

EFEITO DA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

*THE EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF THE URBAN MOBILITY PLAN OF THE CITY
OF BRUSQUE/SC ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS*

Amabilly SCHVAMBACH, Cássio Aurélio SUSKI

Instituto Federal de Santa Catarina. Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis – SC.

E-mails: as.engambiental@gmail.com; cassio.suski@ifsc.edu.br

Introdução
Área de estudo
Materiais e métodos
Cenários propostos
Avaliação de gases de efeito estufa (GEE)
Determinação da influência dos gases de efeito estufa
Resultados e discussões
Comparativo entre os cenários
Influência dos gases de efeito estufa na variação da temperatura
Considerações finais
Referências

RESUMO - Este artigo teve como objetivo analisar o potencial de redução da emissão de GEE a partir da implantação do PMU do município de Brusque/SC. A metodologia se baseou na aplicação da ferramenta do Programa Brasileiro GHG *Protocol* para quantificação da emissão de gases de efeito estufa, assim como na determinação da influência dos GEE na variação da temperatura do município e em esfera global, por meio dos métodos de Stephens & Ellis (2008). Os cenários propostos envolveram os meios de transporte: coletivo público, motorizado individual, bicicletas e caminhadas. Como resultado obteve-se que o transporte individual corresponde ao maior quantitativo das emissões totais do setor e que a aplicação dos cenários correspondeu a uma redução de até 20% da emissão do dióxido de carbono. Observou-se uma tendência de redução da temperatura global, a partir da aplicação dos cenários propostos, sendo que o método UCAR obteve uma redução de 0,90°C e o método Ellis obteve o decréscimo de 0,92°C, o que possibilita confirmar que ações voltadas para mobilidade urbana coletiva e mais sustentável, resulta em menores emissões de gases poluentes na atmosfera e, com consequências positivas para o meio ambiente e população.

Palavras-chave: Gases de Efeito Estufa. Mobilidade Urbana. Plano de Mobilidade Urbana.

ABSTRACT - This article aimed to analyze the potential for GHG emission reduction from the implementation of the Urban Land Use Management in the municipality of Brusque/SC. The methodology was based on the application of the Brazilian GHG Protocol Program tool for quantifying the emission of greenhouse gases, as well as on the determination of the influence of GHG on temperature variation in the city and on a global scale, through the Stephens & Ellis (2008) methods. The proposed scenarios involved the following means of transportation: public transportation, individual motorized transportation, bicycles, and walking. The result was that individual transport corresponds to the largest quantity of total emissions in the sector, and that the application of the scenarios corresponds to a reduction of up to 20% of the carbon dioxide emissions. A trend towards temperature reduction was observed as from the application of the proposed scenarios, with the UCAR method obtaining a global reduction of 0.90°C and the Ellis method obtaining a decrease of 0.92°C, which makes it possible to confirm that actions aimed at collective and more sustainable urban mobility result in lower emissions of pollutant gases into the atmosphere, with positive consequences for the environment and the population.

Keywords: Greenhouse Gases. Urban Mobility. Urban Mobility Plan.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um desafio global que demanda atividades de mitigação, tanto em nível local, como em nível internacional. Pelo fato de a preocupação com esta temática ser constante e crescente, cada vez mais são realizadas ações e pesquisas, como forma de estudar e abrandar as consequências negativas deste acontecimento.

Uma das causas para as mudanças climáticas é a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Nobre et al., 2012). Em relação às consequências adversas destas alterações climáticas

oriundas da atividade antrópica, pode-se apresentar: aumento de temperatura média acompanhada da diminuição da camada de gelo permanente e aumento dos níveis dos oceanos, alteração nos regimes de pluviosidade (na quantidade e na intensidade), alterações nas salinidades oceânicas e alteração do seu pH, entre outras.

De acordo com Toledo (2019) nas últimas décadas foi verificado um aumento notável da temperatura média de diferentes regiões do planeta, sendo que a temperatura combinada da superfície terrestre e dos oceanos apresentou um

incremento de 0,85°C durante o período de 1880 a 2012. Este aumento não ocorreu de maneira homogênea, sendo registrado em algumas localidades, o acréscimo de até 2,5°C. Há uma alta probabilidade de que mais da metade do aumento observado na temperatura média global da superfície entre os anos de 1951 e 2010 tenha ocorrido devido ao aumento antropogênico das concentrações de GEE. As consequências adversas desta ação impactam negativamente a saúde e bem estar na humanidade e fauna, bem como a economia em escala mundial.

No Brasil está ocorrendo um aumento de emissão de GEE e no ano de 2020 obteve um acréscimo de 9,5% de suas emissões, permanecendo na tendência inversa com dados mundiais, quando a pandemia do Covid-19 paralisou em larga escala a economia mundial e acarretou em inédita redução de 7% nas emissões globais (SEEG, 2021). O setor de transporte possui uma importante participação para o aumento das emissões de GEE, e é um dos setores que mais colaborou para o crescimento das emissões, possuindo significativas emissões de CO₂ e grande consumo final de combustíveis fósseis (Gonçalves & Martins, 2008). No entanto, as emissões oriundas do uso de automóveis são provenientes do processo de combustão e queima incompleta do combustível. Além do dióxido de carbono, há também a emissão de óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SOx) e partículas inaláveis (MP10) (CETESB, 2013).

De acordo com a análise de emissões dos GEE no Brasil, realizada pelo Observatório do Clima (2021), o setor de energia representou 18% (394 MtCO_{2e}) da emissão total do ano de 2020. Este foi o único setor que obteve redução de emissão, quando comparado com o ano de 2019. Esta diminuição está diretamente relacionada com o isolamento social oriundo da pandemia do novo coronavírus, uma vez que o transporte é o item de maior participação no setor de energia e seu uso no ano em análise foi drasticamente reduzido.

No entanto, esta redução não possui tendência de permanecer, visto sua crescente participação das emissões que possuíram o crescimento mais relevante a partir de 2009 devido ao aumento de quilometragem realizada pelos veículos e pela diminuição do uso do etanol e aumento da demanda de gasolina.

Em análise aos cenários futuros, verifica-se que se manter nesse ritmo, o setor de transporte

permanecerá com uma contribuição significativa para as emissões de GEE. Se nas próximas décadas os países continuarem na dependência dos combustíveis fósseis como sua principal fonte de energia, problemas ambientais regionais e globais possuem grandes possibilidades de serem acentuados. Já se identifica incentivos em âmbito global referente à descarbonização deste setor, porém, fatores ainda dificultam esta transição, como por exemplo, baixo incentivo e consciência dos gestores públicos, incentivos fiscais para combustíveis fósseis, carência de financiamentos voltados a mobilidade sustentável, baixa autonomia dos governos municipais e falta de priorização da mobilidade urbana nos investimentos públicos (Toledo & La Rovere, 2018).

Além disso, o atual desenvolvimento brasileiro vai ao encontro com a crise da mobilidade urbana, uma vez identificada, na maior parte das cidades a priorização do transporte motorizado individual em detrimento ao coletivo, do uso restrito do transporte não motorizado, da ineficiência da integração entre as diferentes modalidades disponíveis em um mesmo município, bem como, da falta de sintonia entre o planejamento urbano de uma região com o desenvolvimento do transporte (Mello & Portugal, 2017).

Diante deste cenário, verifica-se a necessidade urgente de mudança de paradigma, visando alterar o padrão de desenvolvimento e sua relação com o transporte urbano, criando uma visão mais integrada entre a gestão urbanística de uma cidade, tendo como base os princípios de sustentabilidade e priorizando a inclusão social. Neste sentido, o Governo Federal brasileiro promulgou a Lei n° 12.587, de 03 de janeiro de 2012, denominada como Lei da Mobilidade Urbana.

Esta lei está em conformidade com o estabelecido na Constituição Federal, que determina que a União deve impor diretrizes para o desenvolvimento urbano. A Lei de Mobilidade Urbana está fundamentada em princípios e entre eles encontra-se o “desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais”. Para isso, elenca diretrizes voltadas para uma mobilidade urbana mais sustentável e com diminuição da emissão de gases de efeito estufa, e consequentemente, da poluição atmosférica.

O Artigo 24, parágrafo 1° da referida lei, menciona que “em municípios acima de 20.000 (vinte mil) habitantes e em todos os demais obrigados, na forma da lei, à elaboração do plano diretor, deverá ser elaborado o Plano de Mobili-

dade Urbana - PMU, integrado e compatível com os respectivos planos diretores ou neles inserido”. O PMU é um documento técnico que define metas e estabelece orientações para os municípios seguirem para os próximos anos, visando a melhoria da mobilidade urbana. Este é também um instrumento que visa a aplicabilidade da Política Nacional de Mobilidade Urbana e tem como objetivo integrar os diferentes modos de transporte e melhorar a acessibilidade e mobilidade de pessoas e cargas em um município. Além do mais, deve contemplar planejamento para curto, médio e longo prazo. Este documento deve incluir os serviços coletivos de transporte público, tráfego rodoviário, infraestruturas do sistema de mobilidade urbana, acessibilidade para pessoas com deficiência e restrições de mobilidade, entre outros aspectos da mobilidade, visando ganhos de qualidade de vida (BRASIL, 2012).

Deste modo, caso o PMU seja elaborado de acordo com as diretrizes e conteúdo exigidos pela legislação, bem como, seja elaborado a partir de um diagnóstico criterioso do município e planejado visando a mobilidade sustentável, a emissão de GEE, mesmo diante do desenvolvimento das cidades, tende a diminuir quando comparada ao cenário de análise inicial. Esta é uma das razões da importância de elaboração de estudos que relacionem planejamento urbano, políticas públicas, planejamento de mobilidade urbana, emissões de GEE e cenários de emissão.

Visando cumprir os requisitos legais na legislação em vigor, atualmente o município de Brusque/SC encontra-se em fase de aprovação do PMU já finalizado. O Plano de Mobilidade Urbana buscou atender todas as exigências previstas em lei e tem entre os seus objetivos, proporcionar melhoria na qualidade de vida urbana, através da ampliação da infraestrutura

para pedestres e ciclistas e diminuição da dependência por viagens de automóveis e motocicletas e melhoria nas condições ambientais da cidade, com a redução da poluição atmosférica, visual e sonora.

O foco é que se busque a redução da emissão a medida que forem analisados os cenários propostos, visando o desenvolvimento do setor de transporte, mas que ele ocorra de maneira equilibrada com o meio ambiente. A busca de um equilíbrio entre o desenvolvimento e o meio ambiente é um desafio atual e que se estenderá para as demais gerações, sendo que medidas devem ser tomadas de maneira imediata para questões ainda não implantadas e as medidas que já foram implantadas, deverão ser intensificadas cada vez mais.

As ações foram analisadas em âmbito local, focadas no município de Brusque/SC, porém, as consequências positivas poderão se estender para seus municípios limítrofes, visto não haver limites territoriais para a questão atmosférica. Além do mais, visto que estes municípios também estão em fase de elaboração de seus Planos de Mobilidade Urbana, a medida estudada em Brusque, poderá incentivá-los a também realizá-la, objetivando a implantação gradual de seus PMU visando a redução de Gases de Efeito Estufa.

Deste modo, o presente estudo teve o objetivo principal de analisar o potencial de redução da emissão de GEE, a partir da implantação do PMU do município de Brusque/SC, sendo que para isso foram analisados os cenários baseados nas fases de implantação plano; houve a avaliação da emissão de GEE dos cenários por meio da utilização do Programa Brasileiro GHG *Protocol* e por fim, a determinação da influência dos GEE na variação da temperatura do município de Brusque e em esfera global, até o ano de 2121.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo da presente pesquisa foi o município de Brusque. O município de Brusque localiza-se no estado de Santa Catarina, na latitude 27°05'53” sul e longitude 48°55'03” oeste, altitude de 21 metros e pertence à região do Vale do Itajaí, tendo como municípios limítrofes: Guabiruba, Gaspar, Botuverá, Nova Trento, Canelinha, Camboriú e Itajaí.

O município pertence à bacia hidrográfica do rio Itajaí-Mirim, a qual encontra-se inserida na Região Hidrográfica RH-7. Sua área territorial é

de 283 km² e sua população de acordo com a estimativa populacional realizada pelo IBGE no ano de 2021 é de 140.597 habitantes, sendo considerado o 12º município mais populoso do estado de Santa Catarina (SEBRAE, 2022). A sua densidade demográfica é de aproximadamente 372,51 habitantes por km² e 96,7% da população reside em área urbana.

O clima do município é classificado como subtropical úmido – Cfa. Este clima é caracterizado como sendo mesotérmico, sem a presença

de uma estação seca. O município possui as estações de verão e de inverno bem definidas, com presença de precipitação em todos os meses do ano. A temperatura média em Brusque é de 19,5°C,

tendo precipitação anual de 1.500 a 1.700 mm e umidade relativa do ar entre 84 a 86% (Alvares et al., 2013). A figura 1 apresenta a localização do município em relação ao estado de Santa Catarina.

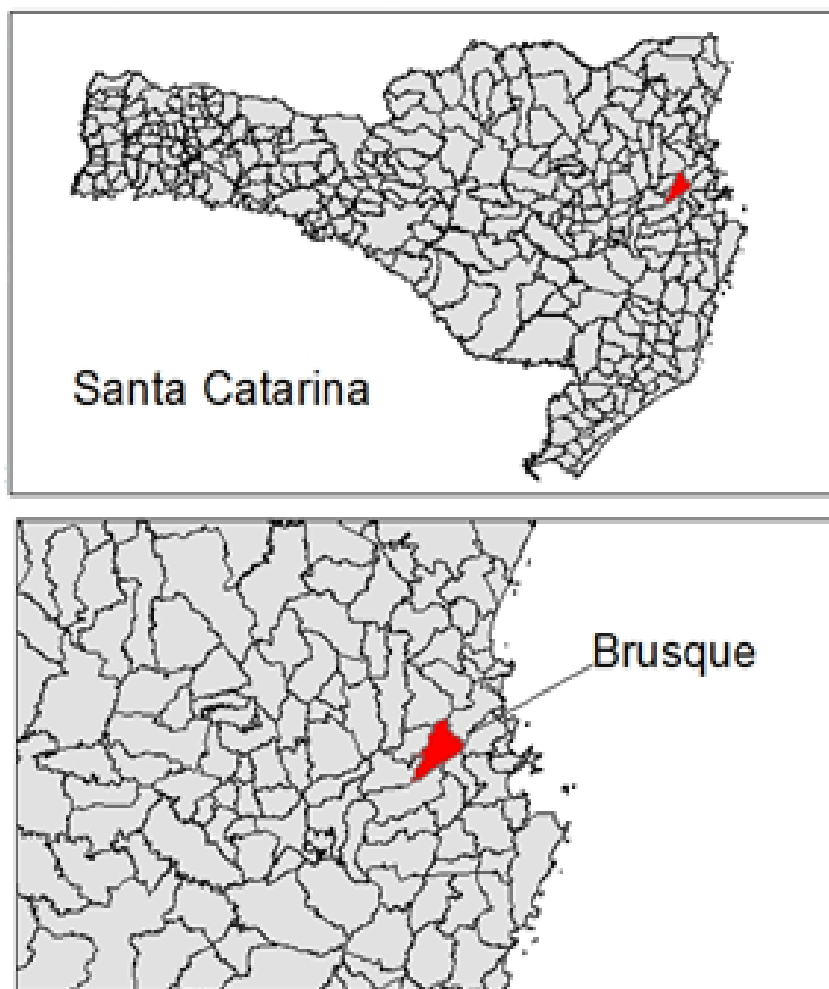


Figura 1- Localização do município de Brusque, em relação ao estado de Santa Catarina.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo utilizou o Programa Brasileiro GHG *Protocol* que é uma iniciativa da GVces (Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas) para registro e publicação de Inventários de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE, em inglês, GHG – *GreenHouse Gases*), através de uma plataforma de Registro Público de Emissões. O seu padrão de quantificação dos gases é compatível com a norma ISO 14.064 que especifica princípios e requisitos no âmbito da organização para a quantificação e para a elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE.

O desenvolvimento do estudo foi dividido em 3 etapas: Analisar os cenários baseados nas fases de implantação do Plano de Mobilidade Urbana - PMU; Avaliar a emissão de GEE dos cenários por meio da utilização do Programa Brasileiro

GHG *Protocol*; Determinar a influência dos GEE na variação da temperatura do município de Brusque, até o ano de 2121.

Cenários Propostos

Em relação à proposição dos cenários foram utilizados os dados disponíveis no PMU do município de Brusque/SC o qual apresenta metas para diferentes tipos de meio de transportes analisados. Além disso, as metas são estabelecidas em diferentes intervalos de tempo, incluindo dados de potencial de redução de GEE, sendo estes utilizados para o presente estudo.

O estabelecimento dos cenários foi construído propondo a associação dos principais tipos de transportes utilizados na cidade, sendo eles: transporte coletivo (ônibus e micro-ônibus); motorizado individual (automóveis, camionetes, camionetas e utilitários, motocicletas e motonetas);

bicicletas e caminhadas, bem como, metas para os anos 2020 (ano base do estudo), 2022, 2024, 2026, 2028 e 2030, como forma de estender a análise para dez anos após sua elaboração, visto que a Lei nº 12.587/2012 determina que a sistemática de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em

prazo não superior a 10 (dez) anos.

Em relação ao transporte coletivo, o PMU apresentou que a meta seria ampliar os deslocamentos pelo transporte coletivo por ônibus até 2030, dos atuais 10% para 30%, ou seja, realizar um incremento de 20%. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta a distribuição desta meta.

Tabela 1 - Distribuição das metas para a categoria de transporte coletivo para os cenários

Cenários	Ano	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	+4%: acrescentado para o cenário 1	10% dos deslocamentos
1	2022	+4%: acrescentado para o cenário 2	14% dos deslocamentos
2	2024	+4%: acrescentado para o cenário 3	18% dos deslocamentos
3	2026	+4%: acrescentado para o cenário 4	22% dos deslocamentos
4	2028	+4%: acrescentado para o cenário 5	26% dos deslocamentos
5	2030	Total de incremento: 20%	30% dos deslocamentos

Fonte: PMU Brusque (2020).

Para os veículos motorizados o PMU incluiu como meta redução dos atuais 70% para 55% dos deslocamentos realizados por veículo motorizado individual até o ano de 2030, ou seja, um decréscimo de 15% em 10 anos. Desta forma, foi realizada a seguinte distribuição nos cenários estudados (Tabela 2). Em relação às bicicletas as metas foram divididas em duas

etapas, sendo a finalização da execução da primeira etapa planejada para o ano de 2025 e acrescentando 26,70 km de ciclovias/ciclofaixas/ciclorotas nos 22,13 km já existentes. A segunda etapa foi planejada para finalizar no ano de 2030 e terá um acréscimo de 58,70 km. A Tabela 3 apresenta o detalhamento do conteúdo exposto.

Tabela 2 - Distribuição das metas para a categoria veículo motorizado individual para os cenários propostos no estudo.

Cenários	Ano	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	-3%: acrescentado ao cenário 1	70% dos deslocamentos
1	2022	-3%: acrescentado ao cenário 2	67% dos deslocamentos
2	2024	-3%: acrescentado ao cenário 3	64% dos deslocamentos
3	2026	-3%: acrescentado ao cenário 4	61% dos deslocamentos
4	2028	-3%: acrescentado ao cenário 5	58% dos deslocamentos
5	2030	Total do decréscimo: 15%	55% dos deslocamentos

Fonte: PMU Brusque (2020).

Tabela 3 - Distribuição das metas para a categoria de bicicleta para os cenários propostos no estudo.

Cenários	Ano	Km	Observação (incrementos)	Meta
Base	2020	22,13	+8,9 km acrescentado ao cenário 1	Etapa 1: até 2025 Incremento final de 26,70 km
1	2022	31,03	+8,9 km acrescentado ao cenário 2	
2	2024	39,93	+8,9 km acrescentado ao cenário 3	
3	2026	48,83	+29,35 km acrescentado ao cenário 4	Etapa 2: até 2030 Incremento final de 58,70 km
4	2028	78,18	+29,35 km acrescentado ao cenário 5	
5	2030	107,53	-	Total de incremento: 85,40 km

Fonte: PMU Brusque (2020).

Para a categoria 'caminhadas' não houve uma determinação quantitativa para análise. Deste modo, as metas inseridas foram determinadas por meio de análise do cotidiano dos munícipes de

Brusque e de demais informações incluídas no PMU. Após essas determinações, os cenários foram estabelecidos conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Determinação dos cenários para estudo.

Tipo de transporte	Cenários					
	Base (2020)	1 (2022)	2 (2024)	3 (2026)	4 (2028)	5 (2030)
Coletivo	10%	14%	18%	22%	26%	30%
Motorizado individual	70%	67%	64%	61%	58%	55%
Bicicletas	12%	12%	13%	14%	14%	14%
Caminhadas	8%	7%	5%	3%	2%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Adaptado de PMU Brusque.

Avaliação de Gases de Efeito Estufa - GEE

O Programa Brasileiro GHG *Protocol* realiza a mensuração da emissão por meio e três diferentes escopos, sendo eles:

Escopo 1: neste escopo são analisadas as emissões liberadas para a atmosfera e que estão diretamente relacionadas com a operação do objeto em estudo e que deste modo, a entidade possui responsabilidade e gerência sobre as emissões de GEE;

Escopo 2: este escopo está relacionado com as emissões indiretas de GEE provenientes da energia elétrica adquirida para uso da própria companhia, para o uso em consumo de eletricidade, calor, vapor e refrigeração;

Escopo 3: neste escopo são incluídas as demais emissões indiretas que não estão relacionadas com o objetivo do escopo 2. Sendo assim, são emissões de GEE oriundas da operação da entidade, porém, que a mesma não possui gerência, como por exemplo: matéria-prima adquirida, viagens de negócios e deslocamento dos colaboradores, descartes de resíduos, transporte e distribuição por terceiros.

Visto que o presente estudo se trata de uma análise de emissões de GEE em veículos utilizados no município de Brusque, foram utilizadas as planilhas de cálculo para combustão móvel inseridas no escopo 1 do programa. Para a ferra-

menta a combustão móvel é oriunda de emissões de GEE provenientes da queima de combustível, em que ocorre sua oxidação. A energia gerada pela combustão é utilizada para produzir movimento e percorrer um trajeto.

Os dados resultantes das análises foram os seguintes: consumo total mensal de combustível e emissões totais de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}). Para o cálculo do consumo mensal de combustível foi utilizada a Equação 1.

$$C = \frac{NV \times Vm \times Td \times 30}{cmc \times \% v} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: C = consumo total mensal de combustível (l); NV = número de veículos (unidade); Vm = velocidade média (km/h); Td = tempo de deslocamento (hora/dia); a multiplicação pelo valor de 30 ocorre, pois o tempo de deslocamento é diário e o resultado do cálculo é para o mês; cmc = consumo médio de combustível (km/l); % v = % total de veículos sendo utilizados (porcentagem).

Em relação ao número de veículos, essa informação foi obtida por meio dos dados disponíveis no site do Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN, 2020). Visto que o ano base da pesquisa e da elaboração do PMU é o ano de 2020, a Tabela 5 apresenta o quantitativo dos veículos estudados.

Tabela 5 - Quantificação de veículos no município de Brusque no ano de 2020, considerado o ano base do estudo.

Tipo de veículo	Quantitativo	Porcentagem de representatividade (%)
Automóveis	63.189	60,02
Camionetes, caminhonetas e utilitários (gasolina/álcool)	3.283,8	3,12
Camionetes, caminhonetas e utilitários (diesel)	13.135,2	12,48
Motocicletas e motonetas	25.303	24,03
Ônibus e Micro-ônibus	366	0,35
Total	105.277	100

Fonte: Detran (2020).

Foi determinado que do total do quantitativo da categoria ‘Camionetes, caminhonetes e utilitários’ 80% utiliza diesel (13.135,2) como combustível e os demais 20% são motores flex (3.283,8). Para cada um dos veículos estudados foi determinado o consumo médio de combustível. Para as categorias automóveis, camionetes, caminhonetes e utilitários (gasolina/álcool), camionetes, caminhonetes e utilitários (diesel) e para motocicletas e motonetas a média de consumo de combustível (km/l) foi obtida por meio do cálculo da média dos dez veículos mais econômicos e dos dez menos econômicos para cada categoria estudada, sendo que para a categoria ônibus e micro-ônibus a média foi obtida diante da análise do tipo de veículo utilizado em Brusque. Sendo assim, as médias alcançadas foram: 11,17 km/l para automóveis; 8,17 km/l para camionetes, caminhonetes e utilitários (gasolina/álcool); 9,74 km/l para camionetes, caminhonetes e utilitários (diesel); 50,39 km/l motocicletas e motonetas e 2,55 km/l para ônibus e micro-ônibus.

Além disso, foi considerada para a categoria de automóveis, caminhonetes/caminhonetas e utilitários e motocicletas/motonetas a velocidade média de 50 km/h. Já para a categoria ônibus/micro-ônibus a velocidade estimada foi de 30 km/h. O tempo de deslocamento, de acordo com dados obtidos no PMU, é de 12 minutos por habitante e a estimativa de porcentagem total dos veículos sendo utilizados foi de 80%.

A Equação 1 foi utilizada para o cálculo de emissões do cenário base. Para os demais cenários, levou-se em consideração o percentual representativo da meta estipulada para a categoria em cada um dos cenários, em razão do cenário base. Assim sendo, para o cenário 1 a equação foi multiplicada pela razão 67/70, para o cenário 2 foi multiplicado por 64/70, para o cenário 3 foi utilizada a razão 61/70, cenário 4 foi multiplicado por 58/70 e para o cenário 5 foi multiplicado por 55/70. Para a categoria ‘ônibus e micro-ônibus’, visto que o PMU apresentou a quilometragem total rodada por mês por este tipo de veículo, a Equação 2 foi utilizada para o cálculo do consumo total mensal de combustível.

$$C = \frac{Km \times \% a}{cmc} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: C = consumo total mensal de combustível (l); Km = quilometragem; % a = percentual de acréscimo nos cenários (acréscimo de 4% em

cada cenário); cmc = consumo médio de combustível (km/l).

Para a determinação do percentual de combustível fóssil e de biocombustíveis foi utilizado o valor referência estipulado pela Resolução do CONAMA nº 415, de 24 de setembro de 2009, que dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. De acordo com o Artigo 9º, parágrafo 1º:

A mistura gasolina e álcool etílico anidro combustível deverá ser preparada a partir dos respectivos combustíveis de referência, contendo 22%, com variação de um ponto percentual para mais ou para menos em volume de álcool etílico anidro combustível, conforme estabelecido no art. 9º da Lei no 8.723, de 1993.

Diante dos princípios estabelecidos na Política Energética Nacional, especialmente ao determinado no item III do artigo 1º da Lei nº 9.478/1997 - proteger os interesses do consumidor quanto ao preço, qualidade e oferta dos produtos, o CNPE - Conselho Nacional de Política Energética em assessoria a Presidência da República, manteve para o ano de 2022 o teor de 10% de biodiesel no diesel (BRASIL, 2022). Sendo assim, a partir destes dados obtidos e das estimativas realizadas, foi possível determinar a emissão de GEE em cada um dos cenários estudados.

Em relação ao cálculo das emissões totais (t CO_{2e}) os valores foram obtidos por meio da formulação padronizada da ferramenta utilizada, sendo este o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por determinação do Programa GHG *Protocol* Brasil, os inventários de emissões de GEE desenvolvidos a partir do ano de 2021 devem utilizar o potencial de aquecimento global de cada GEE, divulgados pelo IPCC *Fifth Assessment Report: Climate Change* 2013 (AR5).

Determinação da influência dos Gases de Efeito Estufa na variação da temperatura

Diante dos resultados das emissões de GEE nos cenários estudados, optou-se por utilizar as metodologias de Stephens & Ellis (2008). e de UCAR (2022) para determinar o impacto da redução da emissão de GEE dos cenários propostos sobre a temperatura até o ano de 2121. Foi necessário considerar a evolução de com-

centração de CO₂ por meio dos dados históricos do IPCC existentes entre os anos de 1960 a 2020, considerando que a partir do último ano analisado (2020) o aumento da concentração seguiria a tendência calculada para o período analisado, passando a possuir apenas a influência das reduções obtidas nos cenários estudados.

Visto o fato de o modelo utilizar a escala global, realizou-se a extrapolação das emissões reduzidas a partir dos cenários verificados para a escala municipal de Brusque/SC para uma escala à população mundial. Sendo assim, foi possível determinar qual a influência da aplicação dos cenários analisados no presente estudo em um nível mundial.

Stephens & Ellis (2008) e apresenta que uma duplicação instantânea da concentração de CO₂ possui a capacidade de aumentar a opacidade da atmosfera à radiação de calor, havendo desta forma, a redução de sua reflexão para o espaço em valor de aproximadamente 4 Watts/m², ou seja, a duplicação instantânea significa que não há feedback de uma alteração na opacidade do vapor de água devido a uma mudança na temperatura.

Diante desta informação, para que haja um aumento de temperatura em decorrência do aumento da concentração de CO₂, se faz necessário obter a temperatura que representa o aquecimento da Terra para que haja a irradiação de uma energia extra, assumindo o equilíbrio termodinâmico local. Isto significa que, num volume atmosférico localizado abaixo dos 40 quilômetros, considera-se que é isotrópico (a emissão não é direcional) com uma temperatura uniforme.

Desta forma, ao aplicar a duplicação de concentração de CO₂ (C = 2C₀), verifica-se que ao fato de dobrar a concentração de gás carbônico, há em consequência, um aumento de 1,2°C na temperatura. Esta equação representa a variação de temperatura (ΔT) quando a concentração de CO₂ parte de C₀ para C, em partes por milhão (ppm). A Equação 3, nominada como equação de Stephens & Ellis (2008) é definida por:

$$\Delta T = 1,66 \times \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde: ΔT = Variação de temperatura (°C); C

= Concentração final de CO₂ (ppm); C₀ = Concentração inicial de CO₂ (ppm).

Já os pesquisadores da *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) desenvolveram o *Very Simple Climate Model*. Por meio do modelo desenvolvido é possível explorar como a taxa de emissões de dióxido de carbono afeta a quantidade de CO₂ na atmosfera e a temperatura da Terra. Este modelo também permite que sejam analisados cenários para o clima futuro usando o modelo com instruções mais detalhadas.

Para o modelo a temperatura global média é determinada inteiramente pela concentração de dióxido de carbono atmosférico por meio do aquecimento da atmosfera com efeito de estufa e da absorção de dióxido de carbono pelo oceano e pela biosfera, que são mantidos constantes ao longo do tempo. Este modelo desconsidera alguns fatores, tais como: impactos das mudanças na biosfera; mudanças nas nuvens e no clima e outros GEE. O modelo utiliza a Equação 4 apresentada a seguir:

$$T = T_0 + S\left(\frac{C}{C_0}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde: T= Temperatura a ser calculada diante do acréscimo de concentração de dióxido de carbono (°C); T₀ =, Temperatura anterior à avaliada, ou seja, temperatura de referência (°C); S = Sensibilidade climática (resultado do aumento de temperatura como resultado do aumento em dobro de CO₂); C = Nova concentração de CO₂ que será utilizada para estimar o aumento da temperatura (ppm); C₀ = Concentração de CO₂ inicial (ppm) – no mesmo período da temperatura inicial (T₀).

Nestes modelos considerou-se que cerca de 45% das emissões de GEE são direcionadas para a atmosfera e, conseqüentemente, aumentando a sua concentração, visto que é considerado que aproximadamente 55% das emissões são absorvidas pela biosfera e pelos oceanos. Considera-se também que a cada 7,8 giga toneladas de dióxido de carbono direcionadas para a atmosfera, há o aumento de 1 ppm da concentração de dióxido de carbono atmosférico, levando em consideração as estimativas da quantidade total de CO₂ na atmosfera (em giga toneladas - GtC) e da concentração de CO₂.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparativo entre os cenários

Por meio da determinação dos cenários e da organização dos dados obtidos foi possível

mensurar as emissões de GEE com a utilização da ferramenta do Programa Brasileiro GHG *Protocol*. Foram inseridos no programa as

variáveis obtidas a partir da análise e manipulação dos dados do diagnóstico do PMU e de variáveis bibliográficas, conforme apresentado na metodologia.

As variáveis necessárias para mensurar os GEE, por meio da ferramenta selecionada foram: quantificação dos meios de transportes; veloci-

dade média; tempo médio de deslocamento; o consumo médio de combustível e estimativa de porcentagem total dos veículos utilizados ao mesmo tempo. O consumo total de combustível (somatório do combustível fóssil e do biocombustível), em cada um dos cenários propostos, é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Consumo total mensal de combustível, em litros, para os cenários propostos.

Descrição da frota	Tipo de combustível	Cenário base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Automóveis	Gasolina Automotiva (comercial)	1.357.686,66	1.299.500,09	1.241.313,52	1.183.126,95	1.124.940,38	1.066.753,80
Caminhonetes e Utilitários	Gasolina Automotiva (comercial)	96.464,14	92.329,96	88.195,78	84.061,61	79.927,43	75.793,25
Caminhonetes e Utilitários	Óleo Diesel (comercial)	323.659,96	309.788,82	295.917,68	282.046,54	268.175,39	254.304,25
Motocicletas	Gasolina Automotiva (comercial)	120.514,39	115.349,49	110.184,58	105.019,68	99.854,78	94.689,88
Ônibus coletivo	Tipo de combustível	54.591,21	56.774,86	59.045,81	61.530,55	63.863,92	66.418,42

É possível observar que para as categorias 'automóveis', 'caminhonetes e utilitários' (gasolina e diesel) e 'motocicletas', houve a redução do consumo total de combustível entre o cenário base e os cenários propostos. No entanto, esta tendência não foi verificada para a categoria 'ônibus e micro-ônibus', uma vez que nos cenários propostos houve um incremento percentual desta categoria, mas não há uma redução do uso.

A categoria de maior consumo de combustível foi a categoria 'automóveis', representando aproximadamente 70% do consumo total de combustível nos seis cenários analisados. A categoria 'ônibus/micro-ônibus' foi a frota de menor consumo total de combustível, totalizando 3,45% do montante de combustível total consumido.

A partir da mensuração do consumo de combustível foi possível calcular as emissões totais de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) para os cenários em estudo (Figura 2). Diante do fato dos cenários analisados serem oriundos das metas do PMU e este possuir um caráter voltado para mobilidade com a tendência mais sustentável, conforme exigido em lei, os resultados obtidos caracterizaram esta propensão, uma vez verificada a redução das emissões de GEE no decorrer da concretização das metas.

O decaimento da emissão de GEE foi caracterizado como gradual e constante, totalizando uma redução de 20% em comparação ao cenário base, sendo que este contabilizou a emissão de 44.791,95 tCO_{2e} e o cenário 5 foi de 35.865,91

tCO_{2e}. O cenário 5 é considerado o mais ambicioso, com a união e aplicação da totalidade das metas determinadas para o PMU, para o ano de 2030, ou seja, à medida que foram aplicados os cenários propostos na presente pesquisa, associados ao estímulo da utilização de veículos individuais motorizados, foi verificada a redução da emissão de GEE. Afirma-se, portanto, que as medidas propostas nos cenários vão ao encontro de soluções mais sustentáveis para o setor de mobilidade.

De acordo com Lerman (2020); Sukmana et al. (2019) e Hidalgo & Huizenga (2013), ao ser incorporado no cotidiano de uma cidade o uso de meios de transporte motorizados, migrando de combustíveis fósseis para alternativas mais limpas ou então, meios de transporte não motorizados, a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE diminui e, conseqüentemente, a qualidade ambiental dos centros urbanos e da população residente.

Além do tipo de meio de transporte utilizado, quesito este que foi analisado para a elaboração dos cenários, o tipo de combustível também possui grande relevância nas emissões de GEE. Entretanto, os municípios possuem limitações para realizar incentivos a um combustível, visto que os tributos são em sua maioria estaduais e/ou nacionais e, fica sob responsabilidade do município as ações de restringir os horários ou zonas de tráfego de certos veículos.

De acordo com Yigitcanlar & Teriman (2015), os ambientes urbanos têm promovido impactos

substanciais sobre os estilos de vida, comportamentos e padrões de consumo das pessoas. Portanto, um desenvolvimento sustentável é

crucial não só para facilitar a forma de viver nas cidades, mas também para manter a existência de ecossistemas urbanos.

Emissões totais (t CO₂e) por cenário

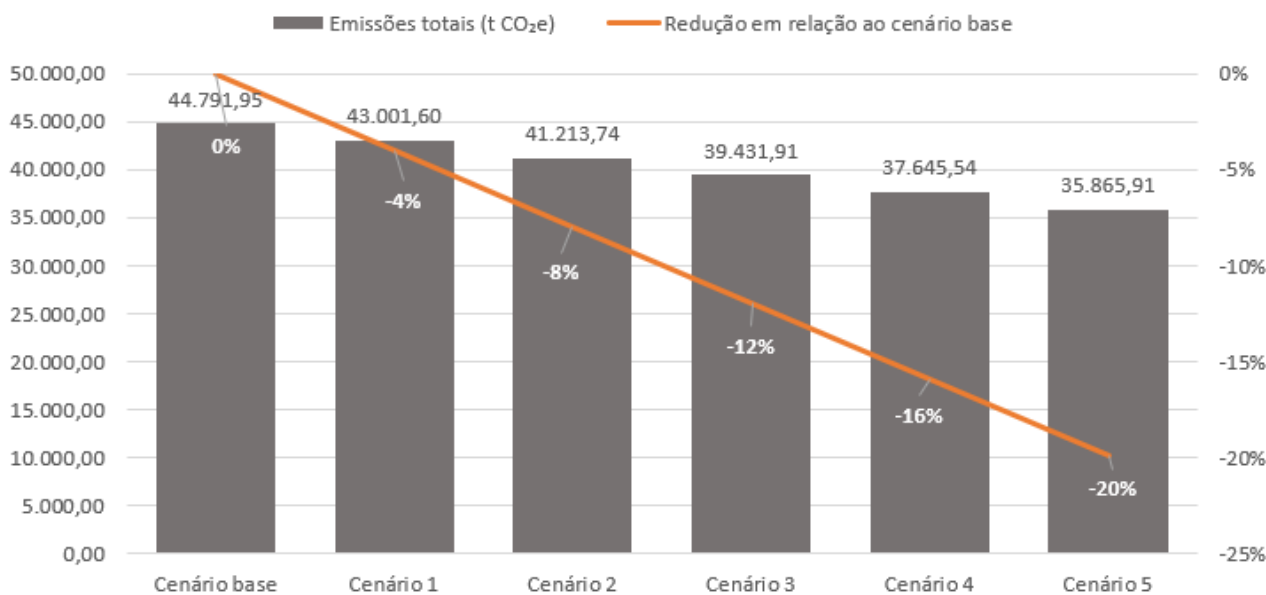


Figura 2- Emissões totais, em toneladas, de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) para cada um dos cenários estudados, bem como a redução de emissão em relação ao cenário base.

Influência dos Gases de Efeito Estufa na variação da temperatura

A partir dos resultados dos cenários obtidos por meio da utilização do Programa Brasileiro GHG Protocol, foram aplicados os cálculos apresentados na Metodologia - métodos Ellis e UCAR a fim de estimar a mudança de temperatura nos cenários propostos e para uma progressão até o ano de 2121.

Visto que as equações utilizadas são direcionadas para a variação em cenário mundial de temperatura, e que o presente estudo foi focado para as emissões em nível do município de Brusque/SC, foi necessário realizar a extrapolação dos resultados para a população global, com o objetivo de determinar a influência das emissões obtidas.

Deste modo, considerou-se o pressuposto de que as sucessivas e graduais reduções de GEE obtidas nos cinco cenários elaborados (cenário 1 ao 5) fossem aplicadas e obtidas de forma constante em nível global e não apenas no município estudado e para isso foi determinado um fator de multiplicação para ser aplicado, obtido diante da razão da população mundial (7,8 bilhões) com a população do município de Brusque (140.597 habitantes), obtendo-se assim o fator de 55.477.

Em seguida foi possível determinar a influência

das emissões dos cenários determinados na temperatura do Planeta Terra. Para isso, foi utilizado, como já apresentado, as equações do método de Stephens & Ellis (2008) e de UCAR (2022), para determinar a diferença de temperatura entre o período do ano de 2020 a 2121.

Por meio da análise dos resultados obtidos, foi possível verificar que se obtêm resultados menores de temperatura no decorrer dos anos estudados, ou seja, há uma tendência de redução da temperatura, a partir da aplicação dos cenários propostos. Em ambas as metodologias aplicadas o cenário 5 foi o que obteve a maior diferença de temperatura, sendo uma diminuição de 0,90°C para o método UCAR (2022) e de 0,92°C para o método Stephens & Ellis (2008).

A temperatura global considerada para o ano base foi 14,65°C, conforme determinado por IPCC (2021), sendo que, com a aplicação dos métodos, obteve-se que a temperatura tendencial para o ano base é de 16,11°C. Neste caso, foram utilizadas as emissões geradas pelo transporte e considerou-se nulas as demais emissões, visando analisar a influência da mobilidade para a emissão geral de GEE. Por meio da análise do último cenário proposto, obteve-se, pelo método UCAR (2022), a temperatura de 15,22°C para o ano 2121 e, 15,19°C pelo método Stephens & Ellis (2008). A Tabela 7 apresenta a temperatura

Tabela 7 - Temperatura obtida para o ano de 2121 e a redução de temperatura (em relação ao cenário base) pelos métodos UCAR e Ellis.

Método	Cenário base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
UCAR (2022)	T (°C)	16,11	15,23	15,23	15,22	15,22
	ΔT (°C)	0	-0,88	- 0,89	-0,89	-0,89
Stephens & Ellis (2008)	T (°C)	16,11	15,21	15,20	15,20	15,20
	ΔT (°C)	0	-0,91	-0,91	-0,91	-0,92

obtida para o ano de 2121 e a redução de temperatura (em relação ao cenário base) para os dois métodos aplicados.

O presente estudo também obteve a diferença de concentração de dióxido de carbono atmosférico comparando o cenário base e o cenário 5 proposto, com relação aos modelos CMIP6, a fim de analisar a tendência dos cenários do PMU em relação aos modelos apresentados.

Esta etapa do estudo permitiu verificar como os modelos desenvolvidos se mantiveram ao longo do passar dos anos estudados, sendo que cada modelo possui circunstâncias de aumento e redução de emissões de GEE globais. No entanto, o presente estudo considera uma variável de emissão, que é o transporte, já os modelos clássicos consideram uma série de variáveis associadas aos processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e floresta, energia, alterações na camada de ozônio, entre outras. Deste modo, é considerado que os modelos CMIP6 possuem uma análise mais complexa, porém, mesmo diante desta diferença, ambos possuem lógicas homólogas.

Visto que no cenário base e o cenário 5 foram consideradas emissões constantes ao longo dos anos, o comportamento apresentado é linear, se diferenciando das demais análises do modelo CMIP6, conforme é possível verificar na Figura 3.

De acordo com Dantas et al. (2008), o processo de degradação ambiental ocorre de diferentes maneiras e em níveis temporais e espaciais distintos, sendo assim, a temperatura do ar associada aos demais fenômenos como, por exemplo, a poluição atmosférica, estão relacionadas e devem ser compreendidos por meio de análise das variabilidades e mudanças de comportamento das variáveis climáticas.

No processo de urbanização de uma cidade a transferência de radiação é afetada pela poluição do ar, acrescida pela emissão de GEE pelos meios de transporte movidos a combustível fóssil, aumentando deste modo, o número de núcleos de condensação no ar, o que acarreta em um acréscimo da precipitação local e na criação

de ilhas de calor (Oke, 1987; Arya, 1988). Lombardo (1985) menciona que a associação da poluição atmosférica em adição com as ilhas de calor são exemplos relevantes de alterações que o processo de urbanização impõe às condições climáticas locais.

Saldiva (2018) afirma que a grande maioria das cidades brasileiras têm os veículos como principal fonte de emissão de gases poluentes na atmosfera e também como causador de imobilidade, quando seu uso ocorre em excesso pela grande maioria dos habitantes de uma localidade, fato que dificulta o tráfego e ocasiona congestionamentos e maior inalação de poluentes.

Dantas et al. (2008) e Saldiva (2018) mencionam que as cidades, principalmente os seus centros urbanos, estão cada vez mais aquecidos (originando as ilhas de calor), quando comparado com demais localidades mais distantes das aglomerações urbanas. Lombardo (1985), menciona que os habitantes dessas áreas se tornam pessoas mais vulneráveis às enfermidades cardiovasculares, por exemplo, o que se torna uma situação ainda mais preocupante com a população de idade mais elevada. A junção de diferentes áreas aquecidas espalhadas por diferentes cidades, países e continentes, oriundas em muitos casos pela emissão de dióxido de carbono e de demais gases poluentes, podem acarretar em uma prospectiva mudança climática no planeta.

Muito se fala sobre a influência do aumento de temperatura em relação aos elementos meteorológicos e, baseado nisto, o presente estudo abordou e propôs metas direcionadas ao trânsito da cidade de Brusque/SC com o intuito de gerar o decréscimo da temperatura. Sendo assim, em uma visão antagônica sobre o que muito se disserta, o decréscimo da temperatura global, diante de medidas de redução de emissão de GEE, contribuirá para que os países que se comprometeram no Acordo de Paris a manterem o aumento da temperatura média global para abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais e a fazer esforços para limitar esse aumento da temperatura média a 1,5°C, propor-

cionando o alcance do objetivo acordado (UNITED NATIONS, 2015).

O município de Brusque sofre, constantemente, com alagamentos em função do Rio Itajaí mirim cortar a região central da cidade e de suas margens possuírem pouca vegetação, o que ocasiona assoreamento que intensifica os alaga-

mentos. A redução da emissão de gases de efeito estufa prevista em função da implantação do PMU de Brusque possibilitará uma pequena redução da temperatura no município, que, conseqüentemente, possibilitará a alteração do regime de chuvas no município e região, reduzindo os constantes alagamentos.

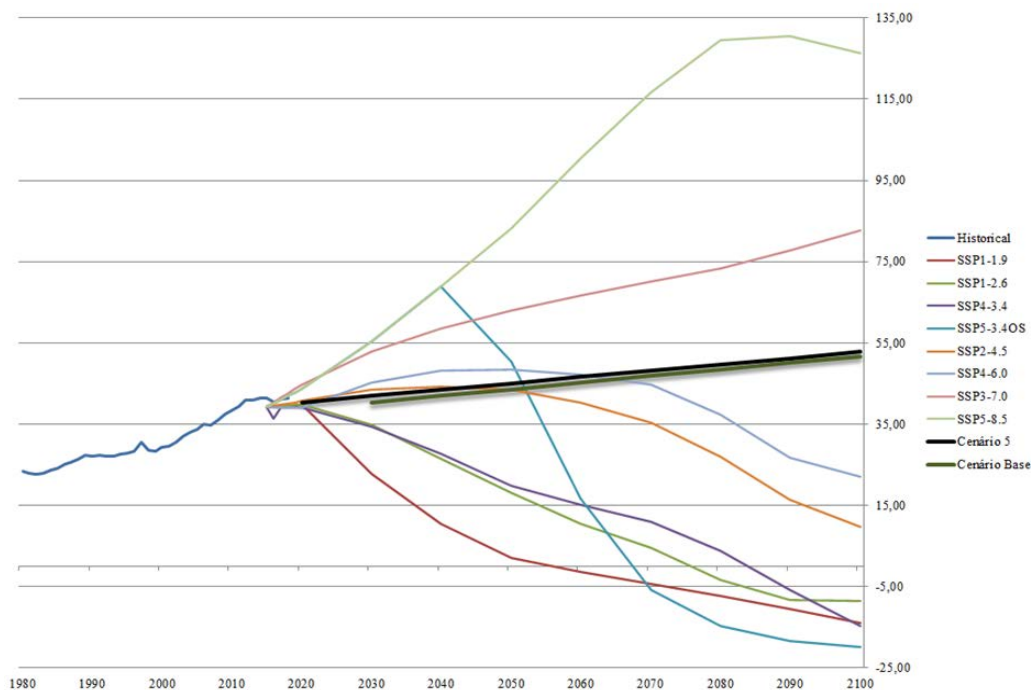


Figura 3- Concentração de dióxido de carbono atmosférico nos modelos CMIP6, cenário base do estudo e cenário 5.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo estão alinhados com estudos similares, indicando que a adoção de práticas mais sustentáveis relacionadas às questões de mobilidade, são eficazes para a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE. Os resultados obtidos deixam claro que a permanência da execução das ações atuais de mobilidade, sem a introdução de ações voltadas para mobilidade urbana coletiva e mais sustentável, acarretará em maiores emissões de gases poluentes na atmosfera. Observou-se uma redução de 20% da emissão total de dióxido de carbono equivalente quando comparado o cenário atual com o cenário 5 (cenário com a maior introdução das metas de melhorias estipulados pelo PMU).

Diante dos cenários propostos foi possível avaliar a emissão de GEE por meio de ferramenta reconhecida e determinar a influência dos gases

na variação de temperatura estendendo a análise até o ano de 2121. Sendo assim, a partir da presente pesquisa foi possível analisar o potencial de redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), a partir da implantação do Plano de Mobilidade Urbana (PMU) do município de Brusque/SC.

Além disso, pode-se observar que as emissões oriundas do trânsito acarretam no acréscimo da concentração de GEE da cidade e possui como uma das conseqüências a adição de temperatura local. Quando dilatado o horizonte temporal e territorial de análise, observou-se que a introdução das metas do PMU impactou positivamente na mitigação do aquecimento global, uma vez que houve o resultado de redução média global de 0,89°C, quando utilizado o método UCAR (2022) e de 0,91°C, quando utilizado o método de Stephens & Ellis (2008) ou seja, redução de aproximadamente 1°C.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.D.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. 7.
- ARYA, S.P. **Introduction to Micrometeorology**. USA: Academic Press Inc, 1988.
- BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME reafirma o acerto da decisão do CNPE de manter o teor de**

- biodiesel no diesel em 10% ao longo de 2022.** Dispo. em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-reafirma-o-acerto-da-decisao-do-cnpe-de-manter-o-teor-de-biodiesel-no-diesel-em-10-ao-longo-de-2022>>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- BRASIL. **Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana.** Brasília-DF, 2012.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de emissões veiculares no Estado de São Paulo.** São Paulo: 2013. 110 p. Dispo. em <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/mio_ambiente/INVEMI_P11B.pdf>: Acesso em: 28 set. 2019.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009. **Resolução nº 415, 24 de setembro de 2009.** Ministério do Meio Ambiente. 2009.
- DANTAS, R.T.; OLIVEIRA, F.M.D.; LIRA, V.M.D.; SOUZA, W.M.D. Avaliação das alterações de elementos meteorológicos em Recife-PE no período de 1961 a 2000. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 20, p. 67-74, jun. 2008.
- GHG PROTOCOL. **Programa Brasileiro GHG Protocol.** Dispo. em: <<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>>. Acesso em: 20 maio 2022.
- GONÇALVES, J.M.F. & MARTINS, G. **Consumo de energia e emissão de gases do efeito estufa no transporte de cargas no Brasil. 2008.** Dispo. em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao586/Art.Transporte_1.pdf>.
- HIDALGO, D. & HUIZENGA, C. Implementation of sustainable urban transport in Latin America. **Research In Transportation Economics**, v. 40, n. 1, p. 66-77, abr. 2013.
- LERMAN, L.V.; KOEFENDER, A.; BENITEZ, G.B.; LIMA, M.JD.R.F.; FRANK, A.G. Comparative analysis between transportation modes for sustainability perspective in one metropolitan region of southern Brazil. **Thematic Section - Sustainability In Transportation And Logistics**, S.L, v. 1, n. 30, p. 1-13, 18 set. 2020.
- LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo**, São Paulo-SP: Editora Hucitec, 1985. 244 p.
- MELLO, A. & PORTUGAL, L. Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil. **Eure**, Santiago, v. 43, n. 128, p.1-27, jan. 2017.
- NOBRE, C.A.; REID, J.; VEIGA, A.P.S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas** – São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris: Período 1970 a 2016.** SEEG, 2018. 51 p.
- OKE, T.R. **Boundary Layer Climates.** 2. ed., London; New York: Routledge, 1987. 435 p.
- SALDIVA, P. **Vida Urbana e Saúde: os desafios dos habitantes das metrópoles.** São Paulo: Contexto, 2018. 128 p.
- SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA - SEBRAE. **Brusque:** Município em números. Florianópolis: SEBRAE/SC, 2019.
- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970 a 2020.** 2021.
- STEPHENS, G.L. & ELLIS, T.D. Controls of global-mean precipitation increases in global warming GCM experiments. **Journal of Climate**, n. 21, n. 23, p. 6141–6155, 2008.
- SUKMANA R.S.C.; HAMZAH, B.; RAHIM, D. An application of the bicycle lane on the complete street concept in efforts reducing global warming impact. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 235, n. 1, p. 012091, 2019. IOP Publishing.
- TOLEDO, A.L.L. & LAROVERE, E.L. Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil. **Sustainability**, Basileia, v. 3995, n. 10, p.1-24, nov. 2018.
- TOLEDO, A.L.L. **Emissões de Gases de Efeito Estufa da Mobilidade Urbana: o caso de Natal.** Rio de Janeiro 2019. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- UCAR - UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. **Very Simple Climate Model.** Dispo. em <https://scied.ucar.edu/interactive/simple-climate-model>. Acessado em: 10 maio 2022.
- UNITED NATIONS. **Adoption of the Paris Agreement.** 2015. Dispo. em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>>. Acesso em: jul. 2022.
- YIGITCANLAR, T. & TERIMAN, S. Rethinking sustainable urban development: towards an integrated planning and development process. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 1, n. 12, p. 341-352, 2015.

*Submetido em 16 de setembro de 2022
Aceito para publicação em 18 de abril de 2023*