_no\\_Brasil\\_2014\\_20191031.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/redes_e_fluxos_geograficos/logistica_dos_transportes/Nota_tecnica_da_Logistica_dos_Transportes_no_Brasil_2014_20191031.pdf). Acesso em: jun. 2023.

Leal Jr., I. C., & D’agosto, M. A. (2012). Ações de ecoeficiência para melhoria do desempenho no transporte rodoviário de produtos perigosos. *Revista Transportes*, 20(3), 5–



17. <https://doi.org/10.4237/transportes.v20i3.563>. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/563>. Acesso em: dez. 2023.
- Leal Jr., I. C., Souza, J. G. N., Guabiroba, R. C. S., Guimarães, V. A., & Motta, G. S. (2023). Probabilistic evaluation of truck transport performance based on ecoefficiency measures in Brazil. *Research in Transportation Business & Management*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100741>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539521001243>. Acesso em: dez. 2023.
- Litman, T. (2015). *Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute, 1(1), 1-107.
- Machado, L., & Piccinini, L. S. (2018). Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(1), 72–94.
- Melo, R. V. (2019). *Avaliação da sustentabilidade nos serviços de transporte coletivo com base em indicadores de manutenção veicular*.
- Organização das Nações Unidas – ONU (org.) (2015). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 02 dez. 2023.
- Paula, R. R. (2014). Método de Monte Carlo e Aplicações. 42 f. (Monografia - Curso de Matemática, Universidade Federal Fluminense).
- Rebouças, A. B., Daniel, J., & Delgado, O. (2022). *Análise operacional de ônibus elétricos a bateria em São Paulo*. São Paulo: ICCT. p. 41.
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis: UFSC.
- Siqueira, E. R., Taffarel, M., Ribeiro, F., & Menon, G. (2018). Análise do desempenho financeiro nos segmentos de transporte brasileiro. *Revista Brasileira de Contabilidade e Gestão*, 7(13), 54–69. <https://doi.org/10.5965/2316419007112018054>. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/reavi/article/view/13771>. Acesso em: dez. 2023.
- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2019). *Implantação de faixa exclusiva para ônibus na BR-282 / Via Expressa Resumo dos benefícios aos usuários do transporte público*. Florianópolis: Fapesc.