

**MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO E COMPARTILHADA EM NITERÓI
(RJ): ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE MODELOS
DE NEGÓCIOS SUSTENTÁVEIS**

**PRODUTO 3: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DAS SOLUÇÕES
SUSTENTÁVEIS, EMISSÃO DE CO₂ EVITADA E VALORAÇÃO DO
BENEFÍCIO AMBIENTAL**

Niterói

Março de 2023

Equipe:

Prof. Luciano Losekann

Prof. Niágara Rodrigues

Profa. Claude Adélia Moema Jeanne Cohen

Manoel Tabet Soriano

Ana Carolina Ramos Cordeiro

Mônica Apolinário Teixeira

Camila Abuche

Mateus Costa Correa

Raquel Netto

1. Introdução

Após revisar a literatura, verificando casos de sucesso em práticas de mobilidade urbana de diversas cidades do mundo e de identificar as soluções sustentáveis mais adequadas à cidade de Niterói, esse relatório avalia a atratividade econômica e social de três propostas da equipe de pesquisa para a mobilidade sustentável em Niterói. Para isso, levamos em consideração os objetivos da cidade descritos em seu PMUs e seus objetivos ambientais descritos em seu plano diretor.

O resultado desta harmonia entre soluções de sucesso adotadas no mundo e objetivos da cidade nos fez concluir que três medidas merecem maior atenção para contribuir com a mobilidade urbana da cidade: a adoção de um sistema de caronas, a transição energética da frota de ônibus e a construção de um sistema de compartilhamento de bicicletas.

Para todas as propostas supracitadas, traremos neste relatório, o detalhamento das medidas, o escopo da sugestão e seus impactos financeiros e/ou ambientais.

2. Sistema de Caronas

2.1 Caracterização da Proposta

O sistema de carros compartilhados pode trazer benefícios ambientais e para o tráfego, visto que consegue retirar um número significativo de automóveis da rua. Deste modo, quanto menos carros em circulação, menor será o congestionamento, o que significa redução de emissão de gases poluentes e melhora da qualidade do ar.

O conceito de *mobility as a service*, ou seja, mobilidade como um serviço é uma tendência atual que traz a noção de se mover como um serviço a ser utilizado e não como a necessidade de adquirir um veículo. Assim, é importante conscientizar os cidadãos de que quanto menos se utilizar um veículo próprio, menos carros terão nas vias e, com isso, o congestionamento e as emissões de gases poluentes provenientes dos combustíveis fósseis serão reduzidos, contribuindo assim, para a preservação do meio ambiente.

Levando em consideração as tendências atuais de economia compartilhada, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, foi implementado um aplicativo de caronas, no campus da Ilha do Governador, que atende alunos, professores e funcionários, o Caronaê. O aplicativo só pode ser utilizado por pessoas que tenham algum tipo de vínculo com a universidade. O projeto, acelerado na própria UFRJ, teve como base quatro pilares: o aplicativo para facilitar e organizar o sistema de caronas, um ponto físico para as pessoas se encontrarem, a utilização do registro junto a faculdade e uma campanha de marketing a fim de promover a nova mudança cultural (AGÊNCIA BRASIL, 2016). Nesse contexto, o aplicativo conseguiu contribuir para resolver questões relativas à segurança, acesso e mobilidade.

O sistema de caronas tem como benefício reduzir o número de carros, principalmente nos horários de pico. No contexto das universidades, isto ocorre devido à baixa ocupação de veículos nos movimentos pendulares residência-faculdade/faculdade-residência e/ou trabalho-faculdade/faculdade-trabalho, além do alto índice de coincidência dos transportes nos períodos letivos e horários dos turnos de estudo. O aplicativo aumenta o número de passageiros por carro e, conseqüentemente, diminui o número de carros que entram e saem da universidade, além de reduzir a demanda por estacionamento.

Um estudo realizado entre 2016 e 2020 mostra que o Caronaê possui 19.974 usuários cadastrados e 5.286 usuários ativos (que de fato interagem com o sistema de criação e busca de caronas). Além disso, usuários já deram ou pegaram carona com o Caronaê cerca de 80.711 vezes e, cada caronista pegou em média 6 caronas ao longo do funcionamento do aplicativo. Ademais, a taxa de ocupação média situa-se em aproximadamente 2,54 pessoas por carro (CARONAÊ, 2020), praticamente o dobro da encontrada por São Paulo ao realizar uma pesquisa de concentração de pessoas por automóvel, que encontrou o valor médio de 1,4 pessoas/automóvel (OGLOBO, 2011). Outros dados relevantes são: quantidade de caronas criadas (77.563); quantidade de caronas não deletadas (57.600); caronas com pelo menos uma pessoa aceita (6.222), o que representa 8% das caronas criadas; e, caronas com pelo menos uma pessoa pendente (9.159).

Com base no potencial benefício atrelado aos sistemas de carona e o desejo da cidade de Niterói de se tornar uma cidade mais sustentável com menor índice de engarrafamento, sugerimos então a implementação de um projeto piloto de sistema de caronas na Universidade Federal Fluminense (UFF) para atender a comunidade acadêmica e os

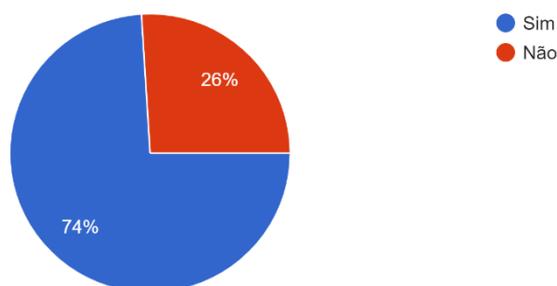
servidores. Vários alunos, professores e funcionários que tem carro próprio, já o fazem de maneira informal e acreditamos que um aplicativo seria capaz de potencializar esse efeito.

Em pesquisa realizada junto aos alunos da faculdade sobre utilização de meios de transporte, conseguimos observar a utilidade da aplicação de uma ferramenta como a sugerida. Aproximadamente 74% dos alunos que preencheram a pesquisa declararam o desejo de utilizar um sistema de caronas, demonstrando inclusive uma disposição a pagar média, superior ao valor das passagens de ônibus convencional ou metrô, de R\$8,27 por carona de ida ou de volta.

Figura 1 – Disposição à Carona

Você estaria disposto a pagar por um sistema de caronas compartilhadas na UFF direcionado à comunidade acadêmica?

177 respostas



Fonte: Elaboração Própria

Resultados como os indicados acima, ressaltam a necessidade de uma ferramenta capaz de facilitar a operacionalização de caronas, assim como a conscientização e o estímulo de toda a comunidade da UFF para reduzir as viagens em carros particulares e acolher o sistema de compartilhamento de carros (sistema de carona). A aplicação desse sistema, poderia reduzir custos e deslocamentos de usuários tanto em Niterói e adjacências, como na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) ou até mesmo em municípios mais distantes, em que muitos estudantes residem.

Por fim, levando em consideração a representatividade da população universitária presente na UFF em relação a população de Niterói, sua concentração em região de tráfego intenso da cidade, seus deslocamentos em horário de pico, o potencial de redução

de tráfego trazido por sistemas de carona sugerimos a avaliação deste ferramental para a Universidade Federal Fluminense.

Uma vez que o aplicativo possui código aberto, e a faculdade servidores em seus centros de pesquisa, assim como bolsistas da área de programação, não realizamos análise econômica desta iniciativa, entendendo que eventualmente este sistema poderia ser aplicado sem custos adicionais. Contudo, a fim de entender melhor os impactos ambientais do transporte dos alunos da UFF e potenciais impactos da promoção de um aplicativo de carona na universidade, conduziremos uma análise do transporte dos universitários e de suas emissões nas seções a seguir.

2.2 Emissões Evitadas com o Acréscimo de Caronas na Universidade Federal Fluminense.

2.2.1 Premissas

A metodologia utilizada neste estudo se baseará na metodologia utilizada no artigo que computou cenários de redução de CO₂ decorrentes de uma potencial mudança de Mobilidade Urbana na UFRJ, visando o cenário de 2030 (Di Beo *et al*, 2017). Neste artigo, os autores caracterizam a área de estudo, estimam a população impactada, realizam o cálculo de gasto energético e suas emissões associadas para cenários base e alternativos de redução de emissões para 2030. Utilizaremos processo similar para estimar o potencial impacto para a Universidade Federal Fluminense.

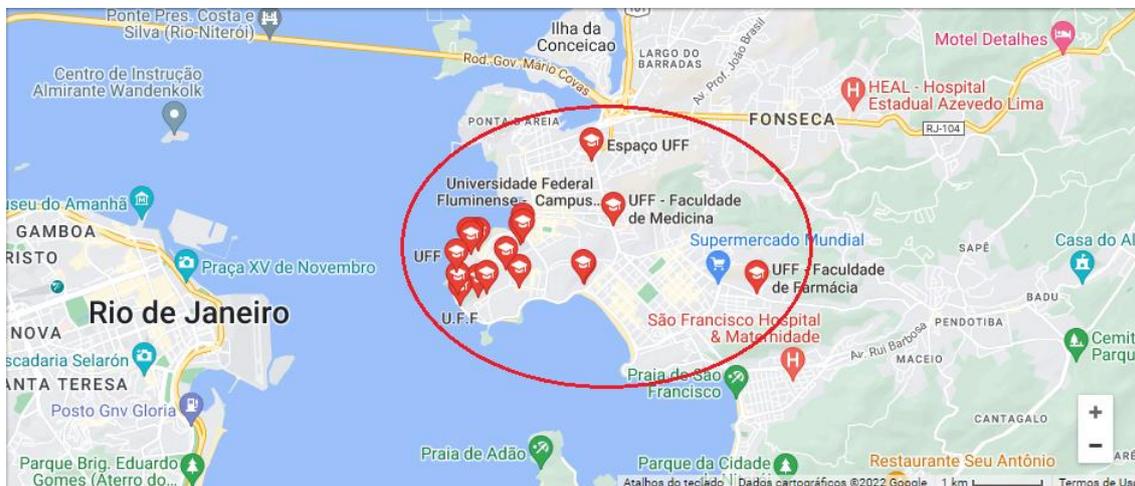
2.2.2 Área de Estudo

Uma vez que estamos recomendando a avaliação de um projeto piloto de um sistema de caronas na Universidade Federal Fluminense (UFF), para que com base nesses dados, seja decida a expansão do projeto para toda a cidade delimitaremos a área de estudo aos campus da UFF presentes na cidade de Niterói.

Em Niterói, a UFF possui 11 cedes: a Reitoria; 3 campus multidisciplinares: Gragoatá, Praia Vermelha e Valonguinho; 6 faculdades de ensino isoladas: Direito, Enfermagem,

Farmácia, Veterinária, Instituto de Arte e Comunicação Social, e Biologia; e 2 hospitais: Hospital Universitário Antônio Pedro e Hospital Universitário de Medicina Veterinária.

Figura 2 – Concentração de Campus da UFF



Fonte: Google Maps(2022)

O acesso à faculdade depende da origem do aluno e/ou funcionário. Caso a origem seja a cidade do Rio de Janeiro os principais acessos ocorrem via ponte Rio-Niterói e através das Barcas que possuem uma estação na Praça Araribóia. Para moradores de Niterói, que ficam localizados principalmente nas regiões de expansão urbana, Oceânica e Pendotiba, as opções mais utilizadas são as vias que formam o corredor Av. Jansen de Melo / Av. Marquês do Paraná, vias estas consideradas as mais carregadas no município. O acesso daqueles que se deslocam de São Gonçalo para a cidade ocorre principalmente através da BR101 e da RJ-104. Para moradores de demais cidades a principal opção seria a utilização da rodoviária que fica a poucos quilômetros dos campus da universidade (PMUS, 2019)¹. É importante destacar ainda que a UFF conta com um serviço interno de ônibus gratuito para alunos, o BusUFF, que possui 2 rotas internas. A Rota 1, parte do Campus do Valonguinho e passa pelos campus instalados nos bairros: Centro, Gragoatá, Boa Viagem, Ingá e São Domingos. A Rota 2, por sua vez, sai do Campus do Valonguinho e passa pelos campus situados nos bairros do Centro, Icaraí e Santa Rosa. (UFF, 2022)

¹ O PMUS não se refere a deslocamentos para a faculdade, mas se refere a deslocamentos nas áreas em que a faculdade está localizada, portanto, estamos considerando essa informação como proxy.

2.2.3 Estimativa Populacional

Segundo o Censo 2020 das Faculdades e IFES Brasileiras (UFF, 2022), a Universidade Federal Fluminense conta com uma população total de 52.354 pessoas. Dentre essas, destacam-se: 3255 docentes em exercício, sendo 345 contratados sob o regime de 20h semanais, 230 que utilizam o contrato de 40 horas semanais e 2680 de dedicação exclusiva; 3855, técnicos administrativos²; e 45.244 mil alunos de graduação, sendo 36.292 destes alunos presenciais.

O site da instituição (UFF,2022) destaca também que a UFF está presente em 32 municípios. De forma presencial a instituição se concentra em 9, abrindo 11.766 vagas presenciais. Destas 7.379, 62,7% do total, se concentram nos campus presentes em Niterói.

Assim, uma vez que não possuímos os dados, por região: dos docentes em exercício, alunos matriculados e técnicos administrativos, assumiremos que o percentual desse montante em Niterói se iguala ao percentual do número de matriculados presencialmente em Niterói, que corresponde a 62,7% do total. Desta forma, da população de 43.402 presenciais, estimamos que 27.224 pessoas corresponda a população aproximada que transita nos campus presentes em Niterói³.

2.2.4 Consumo Energético

2.2.4.1.1 Pesquisa de Caracterização de Deslocamento do Aluno da UFF

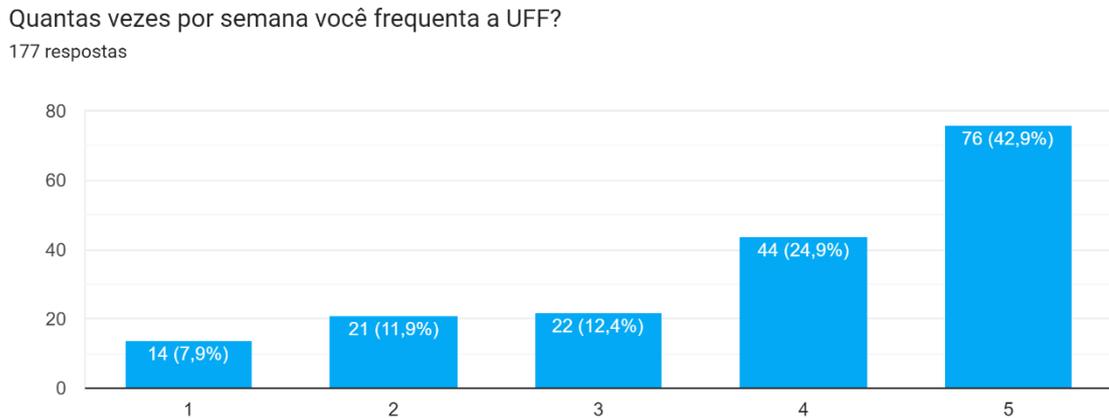
Para o cálculo do consumo energético a equipe entendeu que o primeiro passo a ser executado consistia em gerar uma pesquisa de origem/destino, por meio de formulário online. Desta pesquisa, pôde-se auferir os dados de frequência à faculdade, distância

² Esse número não considera os funcionários administrativos dos hospitais universitários. Uma vez que não conseguimos esse dado, ele será desconsiderado em nossa análise.

³ Destacamos que o número deve estar levemente subestimado, devido Niterói provavelmente concentrar a maior parte dos cargos administrativos.

média percorrida, assim como, a distribuição dos modais utilizados para o deslocamento dos usuários.⁴

Figura 3 – Frequência UFF

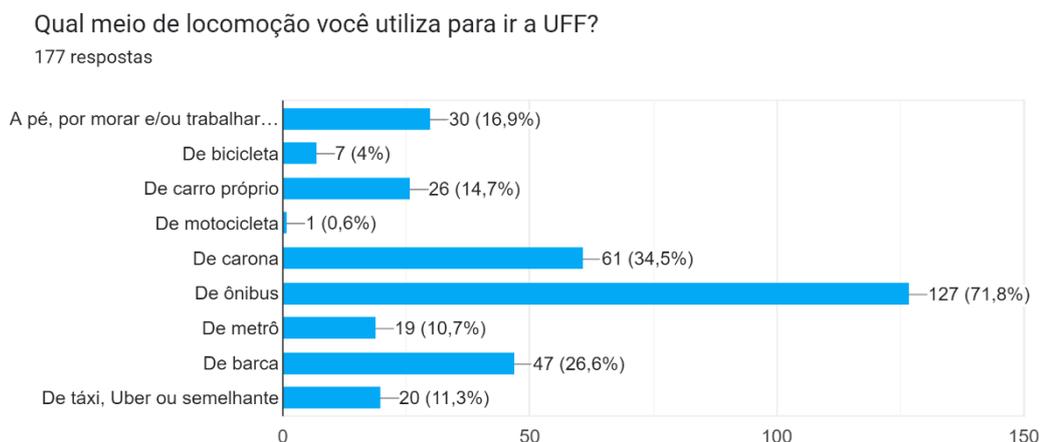


Fonte: Elaboração Própria.

Como pode ser visto no gráfico 1, acima, 7,9% dos usuários se desloca para a faculdade 1 vez por semana, frequência esta que aumenta de acordo com o número de dias de frequência, atingindo 42,9% do total no universo daqueles que frequentam a faculdade todos os dias. Em média, os alunos se deslocam 3,83 vezes por semana à faculdade.

⁴ É importante ressaltar que apesar do esforço da equipe apenas 177 questionários foram concluídos. Apesar de não consistir o número ideal para uma amostra realmente significativa optamos por utilizar essa amostra como proxy para caracterizar a população que se desloca para a UFF.

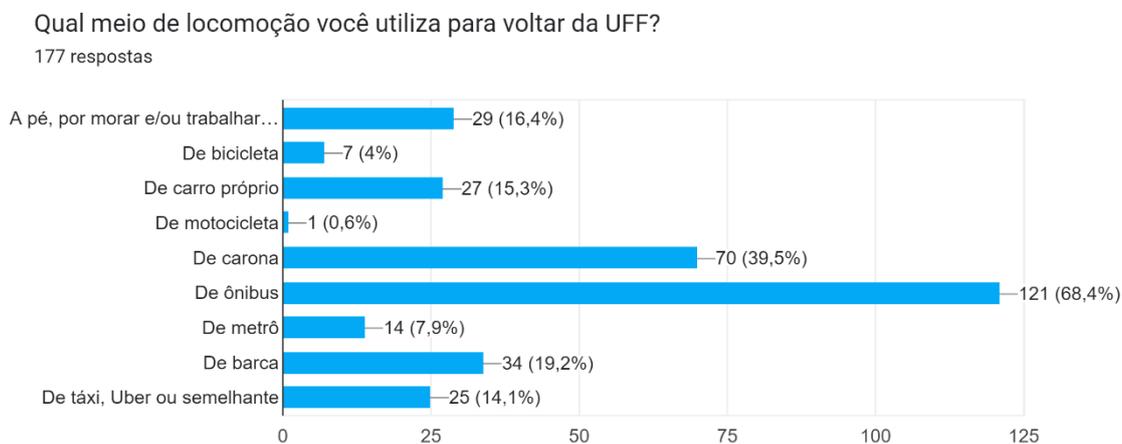
Figura 4 – Meio de locomoção Niterói.



Fonte: Elaboração Própria.

Dentre os meios de locomoção utilizados para ir para a faculdade podemos verificar que grande parte da amostra utiliza o ônibus pelo menos em parte de seu trajeto. Carona e barca aparecem em sequência como os mais utilizados.

Figura 5 – Meio de locomoção Niterói.



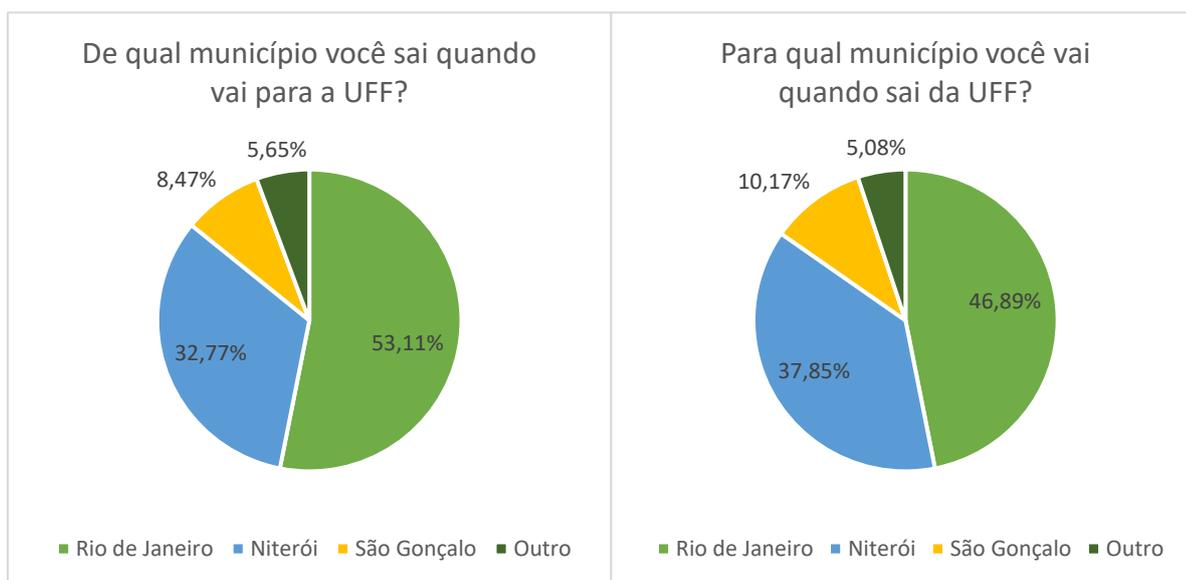
Fonte: Elaboração Própria

O trajeto de volta da faculdade apresenta uma caracterização muito parecida com o de ida, sendo possível visualizar como principal diferenciação uma pequena redução do deslocamento de metrô, barca e ônibus e aumento no número de caronas na volta para

casa. Ao rodar dados na tabela essa inferência é confirmada sendo de 75% o índice de incidência de mesma utilização de tipo de deslocamento ida/volta por cada pessoa.

A média de modais utilizados para cada deslocamento é de 2,07 na ida e 2,01 na volta, demonstrando que a quantidade de modais utilizadas apesar de similar, apresenta uma ligeira queda, provavelmente decorrente de uma organização dos alunos na volta da faculdade.

Figura 6 – Município de Origem e Destino



Fonte: Elaboração Própria

Ao visualizar de onde as pessoas saem para ir para a UFF e para onde elas vão após a ida à faculdade podemos visualizar que a tendência é muito similar, tendo o Rio de Janeiro como principal origem/destino, seguido de Niterói e São Gonçalo. É possível visualizar também que há uma queda significativa das pessoas que voltam ao Rio em comparação aqueles que foram da cidade para a faculdade, o que nos faz inferir que os alunos dentre os entrevistados alguns trabalham pela manhã no Rio de Janeiro, realizam a faculdade em algum outro período e voltam às suas casas à noite.

A caracterização completa dos bairros de origem/destino dos alunos, assim como as Distâncias Percorridas (DMP) nos percursos à faculdade, podem ser visualizados na tabela a seguir. As DMPs foram extraídas através do aplicativo Google Maps, sendo consideradas apenas as distâncias de meios de transporte utilizados pelos alunos.

Tabela 1 – Distâncias Médias Percorridas

Bairro	A Pé	Bicicleta	Moto	Carro	Ônibus	Uber/Fáxi	Carona	Barca	Metrô	Ônibus	Bicicleta	Ônibus Intermunicipal
Amendoeira			21,8	38,8	21,8		38,8	5			31	
Anil em Jacarepaguá												99,3
Bacaxá/Saquarema					42,1	41		5	21,84			
Barra da Tijuca					6,8		6,8					
Boa Viagem	1,5											
Botafoogo				29,7	29,7			5	5,52			
Brás de Pina				30,8	30,8		30,8	5	14,87			
Cambourinhas				14,9								
Catete				25,1	25,1			5	3,08			
Centro (Maricá)												45,8
Centro (NI)					49,9							
Centro (NIT)	2,7	2,7		3,5	3,5	3,5						
Centro (RJ)				22,1	22,1		22,1	5				
Charitas				9	9		9					
Copacabana				29,8								
Duque de Caxias				34,8								
Engenho Novo				26	26		26	5	14,3			
Fátima	3,4											
Flamengo				25,4	25,4		25,4	5	3,91			
Fonseca				6,9	6,9	6,9						
Freguesia				35,2	35,2		35,2	5	15,1	12,2		
Gloria					24,2			5	1,97		1,97	
Grادم				12,2								
Graoatá	1,2											
Green Valley												51,2
Icaral	3	3		3,8	3,8	3,8	3,8					
Ilha do Governador				30,1	30,1	30,1	30,1	5		23		
Ingá	1,6				1,8	1,8	1,8					
Ipanema				28,9								
Itaipu				16,9	16,9	16,9	16,9					
Itanhangá				41,3	41,3		41,3	5	18,31	2,34		
Italva				18,5			18,5					
Jacarepaguá				41,6	41,6	41,6	41,6	5	18,31	13		
Jardim Catarina				22,1	22,1							
Jardim Carioca				29,7			29,7					
Jardim Guanabara												
Jardim Palmares				29,6	29,6	29,6	29,6	5		22,9		
Laranjeiras				18,31								
Lindo Parque				24,4				5	3,17	6,4		
Madureira				12,3								
Madureira				30,5			30,5	5		23,5		
Mutundo				16,4								
Mutua				16,1			16,1					
Nova Cidade				17,9								
Oswaldo Cruz								5	16,6	7,2		
Pacheco				25,6								
Paraiso				11,8								
Pechincha				33,6								
Pendotiba				10,2	10,2							
Piratininga				15,4								
Ponta da Areia	2,6			3,1		3,1						
Porto Rosa				19,7	19,7		19,7					
Retro São Josuim				34,4			34,4					
Ribeira				34,1	34,1		34,1	5		26,1		
Rio Bonito (adicionel 1 em ingá)												64,5
Rio de Janeiro (5km Rio + 14 ponte + 3km)					22		22					
Rocha				15,2								
Salgueiro				19,5								
Santa Bárbara				12,1								
Santa Catarina				11,1			11,1					
Santa Rosa	4,5	4,5		4,9	4,9		4,9					
São Domingos	0,35											
São Francisco Xavier				21,7				5		13,3		
São Gonçalo				16,6								
Taquara				36,6	36,6		36,6					
Tenente Jardim				8	8							
Tijuca				23,1	23,1	23,1	23,1	5	7			
Trindade São Gonçalo				20,2								
Turiacu				32,7				5	15			
Vila da Penha				30,7				5	15			
Vila Progresso				12,2	12,2	12,2	12,2					

Fonte: Elaboração Própria com dados do Google Maps(2022)

Ressalta-se que alguns tratamentos foram necessários para a elaboração da tabela anterior. Nos casos de deslocamentos declarados via metrô ou trem⁵, visto que nenhum desses meios de transporte chega diretamente em Niterói, estes precisaram ser complementados por trajetos de ônibus ou barcas, quando declarados sem complementos. Devido a restrição da pesquisa, declarações de ônibus e barca na mesma resposta, tiveram que ser contabilizadas como 50% de ônibus direto e 50% de ônibus e barca. Em declarações que a pessoa declarava usar o metrô mas se encontrava a mais de 3 quilômetros da estação mais próxima incluímos um trajeto de ônibus anterior ao deslocamento de metrô.

2.2.4.1.2 Cálculo do Consumo Energético

Para o cálculo das emissões médias dos alunos caracterizadas no tópico anterior, em primeiro lugar contabilizamos o consumo de combustível por modal. Para Motos, Automóveis, Carona, Taxi, Ônibus⁶ utilizaremos o cálculo anual a partir de metodologia adaptada de Di Beo *et al*, (2017):

$$\left(\left(\frac{(freqm_s \times viagens_x) \times DMP_j}{EE_{xi} \times FO_x} \times \%Frota_i \right) + \left(\frac{(freqm_s \times viagens_x) \times DMP_j}{EE_{xt} \times FO_x} \times \%Frota_t \right) \right) \times (52,14 \times \%Dias_l) \times \frac{PPm}{TPR}$$

Em que:

freqm_s: frequência média semanal de comparecimento de um aluno ou funcionário na faculdade;

viagens: quantidade de viagens realizadas por este meio de transporte x para ida e volta da faculdade.

DMP_j: distância média percorrida na ida ou volta da região j em km;

FO: Fator de ocupação do meio de transporte x;

EE_{xi}: Eficiência energética do meio de transporte x, tecnologia i em km/L;

%Frota_i: Participação do meio de transporte x, tecnologia i;

EE_{xt}: Eficiência energética do meio de transporte x, tecnologia t em km/L;

% Frota_t: Participação do meio de transporte x, tecnologia t.

PPm: População projetada para a faculdade.

⁵ Apesar de termos inserido a opção de deslocamento via trem nenhum estudante da amostra declarou utilizar este modal.

⁶ Em nosso problema não fizemos distinção em relação aos tipos de ônibus: fretado, convencional, BRT, entre outros.

TPR: Total de Pesquisas Respondidas.

%Dias_l: Percentual dias letivos em um ano.

Para aqueles que se deslocam através de metrô, trem ou barcas e consequentemente possuem algum modal complementar a contabilização segue a lógica a seguir, também adaptada (Di Beo et al, 2017):

- Barca x Ônibus

$$\left((freqm_s \times viagens_{mtb}) \times DMP_{mtb} \times EE_{mtb} \right) + \left(\frac{(freqm_s \times viagens_x) \times DMP_j}{EE_{xt} \times FO_x} \right) \right) \times (52,14 \times \%Dias_l) \times \frac{PPm}{TPR}$$

- Barca x Metrô

$$\left((freqm_s \times viagens_{mtb}) \times DMP_{mtb} \times EE_{mtb} \right) + \left((freqm_s \times viagens_{mtb}) \times DMP_{mtb} \times EE_{mtb} \right) \times (52,14 \times \%Dias_l) \times \frac{PPm}{TPR}$$

- Barca x Metrô x Ônibus

$$\left((freqm_s \times viagens_{mtb}) \times DMP_{mtb} \times EE_{mtb} \right) + \left((freqm_s \times viagens_{mtb}) \times DMP_{mtb} \times EE_{mtb} \right) + \left(\frac{(freqm_s \times viagens_x) \times DMP_j}{EE_{xt} \times FO_x} \right) \right) \times (52,14 \times \%Dias_l) \times \frac{PPm}{TPR}$$

Em que:

freqm_s: frequência média semanal de comparecimento de um aluno ou funcionário na faculdade;

viagens_{mtb}: quantidade de viagens realizadas por metrô e/ou trem para ida e volta da faculdade.

DMP_{mtb}: distância média percorrida por metrô e/ou trem na ida ou volta da região j em km;

DMP_j ônibus: distância média percorrida por ônibus na ida ou volta da região j em km;

EE_{mtb}: Eficiência energética do meio do metrô trem ou barca em pass.km/l ou passa.km/kWh.

%Frotai: Participação na frota da tecnológica i;

EExt: Eficiência energética do meio de transporte x, tecnologia t em km/L;

% Frotat: Participação na frota da tecnológica t;

PPm: População projetada para a faculdade.

TPR: Total de Pesquisas Respondidas.

%Dias_l = Percentual dias letivos

Em posse da metodologia de cálculo de consumo energético, aplicamos então as variáveis para descobrir o consumo energético total. A População Projetada é de 27.224 mil pessoas, conforme descrito na introdução do problema (PPm). Para todo o universo de pessoas da faculdade consideraremos como proxy a distribuição de modais relatada na pesquisa. A frequência dos alunos(freqms) da UFF e dos funcionários não será diferenciada, uma vez que não controlamos as respostas por função daqueles que responderam à pesquisa.

A definição da quantidade de dias que os universitários e professores vão à faculdade levou em consideração a Lei de Diretrizes Básicas da Educação e uma consulta ao calendário acadêmico de Universidades Federais. Segundo o Art. 47 da Lei de Diretrizes Básicas da Educação um ano letivo deve ter no mínimo 200 dias, sendo que se considera uma semana letiva de 6 dias, ou seja, cada semestre deverá ter no mínimo 17 semanas, ou 102 dias, o que totalizaria no mínimo 204 dias em um ano. Apesar da determinação mínima, ao consultar o calendário acadêmico de universidades verificamos que o período é usualmente mais extenso. Desta forma, será considerado para o nosso problema o ano letivo possuindo 280 dias (variável % dias letivo⁷), aproximadamente 40 semanas, sendo desta forma 4 semanas destinadas as férias de meio de ano e 8 semanas para as férias de final de ano.

Os percentuais de tecnologia adotado por cada um dos veículos a cada ano foi adaptado de Di Beo *et al*, (2017) que utilizou dados de SEDEIS(2016) e Ribeiro et al (2015). A adaptação realizada foi referente aos carros híbridos. Segundo dados de tipos de veículos registrados em Niterói segundo DETRAN-RJ (2023) os veículos híbridos ainda são muito poucos no município, e por este motivo os desconsideramos⁸. O percentual previsto de

⁷⁷⁷ Um ano possui 52,14 semanas.

⁸ É importante destacar que a previsão de eficiência energética dos veículo flex, de 25% em relação a 2016, incorpora em parte a presença e eficiência dos veículos híbridos.

híbridos foi incorporado ao de carros flex, o que fez com que se assemelhasse mais ao formato da frota atual.⁹

Tabela 2 – Tecnologia de Combustível Utilizada por Veículo

Ano	Carro			Moto		Uber/Táxi	Ônibus
	Etanol Hidratado	Gasolina C	Flex Fuel	Gasolina C	Flex Fuel	GNV	Diesel
2023	4,9%	51,6%	43,5%	46,5%	53,5%	100%	100%
2024	4,2%	51,5%	44,3%	42,3%	57,7%		
2025	3,5%	51,5%	45,0%	38,0%	62,0%		
2026	2,8%	51,5%	45,7%	33,7%	66,3%		
2027	2,1%	51,5%	46,4%	29,5%	70,5%		
2028	1,4%	51,5%	47,1%	25,2%	74,8%		
2029	0,7%	51,5%	47,8%	20,9%	79,1%		
2030	0,0%	51,5%	48,5%	16,7%	83,3%		

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados presentes em Di Beo et al (2017), SEDEIS(2016), Ribeiro et al(2015), DETRANRJ(2023)

Para o caso dos veículos flex, consideraremos o percentual de utilização de gasolina C e etanol previstos por SEDEIS (2016) para o cenário 2030, que prevê a participação do etanol chegar a 30% do volume total de combustível comercializado nos veículos flex ao final da série¹⁰. O percentual de mistura de etanol na gasolina considerado é o de 27%, que iguala a referência do estudo supracitado e os montantes atuais.

Tabela 3- Mix de Utilização de Combustíveis em Veículos Flex no período de 2023-2030

Escolha Combustível Flex		
Ano	Gasolina C	Etanol
2023	73,00%	27,00%
2024	72,57%	27,43%
2025	72,14%	27,86%
2026	71,71%	28,29%
2027	71,29%	28,71%
2028	70,86%	29,14%
2029	70,43%	29,57%
2030	70,00%	30,00%

Fonte: SEDEIS(2016), Di Beo et al (2017)

⁹ É importante destacar que a eficiência prevista no consumo dos veículos flex é otimista, acaba por compensar um potencial efeito de aumento dos veículos híbridos.

¹⁰ Apesar de parecer uma expectativa otimista, dados de consumo de combustível da ANP(2022) indicam que os percentuais dos últimos anos corroboram com esta hipótese, como pode ser visto no ANEXO 1.

O Biodiesel considerado em nosso cenário de 2023 é o B10¹¹, e estamos assumindo que o mesmo evolua para B20 até 2030, conforme pode ser visto na projeção a seguir.

Tabela 4 - Participação do Biodiesel no Diesel 2023-2030

Participação Combustível	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Óleo Diesel	90,0%	88,6%	87,1%	85,7%	84,3%	82,9%	81,4%	80,0%
Biodiesel	10,0%	11,4%	12,9%	14,3%	15,7%	17,1%	18,6%	20,0%

Fonte: Elaboração Própria

A Eficiência Energética (EE) dos Veículos foi adaptada de SEDEIS (2016). Para ônibus convencionais estamos utilizando o valor atual de rendimento dos ônibus modelo Padron, para os ônibus rodoviários estamos utilizado o consumo indicado na ferramenta do GHG Protocol que utiliza parâmetros do Ministério do Meio Ambiente de 2014. Para as motocicletas e carros flex mantivemos as previsões de eficiência energética que culminam em respectivamente aumento de 10% e 25% no ano de 2030 em relação a eficiência de 2016¹². Assim como SEDEIS (2016) mantivemos os valores de rendimento dos carros e motos movidos apenas a álcool ou gasolina. Para os veículos a GNV, consideramos seu rendimento igual a média dos carros a gasolina e flex que utilizam gasolina. Fizemos essa consideração devido a existir evidências de que com as tecnologias atuais que com um metro cúbico de GNV um carro possui rendimento maior ou igual a de um litro de gasolina, assim sendo, equiparamos seu ganho de eficiência ao de combustíveis à gasolina.

¹¹ Apenas para projeções de consumo de barcas consideraremos o óleo diesel puro, uma vez que a aplicação de biodiesel nesses modais ainda está em fase de testes. Para maiores detalhes veja: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/01/17/biodiesel-sera-testado-em-transporte-maritimo-neste-ano.html>

¹² Este aumento de eficiência projetado cobre em parte o efeito da inserção de híbridos.

Tabela 5 - Rendimento dos Veículos por Combustível Utilizado

Rendimento Veículo/Ano	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ônibus Convencional (Km/L)	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
Ônibus Rodoviário (Km/L)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Motocicleta Gasolina(Km/L)	39,05	39,32	39,58	39,85	40,11	40,38	40,64	40,91
Motocicleta Flex Gasolina(Km/L)	45,36	45,67	45,98	46,29	46,59	46,90	47,21	47,52
Motocicleta Flex Etanol(Km/L)	30,77	30,97	31,18	31,39	31,60	31,81	32,02	32,23
Carro Gasolina(Km/L)	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30
Carro Flex Gasolina(Km/L)	13,73	13,94	14,16	14,38	14,60	14,81	15,03	15,25
Carro Flex Etanol(Km/L)	9,56	9,71	9,87	10,02	10,17	10,32	10,47	10,63
Carro Etanol(Km/L)	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
Carro GNV(Km/m3)	12,51	12,62	12,73	12,84	12,95	13,06	13,17	13,28
Barca(L/pass.Km)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Metrô(kWh/pass.Km)	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132

Fonte: Adaptado de SEDEIS(2016), Di Beo et al (2017)

Por fim, o fator de ocupação do meio de transporte também utilizará como base dados de SEDEIS (2016). Destes dados, atualizamos o fator de ocupação do veículo com carona, de acordo com dados do Caronaê (2020).

Tabela 6 – Passageiros por Veículo

Veículo	Pass/Veículo
Moto	1
Carro	1 ¹³
Taxi	1,4
Carona	2,54
Ônibus Convencional	40
Ônibus Fretado	40

Fonte: Elaboração própria através de dados de SEDEIS(2016) Caronaê(2020).

Uma vez definidas todas as variáveis relacionadas ao consumo de combustível da população, discriminaremos nas seções a seguir os resultados por tipo de veículo e modal.

¹³ No estudo de Dibeo et al, considerou-se a taxa de ocupação de 1 pessoa por veículo tanto para taxis quanto para veículos particulares. Conforme apurado por CETESP(2011) a taxa de ocupação média por carro é de 1,4 pessoas na cidade de São Paulo. Desta forma, para aqueles que pegam taxi e não sabemos se acabam dividindo o deslocamento com outro aluno mantivemos este valor, porém, para aqueles que declaram ir individualmente de carro utilizaremos a taxa de 1 pessoa por veículo.

2.2.4.1.3 Cenário de Referência

O Cenário que utilizaremos como referência é aquele em que não há crescimento populacional de universitários na Universidade Federal Fluminense, inferência esta balizada no fato de não ter tido aumento de cursos na faculdade nos últimos 5 anos, da ocorrência de manutenção do número de concluintes de graduação provenientes de Niterói (UFF, 2023), além do constante corte de orçamento repassado as Universidades Federais (MME, 2023). Este cenário também leva em consideração a manutenção da distribuição da origem/destino dos estudantes que se deslocam para a universidade assim como sua escolha de modal, obtidas através de nossa pesquisa.

2.2.4.1.3.1 Mobilidade Ativa

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 27 mil deslocamentos através de mobilidade ativa, bicicleta e/ou caminhada. Destes, a grande maioria, aproximadamente 24 mil ocorrem através de caminhada. No ano, esse tipo de deslocamento gera 1,1 milhões de deslocamentos, em que não ocorrem gasto energético e consequentemente emissões de gases de efeito estufa¹⁴.

2.2.4.1.3.2 Motos

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 585 deslocamentos através de motos o que totaliza, aproximadamente 23 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por motos projetado no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 99 mil litros de combustível. Desse montante, 32 mil é proveniente de motocicletas à gasolina e 67 mil de motocicletas flex.

¹⁴ Desconsidera-se para este problema utilização de bicicletas elétricas, devido à falta de dados sobre sua representatividade. Além disso, assim como nos demais modais, desconsidera-se as emissões provenientes do ciclo de vida do transporte.

Tabela 7 – Quantidade de combustível consumida por motos no período 2023-2030

Motos	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Moto	12.672,34	12.600,85	12.533,10	12.476,02	12.423,18	12.380,61	12.341,16	12.312,82	99.740,09
Motocicleta Gasolina C	6.082,20	5.495,46	4.903,69	4.319,80	3.756,39	3.187,73	2.626,52	2.085,07	32.456,86
Motocicleta Flex Gasolina	4.831,46	5.078,75	5.324,18	5.545,74	5.749,80	5.938,18	6.118,69	6.267,44	44.854,23
Motocicleta Flex Álcool	1.758,67	2.026,64	2.305,23	2.610,49	2.917,00	3.254,70	3.595,95	3.960,31	22.429,00

Fonte: Elaboração Própria

Considerando veículos dedicados e flex temos o consumo de 77 mil litros de gasolina tipo C e 22 mil litros de etanol hidratado.

Tabela 8 – Quantidade de gasolina C e etanol hidratado consumida por motos no período 2023-2030

Combustível Total	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina C	10.913,66	10.574,20	10.227,86	9.865,54	9.506,19	9.125,91	8.745,21	8.352,51	77.311,09
Etanol Hidratado	1.758,67	2.026,64	2.305,23	2.610,49	2.917,00	3.254,70	3.595,95	3.960,31	22.429,00

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a Gasolina C é formada por Gasolina A e 27% de etanol anidro temos que o etanol anidro corresponde a 20 mil litros e 56 mil litros correspondem à gasolina pura.

Tabela 9 – Quantidade de gasolina A e etanol anidro consumida por motos no período 2023-2030

Gasolina C	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina A	7.966,97	7.719,17	7.466,34	7.201,84	6.939,52	6.661,92	6.384,00	6.097,33	56.437,10
Etanol Anidro	2.946,69	2.855,04	2.761,52	2.663,70	2.566,67	2.464,00	2.361,21	2.255,18	20.873,99

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.3 Carros

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 18 mil deslocamentos através de carros o que totaliza, aproximadamente 730 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por carros projetado no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 11,4 milhões de litros de combustível. Desse montante, 6,1 milhões é proveniente de carros à gasolina, 4,7 milhões de carros flex e 480 mil de carros movidos à etanol hidratado.

Tabela 10 – Quantidade de combustível consumida por carros no período 2023-2030

Carros	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Carro	1.478.012,55	1.464.278,29	1.450.466,15	1.436.886,54	1.423.070,54	1.409.487,32	1.395.667,80	1.382.081,28	11.439.950,45
Gasolina C	774.067,25	772.567,12	772.567,12	772.567,12	772.567,12	772.567,12	772.567,12	772.567,12	6.182.037,13
Flex Gasolina	430.882,36	423.871,40	416.403,42	408.391,89	400.914,48	392.893,78	385.407,78	377.378,69	3.236.143,80
Flex Etanol	152.682,91	164.656,88	175.509,87	187.138,94	197.997,49	209.632,12	220.495,74	232.135,46	1.540.249,43
Etanol Hidratado	120.380,02	103.182,88	85.985,73	68.788,59	51.591,44	34.394,29	17.197,15	0,00	481.520,10

Fonte: Elaboração Própria

Considerando veículos dedicados e flex temos o consumo 9,4 milhões de litros de gasolina tipo C e 2,02 milhões de litros de etanol hidratado.

Tabela 11 – Quantidade de gasolina C e etanol hidratado consumida por carros no período 2023-2030

Combustível Total	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina C	1.204.949,61	1.196.438,53	1.188.970,54	1.180.959,01	1.173.481,61	1.165.460,91	1.157.974,91	1.149.945,81	9.418.180,93
Etanol Hidratado	273.062,94	267.839,76	261.495,61	255.927,53	249.588,93	244.026,41	237.692,89	232.135,46	2.021.769,52

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a Gasolina C é formada por Gasolina A e 27% de etanol anidro temos que o etanol anidro corresponde a 2,5 milhões e 6,8 milhões litros correspondem à gasolina pura.

Tabela 12 – Quantidade de gasolina A e etanol anidro consumida por carros no período 2023-2030

Gasolina C	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina A	879.613,22	873.400,13	867.948,50	862.100,08	856.641,57	850.786,46	845.321,68	839.460,44	6.875.272,08
Etanol Anidro	325.336,39	323.038,40	321.022,05	318.858,93	316.840,03	314.674,45	312.653,23	310.485,37	2.542.908,85

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.4 Carona

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 40 mil deslocamentos através de caronas o que totaliza, aproximadamente 1,6 milhões de deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por este tipo de deslocamento projetado no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 13 milhões de litros de combustível. Desse montante, 7 milhões é proveniente de carros à gasolina, 5,4 milhões de carros flex e 548 mil de carros movidos à etanol.

Tabela 13 – Quantidade de combustível consumida por carros(caronas) no período 2023-2030

Carona	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Carro	1.684.779,14	1.669.123,53	1.653.379,14	1.637.899,81	1.622.151,02	1.606.667,58	1.590.914,77	1.575.427,57	13.040.342,57
Gasolina C	882.355,41	880.645,42	880.645,42	880.645,42	880.645,42	880.645,42	880.645,42	880.645,42	7.046.873,34
Flex Gasollina	491.160,65	483.168,90	474.656,18	465.523,88	457.000,43	447.857,67	439.324,41	430.172,09	3.688.864,21
Flex Etanol	174.042,49	187.691,56	200.062,83	213.318,75	225.696,35	238.958,61	251.342,00	264.610,06	1.755.722,65
Etanol Hidratado	137.220,59	117.617,65	98.014,71	78.411,77	58.808,82	39.205,88	19.602,94	0,00	548.882,36

Fonte: Elaboração Própria

Considerando veículos dedicados e flex temos o consumo 10,7 milhões de litros de gasolina tipo C e 2,3 milhões de litros de etanol hidratado.

Tabela 14 – Quantidade de gasolina C e etanol hidratado consumida por carros(caronas) no período 2023-2030

Combustível Total	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina C	1.373.516,06	1.363.814,32	1.355.301,60	1.346.169,30	1.337.645,84	1.328.503,09	1.319.969,83	1.310.817,51	10.735.737,56
Etanol Hidratado	311.263,08	305.309,21	298.077,54	291.730,51	284.505,18	278.164,49	270.944,94	264.610,06	2.304.605,01

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a Gasolina C é formada por Gasolina A e 27% de etanol anidro temos que o etanol anidro corresponde a 2,9 milhões e 7,8 milhões litros correspondem à gasolina pura.

Tabela 15 – Quantidade de gasolina A e etanol anidro consumida por carros(caronas) no período 2023-2030

Gasolina C	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Gasolina A	1.002.666,73	995.584,46	989.370,17	982.703,59	976.481,47	969.807,25	963.577,98	956.896,78	7.837.088,42
Etanol Anidro	370.849,34	368.229,87	365.931,43	363.465,71	361.164,38	358.695,83	356.391,85	353.920,73	2.898.649,14

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.5 Taxi/Aplicativo de Mobilidade

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 8,7 mil deslocamentos através de táxis/aplicativos de mobilidade o que totaliza, aproximadamente 351 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por taxis e aplicativos de mobilidade projetado no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 2,3 milhões de m³ de combustível. Em nosso problema consideramos que 100% dos taxis e aplicativos de mobilidade utilizam GNV, conseqüentemente o total de GNV projetado iguala a quantidade e combustível.

Tabela 16 – Quantidade de combustível consumida por taxi/aplicativos de mobilidade no período 2023-2030

Taxi/Aplicativo de Transporte	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Carro	297.884,22	295.313,34	292.786,46	290.302,46	287.860,25	285.458,79	283.097,07	280.774,11	2.313.476,72
GNV	297.884,22	295.313,34	292.786,46	290.302,46	287.860,25	285.458,79	283.097,07	280.774,11	2.313.476,72

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.6 Ônibus

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 85 mil deslocamentos através de ônibus o que totaliza, aproximadamente 3,4 milhões deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por ônibus no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 8 milhões de litros de diesel. Em nosso problema consideramos que 100% dos ônibus são movidos a diesel, porém que o percentual do biodiesel na mistura de combustível varia com o tempo atingindo 20% em 2030. A partir dessas informações, chegamos a um total de consumo projetado de 6,8 milhões de litros de óleo diesel e 1,2 milhões de litros de biodiesel.

Tabela 17 – Quantidade de combustível consumida por ônibus no período 2023-2030

Ônibus	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Óleo Diesel	903.757,48	889.412,12	875.066,77	860.721,41	846.376,05	832.030,69	817.685,34	803.339,98	6.828.389,84
Biodiesel	100.417,50	114.762,85	129.108,21	143.453,57	157.798,92	172.144,28	186.489,64	200.835,00	1.205.009,97

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.7 Ônibus Rodoviário

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 5,2 mil deslocamentos através de ônibus rodoviário o que totaliza, aproximadamente 210 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por ônibus rodoviários no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 856 mil litros de diesel. Utilizando nossa projeção para o fator de biodiesel na mistura, chegamos a um total de consumo projetado de 728 mil litros de óleo diesel e 128 mil litros de biodiesel.

Tabela 18 – Quantidade de combustível consumida por ônibus rodoviários no período 2023-2030

Ônibus Rodoviário	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Óleo Diesel	96.419,11	94.888,65	93.358,19	91.827,73	90.297,26	88.766,80	87.236,34	85.705,88	728.499,95
Biodiesel	10.713,23	12.243,70	13.774,16	15.304,62	16.835,08	18.365,55	19.896,01	21.426,47	128.558,82

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.8 Barca/Caminhada

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 1,3 mil deslocamentos através de barca/caminhada o que totaliza, aproximadamente 52 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado pelo transporte via barcas e caminhada, no horizonte de tempo definido pelo estudo, é de 15,7 mil litros de óleo diesel. Deslocamentos à pé não contabilizam emissões e gasto energético e consequentemente todo o gasto provém do deslocamento da barca.

Tabela 19 – Quantidade de combustível consumida por barca/caminhada no período 2023-2030

Barca	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Locomoção	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	15.729,04
Barca	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	1.966,13	15.729,04
Caminhada	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.9 Barca/Bicicleta

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 585 deslocamentos através de barca/bicicleta o que totaliza, aproximadamente 23,4 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado pelo transporte via barcas e bicicleta, no horizonte de tempo definido pelo estudo, é de 7 mil litros de óleo diesel. Para este problema consideramos as bicicletas neutras em emissões.

Tabela 20 – Quantidade de combustível consumida por barca/bicicleta no período 2023-2030

Barca	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Locomoção	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	6.990,69
Barca	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	873,84	6.990,69
Bicicleta	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.10 Barca/Ônibus

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 8,6 mil deslocamentos através de barca/ônibus o que totaliza, aproximadamente 345 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado pelo transporte via barcas e ônibus, no horizonte de tempo definido pelo estudo, é de 1 milhão litros de Diesel.

Tabela 21 – Quantidade de combustível consumida por barca/ônibus no período 2023-2030

Barca/Ônibus	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Locom	126.089,42	126.089,42	126.089,42	126.089,42	126.089,42	126.089,42	126.089,42	126.089,42	1.008.715,37
Barca	12.889,08	12.889,08	12.889,08	12.889,08	12.889,08	12.889,08	12.889,08	12.889,08	103.112,62
Ônibus	113.200,34	113.200,34	113.200,34	113.200,34	113.200,34	113.200,34	113.200,34	113.200,34	905.602,75

Fonte: Elaboração Própria

Para os ônibus consideramos a utilização de Biodiesel, com os percentuais descritos na seção anterior. Para as barcas, consideramos óleo diesel puro, uma vez que a utilização de Biodiesel, se encontra ainda em fase de testes. Com base nestas informações, chegamos a um montante total de 872 mil litros de óleo diesel e 135 mil litros de biodiesel consumidos.

Tabela 22 – Quantidade de diesel e biodiesel consumida por barca/ônibus no período 2023-2030

Combustível Total	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Óleo Diesel	114.769,39	113.152,24	111.535,09	109.917,94	108.300,80	106.683,65	105.066,50	103.449,35	872.874,96
Biodiesel	11.320,03	12.937,18	14.554,33	16.171,48	17.788,63	19.405,77	21.022,92	22.640,07	135.840,41

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.11 Barca/Metrô

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 9,1 mil deslocamentos através de barca/metrô o que totaliza, aproximadamente 365 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado pelo transporte via barcas e metrô, no horizonte de tempo definido pelo estudo, é de 108 mil litros de óleo diesel e 3,4 milhões kWh, sendo 100% do diesel derivado do transporte via barcas e 100% da eletricidade derivado do transporte via metrô.

Tabela 23 – Quantidade de combustível consumida por barca/metrô no período 2023-2030

Barca	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Combustível por Tipo de Locomoção	439.643,30	439.643,30	439.643,30	439.643,30	439.643,30	439.643,30	439.643,30	439.643,30	3.517.146,39
Barca	13.617,27	13.617,27	13.617,27	13.617,27	13.617,27	13.617,27	13.617,27	13.617,27	108.938,19
Metrô (kWh)	426.026,03	426.026,03	426.026,03	426.026,03	426.026,03	426.026,03	426.026,03	426.026,03	3.408.208,20

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.12 Barca/Metrô/Ônibus

Os dados da pesquisa realizada indicam que por semana os alunos/funcionários da UFF realizam 2,2 mil deslocamentos através de barca/metrô/ônibus o que totaliza, aproximadamente 87 mil deslocamentos/ano. O total de combustível utilizado por barca/metrô/ônibus projetado no horizonte de tempo definido pelo estudo é de 128 mil litros de diesel e 1,5 milhões de kWh. Levando em consideração os percentuais de Biodiesel estimados no estudo, projetamos que 113 mil litros sejam provenientes de óleo diesel e 15 mil litros de biodiesel.

Tabela 24 – Quantidade de combustível consumida por barca/metrô/ônibus no período 2023-2030

Combustível Total	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Óleo Diesel	14.813,42	14.630,30	14.447,18	14.264,06	14.080,94	13.897,82	13.714,70	13.531,58	113.380,02
Biodiesel	1.281,84	1.464,96	1.648,08	1.831,20	2.014,32	2.197,44	2.380,56	2.563,67	15.382,05
Energia Elétrica	192.045,39	192.045,39	192.045,39	192.045,39	192.045,39	192.045,39	192.045,39	192.045,39	1.536.363,14

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.1.3.13 Consumo Energético Total

Somando-se o total de consumo energético projetado para o deslocamento dos alunos da UFF no horizonte projetado, temos o total de combustível necessário para esse deslocamento de acordo com o tipo de combustível.

Tabela 25 – Quantidade de combustível consumida no período 2023-2030, Cenário de Referência

Combustível	Total
Óleo Diesel(L)	8.674.802,69
Biodiesel(L)	1.484.791,25
Etanol Hidratado(L)	4.348.803,54
Etanol Anidro (L)	5.462.431,99
Gasolina(L)	14.768.797,59
GNV(M3)	2.313.476,72
Eletricidade (kWh)	4.944.571,35

Fonte: Elaboração Própria

Tendo em vista os montantes de combustível estimados, iremos na próxima seção projetar a quantidade de emissões proveniente deste deslocamento.

2.2.4.1.4 Cálculo do Emissões de CO₂eq.

Em posse da quantidade de litros e kWh consumido por cada tipo de combustível, realizou-se a conversão de emissões em TCO₂ eq.. Neste sentido utilizou-se os fatores de emissão definidos na metodologia de contabilização do GHG Protocol para os combustíveis líquidos. Já para as emissões provenientes de consumo de energia elétrica foram utilizados os dados de TCO₂/mWh dos últimos 5 anos do sistema elétrico brasileiro 2018-2022¹⁵ (MCTI, 2022). Os dados podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 26 - Parâmetros utilizados nas estimativas de emissões de CO₂ equivalente

Fatores de Emissão	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina	2,212	0,000807717	0,00025847
Etanol Hidratado	1,457	0,000384	0,000013
Etanol Anidro	1,526	0,000223544	1,34126E-05
GNV(m3)	1,999	0,003389633	0,000110532
Óleo Diesel	2,603	0,000138531	0,000138531
Biodiesel	2,431	0,000331595	1,98957E-05
Eletricidade (TCO ₂ /mWh)	0,07618*	-	-
*obs: fator de emissões 2022, média de janeiro a novembro			

Fonte: GHG PROTOCOL, 2022 e MCTI 2022

¹⁵ O fator médio do ano de 2022, considerou os meses entre janeiro e novembro.

É importante destacar aqui que para este estudo consideramos, as emissões de CO₂ provenientes de biocombustíveis neutras, uma vez que todo CO₂ gerado através de um ciclo biológico e não geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil, gera absorções de CO₂ neutralizam suas emissões (GHG PROTOCOL, 2022). Este tipo de emissão é também chamado de emissão biogênica e terá sua contabilidade destacada a parte neste relatório. Contudo, as emissões de NO₂ e CH₄ destes combustíveis entrarão na conta do inventário, assim como defendido pelo protocolo de registro de emissões GHG Protocol.

2.2.4.1.5 Emissões Totais

O total de emissões projetado no horizonte de tempo é de 62,3 mil toneladas de CO₂eq. A principal fonte de emissões decorre dos deslocamentos de ônibus, carona e carro, respectivamente. Os 3 juntos são responsáveis por aproximadamente 83% das emissões.

Tabela 27 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por modal, 2023-2030, Cenário de Referência

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO₂eq.	% de Emissões Modal
Moto	130,50	0,21%
Carro	15.888,07	25,47%
Carona	18.110,73	29,04%
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	4.911,98	7,88%
Ônibus	18.069,00	28,97%
Ônibus Rodoviário	1.927,73	3,09%
Barca/Caminhada	41,58	0,07%
Barca/Bicicleta	18,48	0,03%
Barca/Ônibus	2.309,50	3,70%
Barca/Metrô	547,62	0,88%
Barca/Metrô/Ônibus	416,99	0,67%
Total	62.372,19	100%

Fonte: Elaboração Própria

Dentre os combustíveis a principal fonte de emissões decorre da gasolina. As emissões de etanol e biodiesel são relevantes, mas considerando-se que são provenientes de absorção de CO₂, grande parte de suas emissões é considerada biogênica e portanto desconsideradas no inventário de emissões.

Tabela 28 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por tipo de combustível, 2023-2030, Cenário de Referência

Tipo de Combustível	Emissões tCO₂eq.	Emissões Biogênicas TCO₂eq
Gasolina A	34.014,17	
Etanol	115,13	14.830,90
Diesel	22.932,62	
Biodiesel	21,61	3.609,53
GNV	4.911,98	-
Energia Elétrica	376,68	-
Total	62.372,19	18.440,42

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.2 Cenários de Incentivo à Carona

O cálculo do consumo de combustível e das emissões decorrentes destes cenários seguiram a metodologia indicada no Cenário de Referência. Contudo, nos Cenários de Incentivo à Carona, projetamos que a adoção de um aplicativo e demais políticas de incentivo por parte da Universidade e do Governo, sejam capazes incentivar fortemente a adoção deste tipo de locomoção até 2030. Para podermos avaliar os impactos dessa política contaremos com 2 cenários:

- i) Crescimento de 50% das caronas: há um crescimento linear da carona a ponto que cresça 50% em 2030, em decorrência de uma diminuição proporcional dos demais modais de deslocamento, com exceção daqueles de mobilidade ativa¹⁶; e
- ii) Substituição de carros individuais por carona: o aumento da carona reduz apenas a utilização de carros individuais, de forma em que 2030 só exista locomoção de carro via carona.

Estes cenários e foram desenhados uma vez que acredita-se ser possível a ampliação da carona pela propensão da comunidade universitária em aceitar caronas conforme indicam SILVA, ANDRADE e MAIA (2016). Este fato, pode ser corroborado pelo significativo

¹⁶ Os deslocamentos de mobilidade ativa considerados nesse estudo são: bicicleta e caminhada.

índice de caronas já adotado pelos alunos em um cenário em que não há nenhum incentivo para a sua adoção. Além disso, a experiência do Caronaê aponta o potencial de medidas nesse sentido, principalmente levando em consideração que usa o registro de matrículas da universidade, aumentando desta forma a segurança entre os usuários.

2.2.4.3 Consumo Energético

2.2.4.3.1 Cenário de Substituição Proporcional de Modais

No cenário em que há aumento de 50% das caronas em função da substituição proporcional dos outros modos de deslocamento, exceto mobilidade ativa, obtemos um efeito de redução substancial no óleo diesel, biodiesel, gnv e eletricidade, porém este efeito é compensado por um aumento superior de gasolina etanol anidro e hidratado.

Tabela 29 – Quantidade de combustível consumida no período 2023-2030, Cenário de Substituição Proporcional de Modais

Combustível	Total
Óleo Diesel(L)	7.423.919,05
Biodiesel(L)	1.270.688,27
Etanol Hidratado(L)	5.206.338,01
Etanol Anidro (L)	6.542.065,84
Gasolina(L)	17.687.807,64
GNV(M3)	1.979.879,48
Eletricidade (kWh)	4.231.577,22

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.3.2 Cenário de Deslocamentos de Carro Via Carona

No cenário em que há substituição completa de deslocamentos individuais de carros, por caronas obtemos uma economia de 500 mil litros de etanol hidratado, 600 mil litros de etanol anidro e 1,6 milhões de litros de gasolina no horizonte de tempo estudado.

Tabela 30 – Quantidade de combustível consumida no período 2023-2030, Cenário de Deslocamentos de Carro via Carona

Combustível	Total
Óleo Diesel(L)	8.674.802,69
Biodiesel(L)	1.484.791,25
Etanol Hidratado(L)	3.874.379,18
Etanol Anidro (L)	4.850.193,77
Gasolina(L)	13.113.486,86
GNV(M3)	2.313.476,72
Eletricidade (kWh)	4.944.571,35

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.4 Emissões de CO₂eq.

2.2.4.4.1 Cenário de Substituição Proporcional de Modais

No cenário em que há aumento de 50% das caronas em função da substituição proporcional dos outros modos de deslocamento, exceto mobilidade ativa, obtemos um aumento das emissões provenientes de carona na ordem de 9 mil toneladas e uma redução dos demais modais.

Tabela 31 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por modal, 2023-2030, Cenário de Substituição Proporcional de Modais

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO₂eq.	% de Emissões Modal
Moto	111,68	0,17%
Carro	13.597,05	20,90%
Carona	27.166,10	41,76%
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	4.203,68	6,46%
Ônibus	15.463,50	23,77%
Ônibus Rodoviário	1.649,75	2,54%
Barca/Caminhada	35,59	0,05%
Barca/Bicicleta	15,82	0,02%
Barca/Ônibus	1.976,48	3,04%
Barca/Metrô	468,66	0,72%
Barca/Metrô/Ônibus	356,86	0,55%
Total	65.045,17	100%

Fonte: Elaboração Própria

No total há um aumento líquido de 2,7 mil toneladas a serem contabilizadas no inventário além do aumento de 2,4 mil toneladas biogênicas no horizonte de tempo do estudo.

Tabela 32 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por tipo de combustível, 2023-2030, Cenário de Substituição Proporcional de Modais

Tipo de Combustível	Emissões tCO₂eq.	Emissões Biogênicas TCO₂eq
Gasolina A	40.736,98	
Etanol	137,86	17.807,35
Diesel	19.625,80	
Biodiesel	18,50	3.089,04
GNV	4.203,68	-
Energia Elétrica	322,36	-
Total	65.045,17	20.896,40

Fonte: Elaboração Própria

2.2.4.4.2 Cenário de Deslocamentos de Carro Via Carona

No cenário em que há substituição completa de deslocamentos individuais de carros, por caronas obtemos uma redução da emissão de carros na ordem de 7,8 mil toneladas de CO₂eq., porém em contrapartida um aumento de 4 mil toneladas provenientes de carona.

Tabela 33 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por tipo de combustível, 2023-2030, Cenário de Deslocamentos de Carro Via Carona

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO₂eq.2	% de Emissões Modal
Moto	130,50	0,2%
Carro	8.023,36	13,7%
Carona	22.150,36	37,8%
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	4.911,98	8,4%
Ônibus	18.069,00	30,9%
Ônibus Rodoviário	1.927,73	3,3%
Barca/Caminhada	41,58	0,1%
Barca/Bicicleta	18,48	0,0%
Barca/Ônibus	2.309,50	3,9%
Barca/Metrô	547,62	0,9%
Barca/Metrô/Ônibus	416,99	0,7%
Total	58.547,10	100%

Fonte: Elaboração Própria

No total há uma redução líquida de 3,8 mil toneladas a serem contabilizadas no inventário além da redução de 1,6 mil toneladas biogênicas no horizonte de tempo do estudo.

Tabela 34 – Emissões estimadas de deslocamentos da UFF em TCO₂eq., por tipo de combustível, 2023-2030, Cenário de Deslocamentos de Carro Via Carona

Tipo de Combustível	Emissões tCO₂eq.	Emissões Biogênicas TCO₂eq
Gasolina A	30.201,81	
Etanol	102,41	13.239,96
Diesel	22.932,62	
Biodiesel	21,61	3.609,53
GNV	4.911,98	-
Energia Elétrica	376,68	-
Total	58.547,10	16.849,48

Fonte: Elaboração Própria

2.3 Conclusões

A proposta de adoção de carona em Niterói leva em consideração os objetivos da cidade descrito em seu PMU e os objetivos ambientais descritos em seu plano diretor. A cidade tenta combater um dos maiores engarrafamentos do país e ao mesmo tempo se tornar uma cidade sustentável.

Conforme revisado em capítulos anteriores o incentivo à carona tem sido adotado em várias partes do mundo, com a finalidade de reduzir o tráfego e as emissões de pessoas. O seu efeito líquido em termos de redução de tráfego e emissões é paradoxal e depende de qual meio de transporte está sendo substituído para a sua aplicação.

Devido a esta particularidade, sugerimos uma aplicação piloto em Niterói, utilizando a Universidade Federal Fluminense para esse experimento. A Universidade Federal do Rio de Janeiro já possui uma solução deste modelo, o Caronaê, e é estimado um efeito positivo para sua aplicação. A premissa aqui adotada é que em Niterói, o efeito da aplicação de um aplicativo com essa motivação pode ser muito mais significativo, uma vez que a faculdade encontra-se em área estratégica da cidade e de alto tráfego e sua população corresponde a aproximadamente 5% da população da cidade.

Com base nas premissas acima descritas, calculamos o gasto energético e o inventário de emissões dos deslocamentos dos alunos da Universidade Federal Fluminense. Encontramos que esta população gera aproximadamente 8,43 milhões de deslocamentos anuais, tendo um nível de emissões de 62,3 mil toneladas de CO₂ eq.

Tendo como base o cenário de referência, estimamos dois cenários que propõem a adoção à carona. No primeiro, propomos que o percentual de carona dobre em troca de uma redução proporcional de todos os modais, excluindo-se os modais de mobilidade ativa. No segundo, avaliamos o impacto de uma troca total de deslocamentos individuais de carro para a faculdade por adoção de carona.

Ao avaliar os cenários concluímos que no cenário de redução proporcional temos ao longo dos anos 2,7 mil toneladas de carbono extras que em comparação ao cenário de referência, por outro lado em relação ao cenário de substituição de 100% das caronas por veículos individuais é possível visualizar uma queda de emissões na ordem 3,8 mil toneladas.

Uma vez que consideramos o cenário 1 mais factível, sendo o segundo realizado em nossa pesquisa para avaliar o potencial máximo de redução no caso de substituição completa por carona, vislumbramos que há maior possibilidade de aumento que redução de emissões na aplicação de caronas. Contudo, é importante ressaltar que caso haja um trabalho focalizado naqueles que utilizam carros de maneira individual há sim possibilidade de redução de emissões, além de ganho de conforto e segurança para os usuários.

3. Bicicletas

A bicicleta é um elemento fundamental na construção de uma mobilidade urbana mais sustentável, pois ao prover um deslocamento que em outro momento seria feito por um veículo emissor de gases poluentes, ajuda na redução dos efeitos das mudanças climáticas por meio da diminuição de gases de efeito estufa lançados na atmosfera.

Com o intuito de promover os benefícios deste modal e tornar mais acessível seu uso, o Sistema de Compartilhamento de Bicicletas, *Bike Sharing Systems* (BSS), foi criado e popularizou-se por diversas cidades no mundo, adquirindo experiências e modelos diferentes de acordo com as especificidades de cada região.

A substituição das viagens empregando modais poluidores pelo deslocamento com bicicletas representa a redução da emissão da cidade, a diminuição do congestionamento do trânsito e, conseqüentemente, a melhora na mobilidade urbana e na saúde da população.

Vieira et al. (2020) apontam que ocorreu uma redução das emissões de CO₂ em 2018 com o desenvolvimento dos sistemas de compartilhamento de bicicletas em relação ao sistema existente em 2014, não só pelo aumento da oferta do sistema de bicicletas compartilhadas, mas também devido a maiores taxas de transferência do transporte motorizado para a bicicleta.

Ademais, é importante notar que os sistemas de compartilhamento de bicicletas são frequentemente implementados com o objetivo de aumentar a mobilidade nos primeiros e últimos quilômetros de transporte de passageiros para outros modais, funcionando dessa forma como meios de transporte complementares, incentivando a adoção de modais coletivos e conseqüentemente reduzindo assim o trânsito, o consumo de energia e impacto ambiental nas cidades (VIEIRA et al., 2020).

No Brasil, o município do Rio de Janeiro é o precursor do sistema nacional, iniciado em outubro de 2011 e atualmente operado pela Empresa TemBici. Estes sistemas seguiram sendo adotados em diversas cidades do Brasil como São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Porto Alegre (VIEIRA et al., 2020).

Vieira et al. destacam que, em 2018, 10,42% das viagens de sistemas de bicicletas substituíram o uso de transporte individual compartilhado, como o Uber. A pesquisa de usuários do Bicletário Araribóia em 2017 corrobora com o fato de que a facilitação à utilização de bicicletas é capaz de substituir outros modais. Os resultados encontrados indicam que 49,3% dos usuários não utilizavam a bicicleta antes da abertura do bicicletário, e 69,7% substituíram o ônibus pela bicicleta (PMUS, 2020).

A substituição de modais promovida pelos sistemas de bikesharing já possuem metodologia para apuração de créditos de carbono aprovada. Os créditos de carbono da operação da TemBici no Rio de Janeiro, foram leiloados na “bolsa”¹⁷ instalada também

¹⁷ O crédito de carbono não é um ativo mobiliário, conseqüentemente, não necessita de uma bolsa para ser transacionado. A negociação citada ocorreu no marketplace da Air Carbon Exchange, que possui sede em 7 países e se instalou na Rio de Janeiro em 2022.

na cidade do Rio em abril de 2022, tendo sido esta operação a primeira venda a mercado de créditos de micromobilidade urbana do mundo. Este tipo de iniciativa acaba por gerar mais um meio de financiamento para estes modais e consequentemente incentivar sua implementação.

Deste modo, serão avaliados os impactos ambientais que a ampliação do uso da bicicleta na cidade de Niterói pode trazer, através de cenários que simulem a substituição de outros modais de mobilidade urbana pelo sistema de *bikesharing* na cidade.

3.1 Características da Mobilidade em Niterói

De acordo com dados de janeiro de 2023 do Departamento de Estatística do Detran, Niterói é o quinto município do estado com a maior frota de veículos voltados para uso de passageiros (264 mil registros), atrás apenas do Rio de Janeiro (2,87 milhões de veículos) e de municípios populosos como Duque de Caxias(301 mil), São Gonçalo (317 mil) e Nova Iguaçu (283 mil veículos). Uma vez que segundo dados do IBGE (IBGE, 2021) a cidade de Niterói conta com uma população de 516.981 habitantes, podemos constatar que existem aproximadamente cerca de 0,51 veículos de passageiros por habitante, contra 0,42 do Rio de Janeiro e 0,29 de São Gonçalo, o que está diretamente relacionado ao congestionamento da cidade.

Segundo o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Niterói 2020-2030, o sistema de transporte coletivo de Niterói é constituído pelo sistema de ônibus municipal e intermunicipal, barcas, vans e transporte escolar. O desenho desse sistema, garante que 95% da população tenha que se deslocar menos que 500m para acessá-lo (PMUS, 2020).

Dentre os modais, o sistema de ônibus municipal, se destaca, transportando mais de 300 mil passageiros/dia. No total, 61 linhas de diferentes tipos formam esse sistema, sendo elas: radiais, circulares, diametrais e inter-regionais (PMUS, 2020).

- 57% das linhas são radiais. As linhas radiais são caracterizadas por percorrer grandes avenidas e possuir alta demanda por ligar bairros periféricos à região central da cidade;
- 15% das linhas são diametrais. As linhas diametrais ligam dois bairros opostos ou de regiões diferentes passando pelo centro.
- 15% das linhas são circulares. As linhas circulares são aquelas que possuem apenas um ponto de partida/ponto de chegada.
- 13% das linhas são inter-regionais. As linhas inter-regionais são aquelas que ligam duas regiões distintas sem passar pelo centro, acessando vias menos congestionadas e acessando caminhos mais curtos entre regiões.

O deslocamento na cidade possui 16 macrozonas de tráfego, definidas pelo PMUS(2020) através das características socioeconômicas e padrões de tráfego dos cidadãos. Onze dessas zonas são internas ao município e 5 externas. As zonas internas ao município, de interesse desse estudo, seguem especificadas à seguir¹⁸:

Internas ao Município

- Região Norte 1
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 66% dos deslocamentos por TC e 34% por TI¹⁹
- Região Norte 2
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 55% dos deslocamentos por TC e 45% por TI
- Região Norte 3
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 68% dos deslocamentos por TC e 32% por TI

¹⁸ Trecho retirado do PMUS (2022)

¹⁹ Entende-se TI como transporte individual e TC como transporte coletivo.

- Centro
 - Tipo de Macrozona: atratora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 54% dos deslocamentos por TC e 46% por TI

- Icaraí
 - Tipo de Macrozona: geradora e atratora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 56% dos deslocamentos por TC e 44% por TI

- Orla Sul
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 47% dos deslocamentos por TC e 53% por TI

- Largo da Batalha
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 64% dos deslocamentos por TC e 36% por TI

- Região Oceânica 1
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Icaraí, Centro, Região Oceânica 2, Região Leste e Leste Metropolitano 1
 - Divisão Modal: 54% dos deslocamentos por TC e 46% por TI

- Região Oceânica 2
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Icaraí, Centro, Região Oceânica 1 e Largo da Batalha
 - Divisão Modal: 62% dos deslocamentos por TC e 38% por TI

- Região Leste

- Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Icaraí, Centro, Região Oceânica 1, Região Oceânica 2, Leste Metropolitano e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 66% dos deslocamentos por TC e 34% por TI
- Maria Paula
 - Tipo de Macrozona: geradora de viagens
 - Principal O/D: Rio de Janeiro, Icaraí, Centro, Região Oceânica 1, Orla Sul e São Gonçalo
 - Divisão Modal: 64% dos deslocamentos por TC e 36% por TI

No total a cidade apresenta 1,2 milhões de viagens diárias, sendo 66% desses deslocamentos realizados por modos motorizados e 33% por modos ativos. Das 823.138 viagens realizadas através de modos motorizados 39,22% correspondem a viagens individuais e 60,78% a viagens de modais coletivos. Os 413.000 deslocamentos efetuados através de modais ativos, por sua vez, têm 12% (50.000 viagens, 4,04% do total) de participação de deslocamento através de bicicletas 87% (363.000 viagens, 29,37% do total) à pé.

Tendo em vista o destino das viagens, observamos que das viagens efetuadas através de modais motorizados, 61% delas têm como destino a própria cidade de Niterói e 38% cidades da região metropolitana do Rio de Janeiro. Das 508 mil viagens com destino em Niterói, 207 mil são executadas através de modais individuais e 301 mil através de modais coletivos. O perfil do deslocamento das 314 mil viagens que saem de Niterói para a região metropolitana, por sua vez, aponta que 115 mil delas utilizam transportes individuais e 198 mil transportes coletivos.

3.2 Emissões Evitadas com o Acréscimo da participação de bicicletas na proporção de modais de deslocamento em Niterói.

3.2.1 Premissas

A metodologia e os dados utilizados para o cálculo do consumo de combustível e emissão de CO₂ por modal na cidade de Niterói serão os mesmos utilizados no capítulo 2 deste relatório. A caracterização da área de estudo, do escopo da proposta e dos cenários

propostos utilizará como referência informações do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Niterói (PMUS, 2020), e dados referentes ao estudo que balizou a creditação de carbono das bicicletas da TemBici pela Verra. Com base nestas informações, realizaremos o cálculo da diferença de gasto energético e emissões associadas a substituição de modais para incentivo de bikesharing tendo em vista o período de 2023 a 2030.

3.2.2 Consumo Energético

Conforme descrito nas seções anteriores a cidade de Niterói conta com 516.981 mil habitantes e apresenta 1,2 milhões de viagens diárias. O perfil dessas viagens é distinto, variando tanto na destinação dos usuários, que podem se deslocar dentro de Niterói ou para outras regiões (com foco na Região Metropolitana do Rio), quanto no perfil do transporte utilizado que pode ser coletivo ou individual.

Tendo em vista os dados de deslocamento apontados em nossa revisão, o primeiro passo para o cálculo do consumo energético é a definição do escopo da análise. Através dela, podem ser estimados o tamanho população em análise, o mix de utilização de seus modais para deslocamento, assim como a distância média percorrida em seu deslocamento.

Uma vez que o objetivo do estudo é avaliar o potencial de redução de emissões através do incentivo à adoção de bicicletas, através de sistemas de *bikesharing*, definiu-se como escopo de análise as viagens iniciadas e terminadas no município de Niterói. As premissas utilizadas para este recorte foram obtidas através de cenários de deslocamento do PMUS, que preveem a bicicleta substituindo um percentual de viagens de até 5km, não sendo assim utilizadas para deslocamentos intermunicipais. Além da alta quilometragem dos deslocamentos entre municípios, há impossibilidade física de algumas viagens, tal qual o deslocamento entre Rio e Niterói via bicicleta. Ao realizar este recorte, restringimos nossa análise ao quantitativo de viagens que ocorrem em Niterói, no total, 921.824 viagens.

Utilizando dados do PMUS 2020, inferimos que das viagens realizadas em Niterói 22,5% são realizadas por transportes individuais e 32,7% através de modais coletivos, 39,4% à pé e 5,4% de bicicleta. A fim de caracterizar o perfil dos transportes individuais e coletivos, utilizamos então as premissas que o projeto da TemBici utilizou para geração de créditos de carbono junto à Verra. Segundo o relatório, os dados utilizados para definir o mix de

TI e TC foram obtidos através do estudo do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU, 2014).

Tabela 35 – Perfil dos Transportes Individuais e Coletivos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Tipo de Deslocamento	Modal	STRJ (2014)
Transporte Coletivo	Ônibus	38,21%
	Mini Ônibus	4,83%
	Metrô	2,96%
	Trem	2,53%
Transporte Individual	Carro (particular taxi ou app)	17,88%
	Moto	0,93%
Mobilidade Ativa	Bicicleta	2,43%
	Caminhada	30,25%
Total		100,00%

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que o referido PDTU é de 2014 e utiliza dados de 2012, o relatório do projeto de crédito de carbono faz ainda um *disclaimer*. Os executores do projeto alegaram que apesar da distância do período de avaliação para a data de requisição de créditos, dados mais recentes da ANTP (2020) corroboram as informações, apresentando magnitudes condizentes com a avaliação do PDTU e por isso devem ser entendidos como suficientes para representar o mix atual da frota. O argumento foi aceito pela VERRA, maior certificadora de créditos de carbono do mundo. Os dados dos dois estudos são comparados a seguir:

Tabela 36 – Perfil dos Transportes Individuais e Coletivos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro segundo STRJ(2014) e ANTP(2020)

Tipo de Deslocamento	Modal	STRJ (2014)	ANTP (2020)
Transporte Coletivo	Ônibus	38,21%	30,86%
	Mini Ônibus	4,83%	
	Metrô	2,96%	5,14%
	Trem	2,53%	

	Carro (particular taxi ou app)	17,88%	24,18%
Transporte Individual	Moto	0,93%	3,72%
	Bicicleta	2,43%	2,58%
Mobilidade Ativa	Caminhada	30,25%	33,52%
Total		100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que o mix de modais do PDTU de 2014, foi aceito recentemente em projeto de mesmo objetivo, utilizaremos seus percentuais de TI para estimar a quantidade de carros e motos em Niterói. Uma vez que não há a presença de trem e metrô na cidade, os transportes coletivos serão considerados 100% ônibus. Os percentuais de mobilidade ativa utilizados serão aqueles considerados no recente PMUS elaborado por Niterói. Logo será utilizado como referência o mix dos transportes abaixo destacados:

Tabela 37 – Simulação do Perfil dos Transportes Individuais e Coletivos em Niterói

Tipo de Deslocamento	Modal	PMUS
Transporte Coletivo	Ônibus	32,70%
	Carro	20,02%
	Taxi	1,36%
Transporte Individual	Moto	1,11%
	Bicicleta	5,42%
Mobilidade Ativa	Caminhada	39,38%
Total		100,0%

Fonte: Elaboração Própria

É importante destacar que segundo o PMUS, as viagens em Niterói possuem uma média aproximada de 5km. A definição da distância média percorrida dos usuários de *bikesharing* do projeto da TemBici no Rio de Janeiro entre os anos de 2018-2021 aponta que a distância média percorrida deste modal é de 2,15 km. Os deslocamentos a pé, possuem média ainda inferior o que nos faz inferir que grande parte dos deslocamentos motorizados possuem média superior à 5km.

Tabela 38 – Distância Média Percorrida da Tem Bici no Rio de Janeiro

DMP Tem Bici Rio de Janeiro				
2018	2019	2020	2021	Média
2,29	2,13	1,99	2,2	2,1525

Fonte: Elaboração Própria

Desta forma não é possível assumir que existiria potencial de substituição completa dos modais motorizados para aqueles de mobilidade ativa. Assim sendo, construímos cenários em que assumimos um percentual de substituição de modais dos usuários para bicicletas, considerando as distâncias médias percorridas encontradas no projeto de crédito de carbono da TemBici.

Diante das variáveis discriminadas é possível determinar as emissões do escopo analisado, o que será realizado nas seções à seguir.

3.2.2.1 Caracterização de Cenários

Para o cálculo do consumo de combustível e das emissões decorrentes da substituição de bicicletas por outros modais é necessário em primeiro lugar entender qual a magnitude e o perfil da população que se deslocou para esses modais. Para estimar potenciais comportamentos futuros, serão desenhados nesta seção 3 cenários, que preveem a aceleração de adoção da bicicleta:

- i) Cenário PMUS 2030: Todas as intervenções urbanas previstas no PMUS ocorrem da maneira planejada, de forma que a mobilidade ativa seja altamente incentivada.
- ii) Cenário 20% Bicicleta – Pesquisa Araribóia: há aumento do uso de bicicletas a ponto em que este modal passe a representar 20% dos deslocamentos que ocorrem dentro de Niterói. A substituição dos demais modais ocorrerá na proporção de 60% de modais coletivos e proporcional dos demais modais, conforme indica a pesquisa realizada na Praça Araribóia sobre a substituição de bicicletas.

- iii) Cenário 20% Bicicleta – Proporcional: há aumento do uso de bicicletas a ponto que seu deslocamento represente 20% do total. Há uma redução proporcional dos demais meios de locomoção.

Estes cenários foram desenhados levando em consideração os objetivos do PMUS de Niterói que prevê um grande incentivo por parte da cidade para o deslocamento de forma ativa. Seus resultados poderão ser visualizados na seção à seguir:

3.2.2.1.1 Cenário PMUS 2030

No cenário em que as intervenções urbanas previstas no PMUS ocorrem da maneira planejada, há aumento dos deslocamentos que ocorrem via ônibus e bicicleta, em função de uma redução do deslocamento via modais individuais motorizados e deslocamentos à pé.

Tabela 39 – Perfil da Utilização de Transportes em Niterói, Cenário PMUS 2030

Tipo de Deslocamento	Modal	PMUS	Variação Anual
Transporte Coletivo	Ônibus	33,77%	0,15%
	Carro	18,24%	-0,25%
	Taxi	1,24%	-0,02%
Transporte Individual	Moto	1,01%	-0,01%
Mobilidade Ativa	Bicicleta	14,40%	1,28%
	Caminhada	31,34%	-1,15%

Fonte: Elaboração Própria

Neste cenário há um aumento de 16 milhões viagens de ônibus e 135 milhões de viagens de bicicleta nos 8 anos de estudo. Em contrapartida há uma redução dos deslocamentos de modais individuais, em especial de carros que ocorrem na ordem de 27 milhões no período analisado.

Tabela 40 – Total de Viagens por Modal, Cenário PMUS 2030

Tipo de Deslocamento	Modal	Viagens Totais
Transporte Coletivo	Ônibus	896.450.892
Transporte Individual	Carro	511.932.590
	Taxi	34.770.304
	Moto	28.416.042
Mobilidade Ativa	Bicicleta	281.904.812
	Caminhada	938.250.161

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que esse cenário prioriza a substituição de modais individuais podemos ver uma redução significativa nos níveis de etanol e gasolina, em contrapartida um aumento suave nos níveis de diesel e biodiesel devido ao incentivo de mobilidade ativa e modais coletivos.

Tabela 41 – Consumo de Combustível em Niterói, Cenário PMUS 2030

Combustível	Total
Óleo Diesel(L)	457.783,51
Biodiesel(L)	91.556,70
Etanol Hidratado(L) -	621.841,35
Etanol Anidro (L) -	787.892,82
Gasolina(L) -	2.130.228,75
GNV(M3) -	216.527,63

Fonte: Elaboração Própria

3.2.2.1.2 Cenário 20% Bicicleta – Pesquisa Araribóia

No cenário em que há substituição de bicicletas a ponto que atinjam 20% do total de deslocamentos em substituição dos demais modais, com foco na transição dos deslocamentos via ônibus, verificamos um aumento da utilização das bicicletas e redução em todos os demais modais.

Tabela 42 – Perfil da Utilização de Transportes em Niterói, Cenário 20% Bicicleta

Tipo de Deslocamento	Modal	Pesquisa Araribóia	Varição Anual
Transporte Coletivo	Ônibus	22,55%	-1,27%
	Carro	18,06%	-0,25%
	Taxi	1,23%	-0,02%
Transporte Individual	Moto	1,00%	-0,01%
	Bicicleta	20,00%	1,82%
Mobilidade Ativa	Caminhada	37,17%	-0,28%

Fonte: Elaboração Própria

Neste cenário as viagens de bicicleta passam de 146 milhões do cenário de referência, nos 8 anos de estudo para 366, 6 milhões, ocorrendo um aumento líquido de 220 milhões de viagens. Esta redução se dá primordialmente em substituição as viagens de ônibus que reduzem aproximadamente 154 milhões no período atingindo, 726 milhões de viagens.

Tabela 43 – Total de Viagens por Modal, Cenário 20% Bicicleta

Tipo de Deslocamento	Modal	Viagens Totais
Transporte Coletivo	Ônibus	726.497.754
	Carro	509.162.010
	Taxi	34.582.127
Transporte Individual	Moto	28.262.254
	Bicicleta	366.694.184
Mobilidade Ativa	Caminhada	1.026.524.831
	Total	2.691.723.160

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que esse cenário prioriza a substituição de ônibus por modais ativos, é possível ver uma substancial redução nos níveis de diesel e biodiesel consumidos em relação ao cenário de referência.

Tabela 44 – Consumo de Combustível em Niterói, Cenário 20% Bicicleta

Combustível	Total
Óleo Diesel(L)	- 4.365.846,90
Biodiesel(L)	- 873.169,38
Etanol Hidratado(L)	- 685.671,89
Etanol Anidro (L)	- 868.768,15
Gasolina(L)	- 2.348.891,68
GNV(M3)	- 238.753,68

Fonte: Elaboração Própria

3.2.2.1.3 Cenário 20% Bicicleta – Proporcional

No cenário em que a substituição de modais ocorre de forma proporcional, a ponto de fazer com que exista 20% dos deslocamentos via bicicleta, encontramos os mix dos modais indicados a seguir.

Tabela 45 – Perfil da Utilização de Transportes em Niterói, Cenário 20% Bicicleta – Proporcional

Tipo de Deslocamento	Modal	20% Proporcional	Varição Anual
Transporte Coletivo	Ônibus	27,66%	-0,63%
	Carro	16,94%	-0,39%
	Taxi	1,15%	-0,03%
Transporte Individual	Moto	0,94%	-0,02%
	Bicicleta	20,00%	1,82%
Mobilidade Ativa	Caminhada	33,31%	-0,76%

Fonte: Elaboração Própria

Neste cenário as viagens de bicicleta passam de 146 milhões do cenário de referência, nos 8 anos de estudo para 366, 6 milhões, ocorrendo um aumento líquido de 220 milhões de viagens. Esta redução se dá primordialmente em substituição de viagens de caminhada, ônibus e carros, que respectivamente reduzem em: 91, 76 e 46 milhões de viagens.

Tabela 46 – Total de Viagens por Modal, Cenário 20% Bicicleta - Proporcional

Tipo de Deslocamento	Modal	Viagens Totais
Transporte Coletivo	Ônibus	804.004.320
	Carro	492.203.122
Transporte Individual	Taxi	33.430.285
	Moto	27.320.911
	Bicicleta	366.694.184
Mobilidade Ativa	Caminhada	968.069.418

Fonte: Elaboração Própria

3.3 Emissões de CO₂eq.

3.3.1 Cenário PMUS 2030

No cenário das intervenções previstas pelo PMUS, obtemos uma redução das emissões totais. No total, há um aumento líquido de 1,2 mil toneladas a serem contabilizadas provenientes do aumento de deslocamento via ônibus, contudo esse efeito é compensado pela redução dos demais modais, com destaque para a redução das emissões de deslocamentos via carro.

Tabela 48 – Variação de Emissões por Modal, Cenário PMUS 2030

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO ₂ eq.
Moto	- 98,49
Carro	- 4.824,19
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	- 459,73
Ônibus	1.211,52
Total	- 4.170,89

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que, a maior parte das reduções decorre do deslocamento via carro e a maior parte do acréscimo é decorrente dos ônibus, podemos visualizar aumentos das emissões provenientes de diesel que são compensadas pelas reduções provenientes de etanol e gasolina. Um fato que chama bastante atenção é que a redução das emissões biogênicas, do etanol correspondem a quase 1/3 do total.

Tabela 49 – Variação de Emissões por Tipo de Combustível, Cenário PMUS 2030

Tipo de Combustível	Emissões tCO2eq.	Emissões Biogênicas TCO2eq
Gasolina A	- 4.906,15	
Etanol	- 16,53	- 2.108,35
Diesel	1.210,19	
Biodiesel	1,33	222,57
GNV	- 459,73	-
Total	- 4.170,89	- 1.885,77
	- 4.170,89	- 1.885,77

Fonte: Elaboração Própria

3.3.2 Cenário 20% Bicicleta – Pesquisa Araribóia

No cenário que prevê redução de 20% dos deslocamentos de bicicleta, com foco na transição de modais coletivos, obtemos uma redução das emissões em todos os modais. A principal redução ocorre nos ônibus, aproximadamente com o dobro do montante da economia dos deslocamentos via carros, que correspondem a 5,3 mil tolenadas.

Tabela 50 – Variação de Emissões por Modal, Cenário 20% Bicicleta

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO2eq.2
Moto	- 108,60
Carro	- 5.319,38
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	- 506,92
Ônibus	- 11.554,22
Total	- 17.489,12

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a maior redução das emissões decorre dos modais coletivos, mesmo com sua menor emissão por km rodado em relação a modais individuais, o diesel passa a ser o principal modal responsável pelas reduções de emissões. As emissões biogênicas, correspondem a aproximadamente 1/4 das emissões não biogênicas.

Tabela 51 – Variação de Emissões por Tipo de Combustível, Cenário 20% Bicicleta

Tipo de Combustível	Emissões tCO2eq.	Emissões Biogênicas TCO2eq
Gasolina A	- 5.409,76	
Etanol	- 18,23	- 2.324,76
Diesel	- 11.541,51	
Biodiesel	- 12,71	- 2.122,67
GNV	- 506,92	
Total	- 17.489,12	- 4.447,44

Fonte: Elaboração Própria

3.3.3 Cenário 20% Bicicleta – Proporcional

No cenário que prevê redução de 20% dos deslocamentos de bicicleta, de forma proporcional entre os modais, obtemos uma redução das emissões em todos os modais. A principal redução ocorre nos carros por possuírem alto índice de participação nos deslocamentos e alto nível de emissão individual.

Tabela 52 – Variação de Emissões por Modal, Cenário 20% Bicicleta

Tipo de Deslocamento	Emissões TCO2eq.2
Moto	- 170,48
Carro	- 8.350,48
Taxi/Aplicativo de Mobilidade	- 795,78
Ônibus	- 5.732,44
Total	- 15.049,18

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a maior redução das emissões decorre dos modais individuais, a gasolina e o etanol passam a ser os principais responsáveis pela redução de emissões. As emissões biogênicas tem alta relevância nas reduções correspondem a aproximadamente 1/3 das emissões não biogênicas.

Tabela 53 – Variação de Emissões por Tipo de Combustível, Cenário 20% Bicicleta - Proporcional

Tipo de Combustível	Emissões tCO ₂ eq.	Emissões Biogênicas TCO ₂ eq
Gasolina A	- 8.492,35	
Etanol	- 28,61	- 3.649,46
Diesel	- 5.726,14	
Biodiesel	- 6,31	- 1.053,13
GNV	- 795,78	
Total	- 15.049,18	- 4.702,60

Fonte: Elaboração Própria

3.4 Conclusões

A proposta de adoção de *bikesharing* em Niterói leva em consideração os objetivos da cidade descrito em seu PMU e os objetivos ambientais descritos em seu plano diretor. Além de fazer parte dos objetivos do programa Niterói de Bicicleta.

Sua aplicação na cidade de Niterói parece imperativa. O deslocamento médio dos cidadãos da cidade possui média inferior a 5km, sendo a bicicleta uma excelente opção para deslocamentos desta magnitude. Além disso, o sucesso de bicicletários na cidade já indica a potencial demanda reprimida da população por mais acesso a utilização de bicicletas.

Conforme revisado em capítulos anteriores, o incentivo ao compartilhamento de bicicletas tem sido adotado em várias partes do mundo, com a finalidade de reduzir o tráfego, as emissões de pessoas e gerar mais conforto no transporte de “última milha”.

Devido a estas características favoráveis, sugerimos a aplicação de um sistema de compartilhamento de bicicletas na cidade de Niterói. A fim de mensurar o impacto ambiental desta aplicação e conseqüentemente a expansão da utilização de bicicletas como transporte, simulamos cenários de redução de emissões que preveem a expansão de utilização deste modal.

No cenário em que todas as medidas previstas no PMUS são adotadas, encontramos uma redução de 4,1 mil toneladas de carbono. Nos cenários de Redução de 20% de Bicicletas

Araribóia e Proporcional as reduções encontradas são respectivamente das seguintes magnitudes, 17,5 mil e 15 mil toneladas de carbono.

Por fim, é possível concluir que a cidade de Niterói pretende fazer uma grande transformação em sua mobilidade urbana. Tendo em vista a característica do deslocamento da cidade, o incentivo a mobilidade ativa se apresenta como uma excelente alternativa. Em todos os cenários avaliados, o nível de redução de emissões é expressivo, principalmente quando o meio de mobilidade ativa substitui o modal individual.

4. Ônibus Elétricos

4.1 Caracterização da Proposta

As metas estabelecidas no Acordo de Paris, o compromisso com a implementação das metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), as mudanças climáticas e a transição energética trouxeram vários desafios sociais, econômicos, políticos, energéticos e ambientais, além de mudanças significativas na forma de produzir e consumir energia. Ademais, os esforços para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e limitar o aquecimento global requer das cidades a adoção de novas tecnologias que utilizem energia limpa.

Nesse sentido, a eletromobilidade, em especial no setor de transporte público que é um dos mais poluentes, contribui efetivamente para atingir uma economia de baixo carbono e promover cidades mais sustentáveis com uma melhor qualidade do ar. Isto porque reduz os impactos negativos econômicos e sociais inerentes a este setor e melhora a qualidade de vida da população local.

De forma geral, podemos classificar os ônibus elétricos em quatro categorias principais:

- i. **Ônibus Híbridos**, os quais possuem dois motores, um motor a combustão interna, podendo ser alimentado por diesel, gasolina, gás natural, etanol, entre outros, e um motor elétrico. Existem dois tipos de ônibus híbridos. No primeiro caso, o ônibus híbrido convencional, o motor elétrico tem a função de apoiar o motor a combustão nos momentos de maior demanda de potência (aceleração) e nos momentos de menor rendimento do motor.

Estes veículos têm um sistema de frenagem regenerativa, com a qual aproveita-se do movimento cinético das rodas para impulsionar o gerador que carrega a bateria. Em média, a redução no consumo de energia alcançada pela regeneração pode ser de 20% a 30%, em linhas urbanas com pequenas distâncias entre os pontos de ônibus. No segundo caso, o Ônibus Híbridos *Plug-In*, os veículos podem ser recarregados por uma fonte de energia externa. Uma vantagem dessa tecnologia é a possibilidade de operar em modo totalmente elétrico por determinadas distâncias (PNME, 2022).

- ii. Ônibus Elétricos a Bateria, os quais também podem ser chamados de elétrico puros, visto que utilizam um conjunto de baterias para se movimentar. A energia elétrica é fornecida por meio de uma fonte externa armazenada em uma bateria e convertida em força motriz por um motor elétrico.
- iii. Trólebus, os quais são veículos que utilizam um sistema de tração elétrica, na qual a alimentação do motor é realizada por meio de uma catenária, composta por dois cabos aéreos suspensos ao longo da via. O veículo é conectado a essa infraestrutura por duas hastes pelas quais recebe a energia elétrica (PNME, 2022);
- iv. Ônibus com células de combustível a hidrogênio, os quais utilizam hidrogênio para produzir eletricidade em uma célula a combustível. Estes ônibus precisam de uma infraestrutura especial para seu abastecimento.

Existem também outras opções de ônibus movidos a combustíveis fósseis de baixa emissão, mas que possuem um motor de combustão interna, são eles: ônibus com tecnologias de motor Euro VI que atendem as metas máximas de emissão definidas pelas Normas Euro, ônibus movidos a Gás Natural Veicular (GNV) e ônibus movidos a biocombustíveis como Biodiesel, Biometano e Diesel de Cana de Açúcar (BARASSA et al., 2022).

Com relação os tipos de infraestrutura de recarga de ônibus urbanos, destacam-se três sistemas:

- i) Recarga rápida, também chamada de recarga de oportunidade: a infraestrutura de recarga é instalada nos terminais, paraderos ou durante a rota dos ônibus. Pode ser feita de duas maneiras, por pantógrafos (a

conexão entre o ônibus e o carregador geralmente fica localizada nos pontos de parada dos ônibus ao longo do seu trajeto, ou nas estações terminais) ou sistemas indutivos (a recarga *wireless* utiliza alta potência, permitindo que a recarga seja realizada no ponto de ônibus durante o embarque dos passageiros, mas por seu alto custo, ainda é a menos utilizada).

- ii) Recarga lenta ou semi-rápida, também chamada de recarga noturna: a infraestrutura é instalada nas garagens dos ônibus e as recargas são feitas durante a noite, quando os ônibus não estão em serviço. Assim, são utilizados se utilizam carregadores tipo *plug-in* (Barassa et al, 2022). A recarga tradicional *plug-in* é considerada a mais barata e também a mais comum para o carregamento em garagem no horário fora de ponta. Utilizando a recarga lenta (15-22kW), o ônibus pode ser carregado totalmente em até 10 horas, enquanto com a recarga rápida (22-50kW) ou acelerada (50- 120kW) a duração pode ser de 2 a 6 horas (EPE, 2020).

Seguindo esses esforços, entre setembro de 2021 e janeiro de 2022, a Prefeitura de Niterói iniciou os primeiros testes operacionais para a implementação de ônibus elétricos. O modelo utilizado foi o Caio Millennium cedido pela fabricante chinesa BYD. Assim, através do sistema de telemetria veicular foi possível coletar alguns dados do ônibus, como consumo de energia Transnit (1,3 Kwh/Km), autonomia Transnit (210 Km) e autonomia Transoceânico (180 Km). Além disso, foram observadas algumas variáveis relevantes, a saber: relevo, extensão e climatização.

A partir de maio de 2022, iniciou-se um novo período de testes. Desta vez, o modelo escolhido foi o FE10BR da fabricante chinesa Higer, que teve o consumo de energia equivalente ao já auferido no modelo anterior (1,3 Kwh/Km), autonomia de 270 Km e tempo de recarga até 3 horas.

Diante disso, os testes operacionais realizados pela prefeitura estão contribuindo para a melhor escolha do ônibus elétricos e da infraestrutura de recarga, a fim de serem as mais adequadas para a cidade. Desse modo, é possível ter subsídios para avaliar a viabilidade técnico-econômica da substituição de ônibus a diesel por modelos equivalentes elétricos, que utilizam bateria, o que contribui para a diversificação na matriz energética nacional.

4.2 Metodologia²⁰

Como metodologia, será utilizada uma avaliação técnico-econômica. O princípio básico que orienta a avaliação da substituição entre as tecnologias a diesel e de propulsão elétrica é o ponto de equilíbrio financeiro, ou seja, o equilíbrio entre despesas de capital (Capex) e despesas operacionais (Opex) avaliadas de forma comparativa entre as alternativas. Mais especificamente, a viabilidade dos ônibus elétricos requer que a redução de Opex em relação aos ônibus a diesel seja, pelo menos, equivalente ao acréscimo de Capex oriundo da aquisição dos veículos elétricos e de sua infraestrutura de recarga. Nota-se que, ao se tornar equivalente, o ponto de equilíbrio reflete uma posição de indiferença na escolha entre as alternativas, de modo que a viabilidade dos modelos elétricos deve, na verdade, superar este ponto e, inclusive, indicar em que medida a substituição é um projeto de investimento financeiramente vantajoso.

Logo, o procedimento de avaliação técnico-econômica pode ser realizado em três etapas:

Na primeira etapa, define-se a distância média anual percorrida pelos ônibus e a quantidade de veículos a serem incorporados à frota municipal.

Na segunda etapa, são definidos os custos relativos a cada tecnologia, compostos pelos CAPEX e OPEX.

Na terceira etapa, a partir dos parâmetros informados previamente nas etapas anteriores, são calculados os principais indicadores financeiros do projeto de substituição das tecnologias: tempo de retorno do investimento (payback), valor presente líquido (VPL) e custo total de propriedade ao longo da vida útil (TCO). Estes indicadores permitem avaliar a viabilidade econômico-financeira da nova tecnologia como projeto de investimento.

A seguir são especificados os parâmetros utilizados na modelagem e os valores de referência.

²⁰ Adaptado de: Nota Técnica EPE/DEA-DPG/SEE- SGB/001/2020.

4.2.1 Distância Média Percorrida

A distância média percorrida pelos ônibus é um indicador de quanto se usa de transporte urbano rodoviário coletivo, ou seja, o tamanho médio dos trajetos realizados por estes veículos e a frequência com que eles ocorrem.

A influência desta variável sobre a viabilidade técnico-econômica dos ônibus elétricos frente aos modelos a diesel pode ser bastante relevante. Frequentemente, nota-se que o Opex que incide sobre a operação dos ônibus elétricos apresenta valor inferior ao Opex incidente na operação dos ônibus a diesel (ICCT, 2019). Em geral, quanto maior a quilometragem percorrida por esses veículos, maior a economia de Opex gerada e, portanto, mais facilmente pode se dar a compensação do Capex superior inerente ao modelo elétrico.

4.2.2 Capex

No cálculo do Capex, consideram-se o custo de aquisição dos veículos e o custo de aquisição dos carregadores para os veículos elétricos. Os preços de aquisição dos ônibus urbanos podem variar em função de características como dimensão do veículo, presença de ar-condicionado e a capacidade de passageiros, por exemplo. Já nos modelos elétricos, a capacidade da bateria, a potência dos carregadores e a duração do processo de recarga também são fatores que podem influenciar no preço final do veículo.

Há três tipos de carregamento usualmente praticados por operadores de ônibus elétricos urbanos: recarga tradicional plug-in, recarga pantográfica e recarga wireless (sem fio). A recarga tradicional plug-in é considerada a mais barata e a mais comum para o carregamento realizado à noite em garagem, no horário fora de ponta²¹. Utilizando a recarga lenta (15-22 kW), o ônibus pode ser carregado totalmente em até 10 horas, enquanto com a recarga rápida (22-50 kW) ou acelerada (50-120 kW) a duração pode ser de 2 a 6 horas (BNEF, 2018). No caso da recarga pantográfica, a conexão entre o ônibus e o carregador geralmente fica localizada nos pontos de parada dos ônibus ao longo do seu trajeto, ou nas estações terminais. A potência superior destes carregadores (150-300 kW) permite que a bateria seja recarregada de forma mais rápida do que os carregadores plug-in. Já a recarga wireless utiliza potência superior a 200 kW, permitindo que a recarga

²¹ Horário fora de ponta: Período definido pela distribuidora e aprovado pela ANEEL para toda sua área de concessão, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico e composto por três horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados definidos por lei federal.

seja realizada no ponto de ônibus durante o embarque dos passageiros. No entanto, devido ao seu custo superior às alternativas, ainda é a menos utilizada (BNEF, 2018).

Usualmente o Capex associado ao ônibus elétrico é superior ao seu equivalente a diesel. O custo do sistema de baterias é uma das parcelas que mais contribui para o seu preço elevado e, embora as perspectivas da indústria automotiva indiquem trajetórias futuras de redução dos preços, os custos de aquisição são considerados uma barreira à adoção de ônibus elétrico.

Este estudo considera que o ônibus elétrico com bateria apresenta custo 75% superior ao de um ônibus a diesel Padron²² com ar condicionado.

4.2.3 Opex

O Opex envolvido na utilização dos ônibus compreende o custo de abastecimento dos veículos, seja eletricidade ou óleo diesel, e o custo de manutenção ao longo do seu período de utilização.

O custo dos energéticos pode apresentar grande variabilidade entre operadores de transporte público, pois é oriundo de diferentes componentes de preços atuantes sobre a cadeia produtiva destes insumos, e das relações comerciais celebradas entre fornecedores de combustível ou eletricidade, e operadores de transporte.

O custo de manutenção dos veículos elétricos pode sofrer redução em função da sua menor quantidade de peças, quando comparado ao veículo a diesel. Os sistemas envolvidos na composição dos veículos elétricos são mais enxutos e estão sujeitos a condições de pressão e temperatura menos extremas do que em veículos motorizados via ciclos termodinâmicos.

4.2.4 Rendimento dos Veículos

O rendimento dos veículos pode ser representado em unidades usuais como quilômetro por litro (km/l) ou variantes equivalentes. Em geral, mantidas todas as outras condições constantes, os modelos elétricos apresentam menor consumo de energia do que os seus modelos equivalentes a diesel (ICCT, 2019). A grande contribuição para tal se

²² Os ônibus Padron são ônibus com 14 metros de comprimento, capacidade mínima de 80 passageiros e peso bruto total de 16 toneladas.

deve à eficiência de conversão da eletricidade em força motriz superior à eficiência de conversão do óleo diesel ou outro tipo de combustível que utiliza um ciclo térmico.

No entanto, existem possibilidades de tornar mais eficiente os motores a diesel que permitem atingir maiores níveis de rendimento no uso destes veículos. À medida que ganhos de eficiência são alcançados, a substituição pelos elétricos se torna menos vantajosa, e o resultado desta contribuição pode ser verificada pela redução de uma parcela do Opex associado à operação dos ônibus a diesel. Ressalta-se que o rendimento verificado pelos veículos não se restringe à própria eficiência nominal do motor, mas é fruto de uma série de circunstâncias como o tipo de trajeto percorrido pelos veículos, o nível de congestionamento das cidades, a frequência de manutenção dos equipamentos, a forma de conduzi-lo, dentre outros.

Portanto, no geral, frotas de transporte público urbano rodoviário que apresentam baixo rendimento de combustível dos ônibus são potenciais casos de sucesso para a competitividade dos ônibus elétricos. Por outro lado, operações com ônibus a diesel mais eficientes tendem a dificultar em algum grau a viabilidade da substituição pelos ônibus elétricos.

4.2.5 Custo do Óleo Diesel

Considera-se o custo do óleo diesel S10. A Resolução ANP nº 50/2013 estabelece que as frotas cativas de ônibus urbanos de alguns municípios devem utilizar exclusivamente o óleo diesel S10. Essa evolução da qualidade do diesel, incluindo a redução do teor de enxofre no diesel, é consequência das políticas ambientais adotadas pelo Conama e o Proconve.

4.2.6 Custo da Energia Elétrica

O custo da energia elétrica no Ambiente de Comercialização Regulado (ACR), avaliado em R\$/kWh, depende da distribuidora e do nível de tensão, o qual assume-se que será enquadrado no subgrupo A4²³, menor faixa do grupo de alta tensão, variando entre 2,3 kV e 25kV.

²³ A sugestão deste tipo de enquadramento é uma premissa geral que pode ser aplicada em função do nível de tensão presente em um conjunto de carregadores típicos para ônibus elétricos. No entanto, eventuais configurações distintas quanto ao uso ou instalação dos carregadores podem eventualmente se enquadrar em outros grupos/subgrupos tarifários

A tarifa adotada neste estudo é a promocional, obtida fora do horário de pico. Deste modo, parte-se do princípio de que os resultados consideram que os ônibus terão suas baterias recarregadas durante a madrugada, nas garagens. Nesta situação, as empresas são beneficiadas por tarifas de energia elétrica mais módicas.

Para o cálculo do custo da eletricidade de um ônibus elétrico, considera-se a utilização de baterias com potência de 200 kWh, carregadas à noite, ao longo de quatro horas, por meio de um carregador de potência de 50 kW (ICCT, 2019).

A locação de geração distribuída pode constituir uma alternativa para a adoção de tarifas de energia inferiores ao mercado regulado ACR, o que por simplificação é assumido em 10% como fator redutor.

4.2.7 Custo de manutenção

O custo de manutenção inclui a manutenção regular do veículo, pneus, partes, lubrificantes, dentre outros itens. Os veículos elétricos oferecem uma oportunidade de redução de custos de manutenção em virtude da natureza do motor, o qual é composto por menor número de componentes do que um equivalente à combustão interna. Além disso, tanto as tecnologias de veículos híbridos elétricos e elétricos a bateria incluem sistemas de frenagem regenerativa, que reduzem o desgaste dos freios e, portanto, os seus custos de reparo (MDIC, 2018).

4.2.8 Definição do Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa do projeto em estudo pode ser decomposto em saídas de caixa (custo de aquisição do ônibus e da infraestrutura de recarga, custo de operação e manutenção, e custo do financiamento) e entradas de caixa (valor residual de revenda do ônibus). O custo de operação e manutenção é considerado constante ao longo de todo o período.

Considera-se que o empreendedor procederá à aquisição do ônibus através de um aporte à vista e o restante será financiado através de Sistema de Amortização Constante (SAC). As parcelas do financiamento serão então compostas pelo valor constante da amortização anual somado de uma despesa financeira ao longo do ciclo de avaliação do projeto, arbitrado em 10 anos neste projeto.

Ao final da vida útil do ônibus no projeto, o mesmo ainda pode ser revendido para outros mercados por um valor residual. O valor residual da revenda é então contabilizado

como um fluxo de caixa positivo. Por simplificação, considerou-se neste estudo a vida útil dos ônibus a diesel em cinco anos, o que facilita a comparação com os ônibus elétricos. No caso do ônibus a diesel, há dois ciclos de financiamento ao longo dos 10 anos de avaliação. No quinto ano do fluxo de caixa, substitui-se o veículo adquirido por um novo, o que é representado por uma saída de caixa no valor da aquisição, e por uma entrada de caixa referente ao valor da revenda. No décimo ano, há uma nova revenda, porém sem a compra de um novo veículo.

Estima-se que a vida útil de ônibus elétricos deva ser superior à vida útil dos com motorização a diesel. Isso é principalmente devido à menor presença de partes móveis. Ao final da sua vida útil em 10 anos (premissa deste estudo), considera-se que o ônibus elétrico é revendido por um valor residual (entrada positiva no fluxo de caixa).

Para determinar o custo para aquisição dos ônibus, utiliza-se a metodologia de cálculo do custo médio ponderado de capital (WACC). A composição da estrutura do custo de capital revela o quanto custa para a empresa financiar suas atividades, usando como recursos o capital próprio e o capital de terceiros. A taxa WACC é comumente utilizada para determinar o valor presente de fluxos de caixa futuros de uma empresa ou de um negócio específico.

$$WACC = r_e \left(\frac{E}{D + E} \right) + r_d \left(\frac{D}{D + E} \right) (1 - T)$$

Sendo:

r_e custo de capital próprio;

r_d custo de capital de terceiros;

E montante de capital próprio que financia a empresa;

D montante de dívida que financia a empresa; e

T alíquota de impostos e contribuições sobre o lucro tributável da empresa.

O custo de capital de terceiros (r_d) é a taxa de juros efetiva dos financiamentos da empresa, descontados os benefícios tributários do empréstimo (dedução da base de cálculo do Imposto de Renda e da Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido). No caso específico do financiamento de aquisição de ônibus no Brasil consideram-se as linhas de financiamento do BNDES.

O custo de capital próprio da empresa (re) é a rentabilidade (em termos percentuais) que ela abre mão ao reinvestir seus recursos. A forma mais comum para o cálculo do custo de capital próprio é através do modelo CAPM, amplamente empregado no cálculo do retorno esperado sobre ações de empresas negociadas em bolsa de valores. Apesar de desenvolvido com este intuito, o modelo também é utilizado para empresas de capital fechado. Para isso, buscam-se empresas de capital aberto similares à empresa analisada, e utilizam-se informações dessas empresas nos cálculos.

Por fim, o valor da alíquota de impostos e contribuições sobre o lucro tributável da empresa (T) usual para o Brasil é de 0,34 baseada na soma das alíquotas de CSLL²⁴ e IRPJ²⁵, uma vez que o custo da dívida pode ser considerado como custo ou despesa operacional para efeito de aferição da base de incidência do imposto de renda.

4.2.9 Indicadores Financeiros do projeto

O VPL é utilizado em finanças para planejamento de investimentos a longo prazo. O VPL é o somatório de todos os valores dos fluxos de caixa projetados no instante “0”. Ou seja, se faz necessário trazer todos os valores dos fluxos de caixa até o instante “0”, utilizando-se de uma determinada taxa de atratividade frente ao risco. À soma de todos os valores dos fluxos de caixa no mesmo instante de tempo, denomina-se de valor presente líquido (LUCHESES, 2011).

O VPL do projeto é o VPL incremental, ou seja, consiste na subtração do fluxo de caixa do financiamento do ônibus a diesel pelo fluxo de caixa do financiamento do ônibus elétrico trazido a valor presente pelo valor de custo médio ponderado de capital.

Usando o método VPL o projeto deve ser empreendido se o valor presente de todas as entradas de caixa menos o valor presente de todas as saídas de caixa (que iguala o valor presente líquido) for maior que zero. Se o VPL for igual a zero, o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas é igual ao valor presente das saídas de caixa; se o VPL for menor do que zero, significa que o investimento não é economicamente atrativo, já que o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa (ROSS, 2002).

²⁴ A alíquota da CSLL é de 9% para as pessoas jurídicas em geral, e de 15%, no caso das pessoas jurídicas consideradas instituições financeiras, de seguros privados e de capitalização.

²⁵ A alíquota do IRPJ é de 15% sobre o lucro apurado, com adicional de 10% sobre a parcela do lucro que exceder R\$ 20.000,00/mês.

O payback simples é obtido calculando-se o número de anos que decorrerão até os fluxos de caixa estimáveis igualarem o montante do investimento inicial (BREALEY, 2008). Porém, por se tratar de um indicador frágil, adotou-se uma estimativa baseada em conceito semelhante.

No payback descontado (período de recuperação com desconto), os fluxos de caixa estimáveis são descontados antes do cálculo do período de recuperação. A favor destes critérios reside o fato de sua simplicidade de aplicação, porém, desconsideram os fluxos de caixa que ocorrem após o período-limite (BREALEY, 2008). Segundo ROSS (2002), o payback descontado tem as mesmas deficiências básicas do método do payback simples tradicional: exige em primeiro lugar a escolha arbitrária de um período de corte na análise, e depois ignora todos os fluxos de caixa que ocorrem a partir desta data. Embora o payback descontado pareça-se em algum grau com o VPL, trata-se apenas de uma combinação pobre entre o critério do payback e o VPL.

O Custo Total de Propriedade ou TCO é definido como a soma dos custos para adquirir, operar e manter o veículo e sua infraestrutura de abastecimento durante determinado período. De acordo com a avaliação do ICCT realizada em MDIC (2018), a utilização do preço de aquisição do veículo como única métrica de avaliação desfavorece alternativas cujos preços de aquisição são superiores, tais como tecnologias híbridas ou elétrica a bateria, por exemplo.

No estudo da Bloomberg Finance: Electric Buses in Cities, a análise do TCO é utilizada para comparar as tecnologias de ônibus a diesel, gás natural e elétrico a bateria. De acordo com as hipóteses utilizadas, constatou-se que na maior parte das configurações de casos reais analisados, a tecnologia elétrica já oferece menor custo de propriedade do que as demais citadas, principalmente nos casos de longas distâncias (BNEF, 2018). Ressalta-se ainda que a redução prevista do custo das baterias deverá favorecer ainda mais a competitividade dos ônibus elétricos nos próximos anos.

A desvantagem do TCO é não considerar os valores dos fluxos no tempo. Essa métrica trata fluxos futuros e presentes com o mesmo peso, o que não ocorre na prática quando da tomada de decisão de um projeto. Ou seja, ao considerar apenas o TCO para determinar a viabilidade de um projeto, tomar um empréstimo não é vantajoso, já que os juros farão com que o TCO aumente. No entanto, se os juros forem menores do que o CMPC, o VPL aumentará se a empresa conseguir tomar um empréstimo e adiar

dispêndios grandes de caixa. Para a análise a seguir, todos esses indicadores serão analisados, entretanto, o VPL incremental é o mais indicado para avaliação de projetos de acordo com a literatura financeira.

4.2.10 Escolha dos Parâmetros

A Tabela 1 resume os parâmetros utilizados e apresenta os resultados dos indicadores financeiros (VPL e Payback). Valores de VPL incremental positivo indicam a potencial viabilidade da alternativa de eletrificação da frota. O TCO incremental positivo sinaliza que a adoção do ônibus elétrico é potencialmente vantajosa, pelo total de custos incorridos ser superior para um ônibus a diesel. Vale lembrar que o TCO não traz os números a valor presente, significando que fluxos, tanto atual quanto futuro, têm o mesmo peso, o que reduz a vantagem de financiamentos mais longos.

Tabela 54: Parâmetros e Resultados

PARÂMETRO	UNIDAD E	VALOR	FONTE
DADOS DE UTILIZAÇÃO			
Distância média anual	km/ano	70.000	ANTP (2018)
Dias de operação/ano	dias/ano	288	EPE (2020)
PREÇO DO DIESEL			
Preço do diesel S10 Niterói	RS/l	6	ANP
PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA			
Potência do carregador	kW	60	EPE (2020)
Duração da recarga	H	6	EPE (2020)
Tarifa elétrica Enel RJ	R\$/kWh	1,1	PCAT ENEL RJ 2022 e ANEEL
CAPEX			
Custo de aquisição diesel	R\$	550.000	SP (2019)
Proporção de custos entre as tecnologias	-	3,5	MDIC (2018)
Infraestrutura de recarga	R\$	250.000	EPE (2020)
OPEX			
Rendimento diesel	km/l	1,58	SP (2019)
Custo de manutenção diesel	R\$/km	0,64	EPE (2020)
Rendimento elétrico	km/kWh	0,65	SPTrans (2018)
Aluguel de GD	Sim/Não	Não	Greener (2018)
Custo de manutenção elétrico	R\$/km	0,59	EPE (2020)
FINANCIAMENTO DIESEL			
Custo de capital próprio diesel	%	12,5	
Custo de financiamento diesel	%	9	
Percentual financiado diesel	%	50	
Prazo de financiamento diesel	anos	5	

Valor de revenda diesel	%	50	
FINANCIAMENTO ELÉTRICO			
Custo de capital próprio elétrico	%	12,5	
Custo de financiamento elétrico	%	9 (cenário de referência) e 4,5 (cenário alternativo)	
Percentual financiado elétrico	%	50 (cenário de referência) e 80 (cenário alternativo)	
Prazo de financiamento elétrico	anos	10	
Valor de revenda elétrico	%	20	
DADOS DE SAÍDA			
DADOS DE UTILIZAÇÃO			
Distância diária média	km/dia	243	
Preço do diesel S10 Niterói	R\$/l	6	
Valor da energia elétrica Enel RJ	R\$/kWh	1,1	
CAPEX			
Custo de aquisição elétrico	R\$	1.925.000	
OPEX			
Custo operacional diesel	R\$/km	3,80	
Custo do combustível diesel	R%/l	6	
Custo variável anual diesel	R\$/ano	310.622,78	
Custo operacional elétrico	R\$/km	1,69	
Custo do combustível elétrico	R\$/kWh	1,1	
Custo variável anual elétrico	R\$/ano	159.761,54	
FINANCIAMENTO DIESEL			
Custo ponderado de capital diesel	%	9,22	
FINANCIAMENTO ELÉTRICO			
Custo ponderado de capital elétrico	%	9,22 (cenário de referência) e 4,88 (cenário alternativo)	
INDICADORES FINANCEIROS			
Valor presente líquido	R\$	-437.727 (cenário de referência) e -86.925 (cenário alternativo)	

Estimativa de payback	anos	Superior a 10	
Custo total em 10 anos diesel	TCO10	3.656.228	
Custo total em 10 anos elétrico	TCO10	3.772.615	
Diferença de custo total em 10 anos	TCO10	-116.388	

Fonte: Elaboração própria.

4.2.11 Resultados

São apresentados dois cenários – um de referência e um alternativo – a fim de avaliar a viabilidade técnico-econômica da substituição de ônibus movidos a diesel por modelos equivalentes elétricos, que utilizam bateria. A diferença entre os dois cenários está no custo e percentual de participação do financiamento para aquisição de ônibus elétrico. Assim, no cenário alternativo há uma redução no custo de capital de terceiros, por exemplo, por meio de apoio do Programa Fundo Clima do BNDES de 9% a.a. (Cenário de Referência) para 4,5% a.a. e uma ampliação do percentual de financiamento de 50% (Cenário de Referência) para 80%.

O VPL é negativo mesmo no cenário de financiamento subsidiado (Cenário Alternativo). O fator determinante para tornar viável o investimento de ônibus elétrico é o preço. Nesse sentido, para que o investimento seja viável a proporção de custo entre as tecnologias teria que cair para 3,31 (Cenário Alternativo) e 2,62 (Cenário de Referência). Ou seja, dos atuais R\$1.925 mil para R\$1.441 mil a R\$1.821 mil, considerando-se ônibus a diesel *padron* de R\$550 mil.

4.3 Emissões Evitadas com a Transição para Veículos Elétricos

Para avaliarmos o potencial de impacto da troca dessa tecnologia temos que definir um cenário de referência e um cenário alternativo no qual a medida mitigatória é aplicada. Para o nosso problema avaliaremos especificamente o efeito da troca dos ônibus à diesel por ônibus elétricos na cidade de Niterói. Nossa análise não levará em consideração o ciclo de vida dos ônibus em questão, análise wheel-to-wheel, o nosso problema se concentrará na troca de combustíveis, análise tank-to-wheel, a mesma que hoje em dia é utilizada para contabilizar as emissões de cidades no GHG Protocol.

Cenário de Referência: Para o nosso problema o cenário de referência é aquele em que os veículos da cidade de Niterói seguem com o mesmo quantitativo e com a mesma tecnologia adotada até o horizonte de 2030.

Cenário de Eletrificação da Frota: Por outro lado o cenário de adoção de ônibus elétrico que consideraremos é aquele em que a cidade troca 5% a.a. a sua frota até o ano de 2030.

4.3.1 Metodologia

Para o cálculo das emissões provenientes de cada um dos tipos de modal compararemos o consumo de combustível da frota nos cenários de viabilidade econômica traçados. Posteriormente converteremos a quantidade de energia na mesma base e calcularemos a emissão dos modais nos cenários propostos a fim de verificarmos a diferença entre ambos.

Conforme descrito em nosso problema de viabilidade econômica, estamos simulando que os ônibus elétricos e à diesel andem a mesma quilometragem anualmente, cerca de 70.000km e possuam rendimentos de 1,58Km/l, no caso do diesel e 0,65km/kWh, no caso do elétrico. Tendo em vista a quantidade de energia consumida por km rodado de cada um desses veículos, podemos assim encontrar a quantidade de combustível utilizada por cada um deles anualmente, como pode ser visto pela fórmula a seguir:

$$\text{VolC}_1 = \text{QKm}/\text{RV}$$

Onde, VolC_1 = volume de combustível da tecnologia 1, QKm = quantidade de quilômetros rodados e RV = rendimento do veículo em Km/combustível

A partir desse problema encontramos que os ônibus à diesel utilizam 44.303 litros de diesel para se locomoverem anualmente, enquanto os veículos elétricos 107.692kWh.

Conforme apresentado na metodologia presente em Di Beo *et al*, 2017, tendo posse da quantidade de combustível utilizada é possível calcular as emissões através da fórmula a seguir:

$$E_{C1CO2} = \text{Vol}_c \times \text{FC}_c \times \text{FE}$$

Onde,

EC,CO2 : Emissão de CO2 gerada pela queima do combustível C em kgCO2;

VolC: Volume do combustível C em litros;

FCC: Fator de conversão energética em L/TJ;

FE C: Fator de emissão do combustível C em kgCO2/TJcombustível.

As premissas de fatores de emissão ligadas a emissões diesel, biodiesel e eletricidade serão aquelas expostas no segundo capítulo deste trabalho. Além disso, manteremos a previsão do percentual de biodiesel misturado ao diesel ao longo do tempo, sendo B10 no presente, e será assumido que o mesmo cresce linearmente de percentual até chegar a B20 em 2030.

Através dessas premissas chegamos à conclusão de que cada ônibus à diesel gera 116t/co2 eq. ano²⁶, e cada ônibus elétrico gera cerca de 4,76 t/co2 eq. ano.

Conforme revisado em nosso segundo relatório, a frota de ônibus municipais de Niterói é de 809 veículos. Assim, considerando o as emissões do cenário de referência em contraponto aquelas do cenário de eletrificação da frota, temos a economia ano a ano até 2030 conforme pode ser visualizado na tabela x a seguir:

Tabela 55 – Cenário Mitigação Ônibus Elétrico

Ano	Cenário de Referência TCO2 eq.	Cenário Eletrificação TCO2 eq.	Economia TCO2 eq.
2023	94.041,15	89.670,95	4.370,21
2024	93.939,76	85.209,48	8.730,28
2025	93.838,36	80.758,15	13.080,20
2026	93.736,96	76.316,97	17.419,99
2027	93.635,56	71.885,92	21.749,64
2028	93.534,16	67.465,02	26.069,15
2029	93.432,77	63.054,25	30.378,52
2030	93.331,37	58.653,62	34.677,75
Total	749.490,09	593.014,36	156.475,73

Fonte: Elaboração Própria

²⁶ Uma vez que em nosso exercício o percentual de biodiesel na mistura vai aumentando seu valor vai reduzindo sensivelmente com o tempo.

É importante destacar que das emissões dos ônibus a diesel, nem todas são contadas em inventário. A maior parte das emissões de biodiesel são consideradas biogênicas. As emissões por tipo e por combustível podem ser visualizadas na tabela a seguir:

Tabela 56– Cenário Mitigação Ônibus Elétrico

Tipo de Combustível	Emissões tCO₂eq.	Emissões Biogênicas TCO₂eq
Diesel	502.179,97	-
Biodiesel	469,57	78.418,21
Energia Elétrica	11.946,60	-
Total	514.596,14	78.418,21

Fonte: Elaboração Própria

Desta forma, podemos constatar que em um período de 8 anos com uma substituição anual de 5% da frota (40% de redução no período) Niterói conseguiria mitigar aproximadamente 156.000 t/co₂ eq, aproximadamente 21% em relação ao cenário de referência. É importante destacar que neste período 78 mil toneladas de carbono, 15% do total serão biogênicas não sendo assim consideradas nos inventários de emissão da cidade.

4.3.2 Conclusões

A eletromobilidade é uma das principais políticas quando se trata de transição energética para economias de baixo carbono e desenvolvimento de cidades sustentáveis, o que contribui para a saúde pública e o bem-estar da população. Sendo assim, é importante considerar as especificidades de cada município, como a infraestrutura existente e a tipologia das rotas urbanas (relevo, aclive, declive, extensão e climatização).

Diante disso, neste estudo investigou-se a competitividade da tecnologia de ônibus elétricos frente a tecnologia de ônibus movidos a diesel para a cidade de Niterói, analisando a viabilidade comparativa do uso de bateria em ônibus elétricos. Além disso, mostrou-se a aplicabilidade da ferramenta de avaliação técnico-econômica de ônibus elétricos.

Embora os ônibus elétricos tenham a vantagem de não emitir gases poluentes e o potencial de se tornar competitivos, a eletrificação da frota apresenta vários desafios, que vão desde a autonomia do veículo até o tempo da realização da recarga total. Ademais, o custo da bateria é um dos elementos que tornam os ônibus elétricos mais caros e a infraestrutura energética dos municípios tem que estar apta para receber a demanda dos ônibus elétricos.

Uma das dificuldades apontadas para Niterói, diz respeito ao preço do ônibus elétrico, que custa 3,5 vezes mais do que o ônibus a diesel. E o modal elétrico, roda apenas 250 km com uma carga nas baterias, ou seja, possui autonomia baixa.

O potencial de redução de emissões decorrente desta substituição deve ser levado em conta como benefício do projeto proposto. É possível visualizar uma redução de emissões na ordem de 156 mil toneladas de carbono no período avaliado. Estas emissões contribuem para as metas de redução da cidade de Niterói.

Por fim, vale destacar que a escolha do modal elétrico requer investimentos e planejamento públicos para os próximos anos.

ANEXO 1 – Vendas de Combustível das Distribuidoras do Rio de Janeiro

Tabela 57 – Vendas de Combustíveis das Distribuidoras do Rio de Janeiro

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Etanol Hidratado	435,28	583,07	590,31	664,32	480,81	473,76	746,35	796,98	564,60	642,64
Gasolina C	2.471	2.617	2.861	2.734	2.685	2.523	2.002	2.033	1.855	1.852
% Etanol	15%	18%	17%	20%	15%	16%	27%	28%	23%	26%
Total	2.905,94	3.199,90	3.451,32	3.397,89	3.165,71	2.996,61	2.747,95	2.830,16	2.419,53	2.494,99

Fonte: ANP(2022)

ANEXO 2 – Fator de Emissão da Rede

Tabela 58 – Fator de Emissão da Rede

Fator de Emissão da Rede TCO ₂ /mWh	
Fator de Emissão 2018	0,074
Fator de Emissão 2019	0,075
Fator de Emissão 2020	0,0617
Fator de Emissão 2021	0,1264
Fator de Emissão 2022*	0,0438
Fator de Emissão Média	0,07618
obs: fator de emissões 2022, média de janeiro a novembro	

Fonte: MCTI(2022)

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA BRASIL (2016). Universitários lançam aplicativo para compartilhamento de caronas. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2016-04/universitarios-lancam-aplicativo-para-compartilhamento-de>.

Acesso em: agosto, 2022.

BREALEY, R; MYERS, S; ALLEN, F. (2008). Princípios de finanças corporativas, 8. ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BNEF (2018). Bloomberg Finance L.M. Electric Buses in Cities. Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2. Disponível em <<https://bit.ly/325cmi9>>. Acesso em: março de 2018.

CARONAÊ (2020). Dados Caronaê 2016-2020. Um estudo sobre o uso do aplicativo e a natureza das caronas de e para a UFRJ. Prefeitura. UFRJ. Rio de Janeiro, 2020. Apresentação de slides.

EPE (2020). Nota Técnica EPE/DEA-DPG/SEE- SGB/001/2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico-Econ%C3%B4mica%20de%20%C3%94nibus%20E1%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: julho de 2022.

EPE (2022) Balanço Energético Nacional. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acessado em 01/12/2022

GHG PROTOCOL 2022. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/>. Acessado em 18/12/2022.

ICCT (2019). International Council on Clean Transportation. Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo. Tim Dallmann. Disponível em: <<https://bit.ly/31ofSTV>>. Acesso em: junho de 2020.

LUCHESES (2011). Estudo de caso acerca da utilização de métricas de gestão baseada em valor na análise da viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento.

Fundação Getúlio Vargas. Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/3l35Mj3>>. Acesso em: abril de 2019.

MCTI – Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação, 2015. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Setor de Energia – Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Rodoviário. Brasil.

MCTI (2022). Inventários Corporativos 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acessado em (08/12/2022).

MDIC (2018b). Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Disponível em: <<https://bit.ly/2VS8MIC>>. Acesso em: novembro de 2018.

OGLOBO (2011) – São Paulo tem média de 1,4 Ocupantes por Carro. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/politica/sao-paulo-tem-media-de-14-ocupante-por-carro-2695421> Acesso em: 19/11/2022.

ROSS, S. A; WESTERFIELD, R. W; JORDAN (2002). Princípios de Administração Financeira, 2. ed., São Paulo: Atlas, 2000.

UFF (2022). BusUFF. Disponível em: <https://www.uff.br/?q=transporte-da-uff-busuff>. Acessado em 09/12/22.

SEDEIS – Secretaria Estadual de Desenvolvimento, Energia, Indústria e Serviços, 2016. Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2015-2030 – Relatório Final. Rio de Janeiro

STRJ (2014). Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

PDTU (Setembro de 2014). Secretaria de Transportes, Governo do Estado do Rio de Janeiro

ANTP (2020). Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público (SIMOB/ANTP) - Relatório geral 2018 (Maio de 2020)