



**ADRIELE MARIA DE CÁSSIA CRISPIM**

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE CARBONO  
EQUIVALENTE NO SETOR DE TRANSPORTE DO  
MUNICÍPIO DE LAVRAS/MG**

**Lavras–MG**

**2020**

**ADRIELE MARIA DE CÁSSIA CRISPIM**

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE CARBONO  
EQUIVALENTE NO SETOR DE TRANSPORTE DO  
MUNICÍPIO DE LAVRAS/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para obtenção do título de  
Bacharel.

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho

Orientador

**Lavras–MG**

**2020**

**ADRIELE MARIA DE CÁSSIA CRISPIM**

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE CARBONO EQUIVALENTE NO SETOR DE  
TRANSPORTE DO MUNICÍPIO DE LAVRAS/MG**

**ESTIMATE OF EQUIVALENT CARBON EMISSIONS IN THE TRANSPORT  
SECTOR OF THE MUNICIPALITY OF LAVRAS/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para obtenção do título de  
Bacharel.

Aprovado em

Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho                      UFLA

Dr. Adriano Viana Ensinas                              UFLA

Dra. Luciana Braga Silveira                            UFLA

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2020**

*Aos meus pais, Carlos e Rosângela, por todo amor e carinho.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter atendido minhas orações e por ter me sustentado durante toda esta jornada. Agradeço meus queridos pais Carlos e Rosângela que apesar das dificuldades me incentivaram a chegar até aqui, sempre com palavras de amor, carinho e muito positivismo, sem vocês esse sonho não seria possível! Ao meu irmão Weriks, obrigada por sempre acreditar no meu potencial. Aos meus avós Maria (*in memoria*), Jorge (*in memória*) e Geni (carinhosamente Vó Ni) por todas as orações e carinho. Agradeço todos os meus tios, tias, em especial minha tia Lila que não me deixou desistir em nenhum momento e me motivou a estudar, e também minha tia Elisângela que sempre tem uma palavra de conforto para me oferecer nas horas difíceis. Agradeço também aos meus tios Hilda, Raimundo, Ricardo e minha amiga Kate, que me ofereceram uma casa e mais do que isso, uma família em Lavras. Em especial ao tio Ricardo que foi um exemplo para mim e me deu todo incentivo, apoio e suporte para que eu estudasse, obrigada pelos seus cuidados e conselhos tio, jamais esquecerei tudo o que você e Kate fizeram por mim. Ao meu namorado Gabriel e sua família, Zilda, Fernando e Miguel por todo cuidado, amor e por acreditarem em meu potencial. A minha prima Gleice, que sonhou esse sonho junto comigo, desde que éramos pequenas. Agradeço também a todos os meus amigos, em especial Lissa, Flávia, Larissa, Yasmim, Renata, Raiane, Marina e Jaqueline, eu não sei o que seria de mim sem vocês. Agradeço a todos os meus companheiros do Núcleo de Estudos em Poluição Urbana e Agroindustrial, que me ajudaram a evoluir e crescer muito ao longo desses dois últimos anos. E por último, mas não menos importante, ao meu querido professor e orientador Marcelo, que além de um excelente professor é um verdadeiro amigo.

A todos vocês, muito obrigada!

## RESUMO

As atividades antrópicas são consideradas forçantes radioativas e potencial influenciadora de mudanças climáticas devido sua contribuição para o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) na atmosfera. Dessa forma faz-se necessário o levantamento de inventários de emissão de GEEs para que sejam adotadas medidas que possam mitigar os impactos bem como o controle das fontes e suas emissões. Esse estudo utiliza a ferramenta *GHG protocol* para estimar as emissões de GEEs em tCO<sub>2</sub> equivalente do setor de transporte do Município de Lavras – MG. Os dados levantados para essa estimativa foram o total de consumo de combustíveis entre os anos de 2015-2018, bem como a frota veicular do Município e dados de transporte público. Esses dados foram inseridos no Escopo 1 da planilha do *GHG protocol* obtendo as emissões totais em CO<sub>2</sub> equivalente. A emissão total de origem dos combustíveis foi de 161.066,8 tCO<sub>2</sub> equivalente, e a maior contribuição para esse valor é o consumo de combustíveis fósseis como gasolina e óleo diesel. Os transportes públicos emitem anualmente 1.783,84 tCO<sub>2</sub> equivalente, as maiores emissões ocorrem durante os dias úteis e analisando os dias úteis a emissão total diária é de 197,35tCO<sub>2</sub> equivalente, e o período do dia que ocorre a maior emissão é durante a Tarde. O incentivo para o uso de transportes públicos é uma política de redução das emissões adotada em muitos países, entretanto em Lavras apenas 11% do total da população utiliza o transporte coletivo. Além disso há predominância do uso de transportes privados no Município. Por essa razão é necessário um maior investimento de políticas públicas no incentivo à utilização dos transportes coletivos como adoção de redução dos impactos.

**Palavras chaves:** Estimativas de CO<sub>2</sub> equivalente; Inventários de emissão de GEEs; *GHGprotocol*; Emissão de Setor de transportes.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	7
1 INTRODUÇÃO .....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1 Ciclo Biogeoquímico do Carbono .....	12
2.2 GEEs .....	13
2.3 Pegada de Carbono .....	15
2.4 Mudanças Climáticas e Forçantes Radiativas .....	16
2.5 Inventários de GEEs .....	18
3 METODOLOGIA .....	21
3.1 Área de Estudo.....	21
3.2 Setor de Transporte .....	22
3.2.1 Levantamento de Dados do Setor de Transporte .....	22
3.3 GHG Protocol.....	27
3.3.1 Metodologia do Cálculo .....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5 CONCLUSÃO .....	39
REFERÊNCIAS.....	40

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão inseridas nos grandes desafios interdisciplinares científicos devido à sua complexidade temporal e espacial. Algumas estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), demonstram que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aumento da temperatura média do planeta acima dos níveis pré-industriais com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C (IPCC, 2018). De acordo com o relatório especial do IPCC\* publicado em 2018 é provável que a elevação da temperatura atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso o cenário de emissões de gases do efeito estufa (GEE) se mantenha.

A problemática desse aumento de temperatura terrestre está associada à um fenômeno que ocorre naturalmente na atmosfera e é conhecido como efeito estufa. Esse fenômeno ocorre, pois, a atmosfera é formada por uma camada de gases que são responsáveis por realizar o balanço energético da Terra (SEINFILDS; PANDIS, 2016). Esses gases controlam a radiação solar que atinge a superfície do planeta, absorvendo uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e irradiam uma parte da energia de volta para a superfície (SILVA; PAULA, 2009). Dessa forma a temperatura média global permanece razoavelmente constante (SEINFILDS; PANDIS, 2016), o que favorece a manutenção de vida no planeta. Entretanto quando ocorre o aumento dos GEEs esse processo é intensificado, ou seja, em maior quantidade na atmosfera os GEEs retêm uma maior parte da radiação emitida pela superfície, e por essa razão ocorre o aumento da temperatura. Dentre os gases responsáveis pela exacerbação desse efeito os principais são: (i) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) (DIJKSTRA et al., 2012).

O aumento desses gases na atmosfera terrestre na maior parte é decorrente de atividades antrópicas. Segundo registros de testemunhos de gelo (*ice cores*) o nível pré-industrial (Revolução pré-industrial) de CO<sub>2</sub> no período de 1750-2011 foi estimado em 165 PgC, ou seja, a razão de mistura de CO<sub>2</sub> aumentou de 280 ppm para 391 ppm no período (SEINFILDS; PANDIS, 2016). De acordo com dados publicados pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e pela Scripps Institution of Oceanography (SIO) em 2018, a concentração de CO<sub>2</sub> reportada foi de 411,2 ppm, seguido de um aumento de 3,5 ppm no ano seguinte, o segundo maior salto registrado desde 1750 (NOAA; SIO, 2019).

\*

Com o aumento das emissões e consequente aumento da temperatura terrestre, o planeta enfrenta problemas ambientais tais como estresse hídrico no solo e fenômenos meteorológicos severos como enchentes, secas, tempestades e furacões mais intensos, além de ondas de calor e frio extremo. Segundo Bitencourt et al. (2016), o Brasil tem sido atingido por um número consideravelmente alto de ondas de calor a partir do ano de 2000, sendo esse efeito um dos mais estudados pois afeta a saúde pública, especialmente porque está relacionado com taxa de mortalidade humana. Outro impacto gerado pelo aumento da emissão de GEEs é a acidificação dos oceanos devido ao aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> que ao reagirem com a água (H<sub>2</sub>O) liberam moléculas de hidrogênio livre (H<sup>+</sup>) que irão reduzir o pH tornando o meio mais ácido e assim comprometem o crescimento, calcificação, desenvolvimento, sobrevivência e abundância de muitas espécies marinhas além de causar o impacto em recifes e corais (ELIAS, 2017). Isso ocorre porque o aumento de emissão de CO<sub>2</sub> decorrentes de queima de combustível fóssil, é transportado da atmosfera para os oceanos, causando uma desestabilização do pH das águas oceânicas (ELIAS, 2017). A economia também é um dos setores afetados pelo aumento da temperatura média global. No caso do Brasil, a agricultura é um dos setores mais importantes para a economia, e em seu estudo Alves (2014) demonstra que a mudança do clima pode ter um grande impacto na agricultura pois algumas plantas cultivadas, como a batata por exemplo, podem ser sensíveis ao calor e dessa forma, altas temperaturas inibem o crescimento dessas plantas, diminuindo a escala produtiva, o que consequentemente afeta o setor socioeconômico. Dessa forma, o aquecimento global além de afetar diretamente os meios bióticos e físicos interfere também nas esferas sociais e econômicas.

Para reduzir esses impactos, o governo brasileiro vem adotando políticas e estratégias que minimizem a contribuição para o acréscimo da temperatura média global. Em 2000 foi criado o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBCM) pelo Decreto nº3.521 (BRASIL, 2000) que visa mobilizar a sociedade para a discussão e tomada de posição sobre os problemas decorrentes de mudanças climáticas (FBCM, 2020). Em 2009, foi instituída a política nacional sobre as mudanças climáticas (PNMC) pela Lei nº 12.187/2009, que estabelece princípios, diretrizes e instrumentos para contribuir com redução dos GEE (BRASIL, 2009). Com a criação da PNMC, o FBCM tornou-se um dos seus instrumentos.

Após a criação da PNMC o Brasil havia assumido o compromisso de redução de emissão de GEEs entre 36,1% e 38,9% até 2020 (MCTIC, 2016). Em 2010 foi criado o Decreto nº 7.390/2010 que regulamenta a PNMC e estabelece que sejam publicadas estimativas anuais de emissões de GEEs, com o objetivo de se fazer cumprir o estabelecido na PNMC (BRASIL, 2010). O Brasil publicou a contabilização de suas emissões de GEE através da 1ª e 2ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (FCCC) (ALVES; MARINHO, 2015). E somente em 2013 foram publicados os primeiros inventários de emissão de gases de efeito estufa.

Dentre as medidas mitigatórias da década de 2010, destacam-se os acordos internacionais celebrados nas COPs (Conference of Parties). Dentre esses, o Acordo de Paris, proposto e discutido na COP21 realizada no ano de 2015 apresentou o maior avanço. Tal acordo, determina que os países signatários cheguem em um acordo climático que mantivessem o aumento das temperaturas médias globais abaixo de 2°C. O Acordo de Paris foi o primeiro acordo multilateral sobre o clima assinado desde o protocolo de Kyoto em 1997 (PESSINI; SGANZERLA, 2016). Ainda sobre as deliberações do Acordo de Paris, determinou-se que todos os países desenvolvessem estratégias para minimizar as emissões do GEEs.

O Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de GEEs em 37% até 2025 e a indicativa é de que reduza as emissões em 43% até 2030 (FGV, 2020). Entretanto, apesar do histórico brasileiro na criação de tais políticas, as medidas mitigatórias no país têm sido tardias, além de que existem poucos estudos sobre os levantamentos de emissão desses gases.

A importância do levantamento de emissões de GEEs é de que as organizações, cidades e países adotem uma abordagem mais holística para combater as mudanças climáticas e fornecer uma visão adicional da contribuição de uma comunidade para a mudança do clima (GPC, 2014). Nesse contexto, quantificar as emissões e suas fontes, é fundamental para gerar inventários de GEEs, que são ferramentas essenciais para que as organizações e cidades promovam ações que minimizem os impactos ambientais. Entretanto, na literatura existe uma carência de inventários em cidades com população menor que 2 milhões de habitantes.

O estado de Minas Gerais possui uma alta representatividade no setor econômico brasileiro, sendo o seu índice de desenvolvimento humano (IDH) correspondente à 0,731 (IBGE, 2010) e dessa forma é possível que haja uma tendência de setores produtivos mais ativos que podem contribuir com uma maior emissão. É importante salientar que uma parte considerável dos habitantes que residem no Estado não se concentra na capital, e dessa forma faz-se necessário o levantamento dos inventários de emissão de GEEs dos demais Municípios para saber a sua contribuição na emissão e implementar medidas que possam mitigar os impactos. Diante da ausência de inventários de GEE no Município de Lavras/MG, este trabalho tem por objetivo estimar e analisar o cenário de emissão de gases de efeito estufa decorrente do setor de transporte no Município de Lavras/MG, que são fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ciclo Biogeoquímico do Carbono

O Carbono é um dos elementos químicos mais importantes para diversos processos da vida no planeta. Além de ser base constituinte de moléculas orgânicas, membranas, DNA e tecidos, possui um papel importante na regulação do clima, por estar presente na composição de GEEs como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e, também é considerado como estoque de energia por ser constituinte de açúcares, lipídios, proteínas, petróleo, carvão, gás entre outros (SEINFILDS; PANDIS, 2016). Além disso o Carbono participa de um dos processos mais importantes para a manutenção de vida no planeta que é a Fotossíntese.

A Fotossíntese é um processo em quem as plantas verdes, algas, cianobactérias, bactérias quimioautotróficas, bactérias verdes e purpuras fotossintetizantes convertem parte da energia radiante que chega à superfície terrestre em energia química sob a forma de Carboidrato. Os carboidratos são moléculas formadas por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio para cada átomo de Carbono (STIGLIANI; SPIRO, 2008). A reação geral da fotossíntese pode ser descrita pela Equação 1.



Esse processo libera energia que é utilizada pelas plantas na sintetização dos carboidratos a partir do CO<sub>2</sub> e no processo inverso a energia pode ser liberada na forma de combustão, processos biológicos e respiração, que é fornecida aos organismos aeróbios para que eles realizem todas as suas funções vitais (STIGLIANI; SPIRO, 2008).

Dessa forma essa interação entre a fotossíntese realizada pelas plantas a partir da energia radiante, e a respiração dos seres aeróbios integra uma parte do ciclo, quase fechado, do carbono, exceto pelo fato de que parte de matéria vegetal e animal ao sofrer decomposição biológica é enterrada no solo, perdendo a interação com as moléculas de oxigênio e com o passar do tempo essa matéria orgânica ao ser soterrada e submetida à altas pressões e temperaturas, torna-se acúmulos de carbono, transformado em carvão, petróleo e gás que mais tarde serão exploradas pela sociedade na forma de fontes energéticas e combustíveis (STIGLIANI; SPIRO, 2008).

O solo e a vegetação, portanto, são um dos mais importantes sumidouros de CO<sub>2</sub>, entretanto o ciclo do carbono pode ser um dos mais influenciados por atividades antrópicas (FERREIA CAMPOS, 2011). De acordo com Rahman (2013), a falta de manejo adequado, decorrente de atividades agrícolas reduz a quantidade de carbono orgânico no solo (SOC), e conseqüentemente reduz a disponibilidade de nutrientes para o melhor desenvolvimento das plantas e das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

## 2.2 GEEs

Os Gases de Efeitos Estufa (GEEs), também chamados de gases traços, são aqueles que interagem com ondas da faixa espectral do infravermelho, garantindo um equilíbrio radioativo na Terra e nas propriedades químicas da atmosfera (SEINFILDS; PANDIS, 2016). Segundo Khapre et al. (2020), quando a energia solar chega na superfície terrestre, uma parte é reemitida para o espaço e a outra fica retida devido a absorção da radiação por meio dos GEEs, o que provoca o aquecimento da superfície. Esse evento é chamado de Efeito Estufa e os principais GEEs são vapor de água, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, e gases industriais conhecidos como CFCs.

Essa interação de absorção e emissão da radiação solar que ocorre na atmosfera é chamada de processo de extinção. Uma atmosfera que não realiza processo de extinção pode ter a temperatura da superfície próxima de -18°C, e portanto seria improvável a manutenção de vida terrestre (SEINFILD;PANDIS, 2016 ).

Embora os GEEs desempenham um papel fundamental para garantir uma temperatura ideal de sobrevivência, a exacerbação de GEEs em decorrência do aumento de emissões antropogênicas podem aumentar a retenção da radiação solar o que intensifica o efeito estufa, provocando um aumento da temperatura terrestre, culminando em mudanças climáticas. O vapor de água é o GEE com maior potencial de aquecimento na atmosfera terrestre, entretanto, o CO<sub>2</sub> é um dos GEEs mais preocupantes, visto que, o aumento desse gás na atmosfera pode afetar pequenos ecossistemas como por exemplo recifes, corais e pequenos crustáceos que possuem sua estrutura feita de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) (KHAPRE et al., 2020). O CH<sub>4</sub> é outro GEEs relevante, pois se demonstra mais intenso do que o CO<sub>2</sub>, devido as moléculas sofrerem fotólise gerando CO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, o que torna o potencial de aquecimento

global (GWP) do CH<sub>4</sub> 28 vezes maior comparado com o CO<sub>2</sub> que é o gás estufa de referência (GPC, 2014).

O GWP, portanto, é um parâmetro utilizado para comparar o potencial de aquecimento dos demais GEEs em relação ao CO<sub>2</sub>. Ele é calculado e expressado em CO<sub>2</sub> equivalente que é uma unidade de medida do sistema internacional e permite comparar as emissões dos diferentes GEEs (GPC, 2014). A Tabela 1 apresenta os valores de GWP dos principais GEEs.

**Tabela 1.** GWP dos principais GEEs (continua).

<b>Nome</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valores de GWP Segundo 19 relatório do IPCC (CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>Valores de GWP Segundo 20 relatório do IPCC (CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>Valores de GWP Segundo 21 relatório do IPCC (CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>Valores de GWP Segundo 22 relatório do IPCC (CO<sub>2</sub> eq)</b>
<b>Dióxido de Carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
<b>Methano</b>	CH <sub>4</sub>	21	23	25	28
<b>Óxido Nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	310	296	298	265
<b>Hexafluoreto de enxofre</b>	SF <sub>6</sub>	23.900	22.200	22.800	23.500
<b>Tetrafluoreto de Carbono</b>	CF <sub>4</sub>	6.500	5.700	7.390	6.630
<b>Hexafluoretano</b>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	9.200	11.900	12.200	11.100
<b>HFC-23</b>	CHF <sub>3</sub>	11.700	12.000	14.800	12.400
<b>HFC-32</b>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	650	550	675	677
<b>HFC-41</b>	CH <sub>3</sub> F	150	97	92	116

<b>HFC-125</b>	C2HF5	2.800	3.400	3.500	3.170
<b>HFC-134</b>	C2H2F4	1.000	1.100	1.100	1.120
<b>HFC-134<sup>a</sup></b>	CH2FCF	1.300	1.300	14.300	1.300
<b>HFC-143</b>	C2H3F3	300	330	353	328
<b>HFC-143<sup>a</sup></b>	C2H3F3	3.800	4.300	4.470	4.800
<b>HFC-152<sup>a</sup></b>	C2H4F	140	120	124	138
<b>HFC-227ea</b>	C3HF7	2.900	3.500	3.220	3.350
<b>HFC-236fa</b>	C3H2F6	6.300	9.400	9.810	8.060
<b>HFC-245ca</b>	C3H3F	560	950	1.030	716
<b>Trifluoreto de nitrogênio</b>	NF3	-	-	17.200	16.100

Fonte: GPC (2014).

### 2.3 Pegada de Carbono

O termo Pegada de Carbono pode ser definido como a quantidade de GEEs expresso em CO<sub>2</sub> equivalente emitido para a atmosfera por meio de atividades individuais, industriais, organizações e processos, ou seja refere-se a área requerida para assimilar a quantidade de CO<sub>2</sub> produzido durante o ciclo de vida de um produto (PANDEY; AGRAWAL; PANDEY, 2011). Santana e Oiko (2018) definem Pegada de Carbono como “uma ferramenta utilizada para mensurar impactos relacionados a mudanças climáticas e suas aplicações e podem ser particularizadas às operações logísticas de uma organização”.

Após o acordo de Paris, as organizações começaram a se empenhar um pouco mais a respeito das mudanças climáticas e a mitigação de seus impactos (VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020). Dessa forma, a partir dos acordos internacionais, a Pegada de Carbono passou a ser associada com transações monetárias na forma de taxa e compensação de Carbono (PANDEY; AGRAWAL; PANDEY, 2011) e assim, a ferramenta tornou-se parte da

gestão de empresas e organizações.

Atualmente existem diferentes metodologias para o cálculo da Pegada de Carbono que é subdividida em Pegada de Carbono de Produtos e Pegada de Carbono Organizacional (VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020). A Pegada de Carbono de produtos mede todas as emissões de GEEs relacionadas ao ciclo de vida do produto, e as ferramentas mais utilizadas são: ISO 14.067 e PAS 2050 (VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020). Já a Pegada de Carbono Organizacional mede todas as emissões diretas e indiretas de GEEs da organização, as calculadoras mais utilizadas para a estimativa de GEEs de organizações são a ISO 14.064-1 e o GHG protocol (VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020). A ferramenta GHG protocol é a mais utilizada no Brasil e no mundo para estimar a pegada de Carbono (VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020).

## 2.4 Mudanças Climáticas e Forçantes Radioativas

As mudanças climáticas estão inseridas em debates políticos por ser um dos maiores desafios e fator determinante para diversos setores. Oliveira e Santos (2017) definem mudanças climáticas como “a variação do clima em escala global ao longo do tempo e implica na significativa alteração da temperatura, precipitação e padrão de circulação dos ventos e escalas variadas que podem ser investigadas em distintos períodos geológicos.”

O clima é controlado por agentes climáticos, classificados como naturais e antropogênicos, e podem contribuir para o aquecimento ou resfriamento do planeta (YAMASOE et al., 2014). Esses agentes são chamados de forçantes climáticas ou forçantes radioativas, pois são fatores que interferem na interação da atmosfera com as ondas radioativas, contribuindo para as mudanças do clima de forma global (YAMASOE et al., 2014). As forçantes radioativas podem ser expressadas matematicamente em unidades de  $Wm^2$  e as interpretações para esse valor podem ser feitas da seguinte forma: uma forçante radioativa positiva indica que um agente tende aquecer o planeta, enquanto que uma forçante radioativa negativa indica uma tendência no resfriamento do planeta (YAMASOE et al., 2014)

Exemplos de forçantes climáticas/ radioativas naturais podem ser a mudança na órbita da Terra, mudança na radiação solar, mudança nas placas tectônicas, oceanos, nuvens, vulcões entre outras (OLIVEIRA; SANTOS, 2017). Já os exemplos de forçantes antrópicas podem ser mudanças no uso do solo e florestas, queima de biomassa, queimadas aplicadas como técnica agrícola, entre outras (YAMASOE et al., 2014).

A ação de tais fatores na atmosfera é o que conduz às mudanças climáticas, e estas são responsáveis por impactos socioeconômicos que afetam desde a produção de alimentos até distribuição de eletricidade e aumento do nível do mar. Rahman (2013) apresenta em seu estudo o impacto que o manejo inadequado decorrente de práticas agrícolas, representam para o estudo de mudanças climáticas, uma vez que esta atividade interfere diretamente na mudança do uso da terra e florestas, podendo inclusive aumentar as emissões de Carbono para a atmosfera. Além disso, técnicas de queimadas geralmente são adotadas antes do plantio,

para combate de praga e limpeza da lavoura e dessa forma são consideradas forçantes radioativas antrópicas, pois, tais práticas geram aumento da emissão de GEEs para a atmosfera, que podem ocasionar em uma elevação das temperaturas locais e até mesmo globais afetando a severidade dos padrões climáticos (YAMASOE et al., 2014).

Ademais, o impacto gerado na alteração do clima de uma localidade pode interferir em sua economia. Estudos conduzidos por Assis et al. (2019) apresentam os impactos das ondas de calor e ondas de frio na agricultura para Municípios que integram as regiões Zona da Mata, Campo Das Vertentes e Sul de Minas Gerais. Segundo estes autores, diferentes culturas reagem a ondas de frio e calor de formas diferentes, o café por exemplo, apresenta uma correlação positiva com as ondas de frio e negativa com as ondas de calor, e dessa forma a alteração no clima pode prejudicar a produtividade desta cultura.

Outro exemplo de como as mudanças climáticas afetam, é na distribuição e transmissão de eletricidade. Em seu estudo FANT et al. (2020) demonstram através de análise de modelos que os eventos extremos (furacões, tempestade de vento, vento com alto teor de umidade e tempestade de gelo) decorrentes das mudanças climáticas afetam o sistema elétrico e sua distribuição, pois de acordo com os autores esses eventos podem provocar quedas de árvores e galhos, prejudicando o sistema de transmissão e distribuição energética.

## 2. 5 Inventários de GEEs

Os inventários de GEEs são relatórios que fornecem uma compreensão para as cidades, países e organizações públicas ou privadas, de onde partem as emissões, bem como onde elas podem agir ou influenciar nas mudanças climáticas (GPC, 2014). Atualmente, as emissões contabilizadas são feitas para sete gases exigidos pelo protocolo de Kyoto: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de sulfúrio (SF<sub>6</sub>) e trifluoreto de nitrogênio (NF<sub>3</sub>) (GPC,2014). Segundo Alves e Marinho (2015), o IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* é um marco na elaboração dos inventários de GEEs. A metodologia foi desenvolvida para possibilitar o cumprimento dos objetivos estabelecidos na Conferência-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC) (ALVES; MARINHO, 2015).

Tendo em vista que as cidades contribuem com mais de 70% das emissões globais de carbono e assim, tendo um alto potencial para combater as mudanças climáticas, o programa GHG protocol criou uma ferramenta conjunta, desenvolvida especificamente para inventários locais, o *Protocolo Global para Inventários de emissões de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária* (GPC). Tal ferramenta foi projetada para permitir que os inventários da cidade sejam agregados no nível subnacional, a fim de refinar os dados de inventário nacional (GPC, 2014).

Dessa forma o GPC é um manual que tem como objetivo auxiliar as cidades no compromisso com o levantamento de relatórios de emissões e na mitigação dos impactos. A metodologia do GPC conduz as cidades a medir a contribuição das ações de mitigação da cidade para as metas regionais ou nacionais de redução de GEE, além de identificar estratégias transfronteiriças e intersetoriais inovadoras para a mitigação de GEE (GPC, 2014).

De acordo com o GPC (2014) as fontes de emissão de GEEs nas cidades são divididas em 6 setores:

- Energia Estacionária: podem ser por exemplo construções residenciais, indústrias ou construções de manufaturados, industrias de energia, agricultura, florestas e atividades pesqueiras, entre outras.
- Transporte: rodoviários, ferroviários, aviários, navegação aquática.

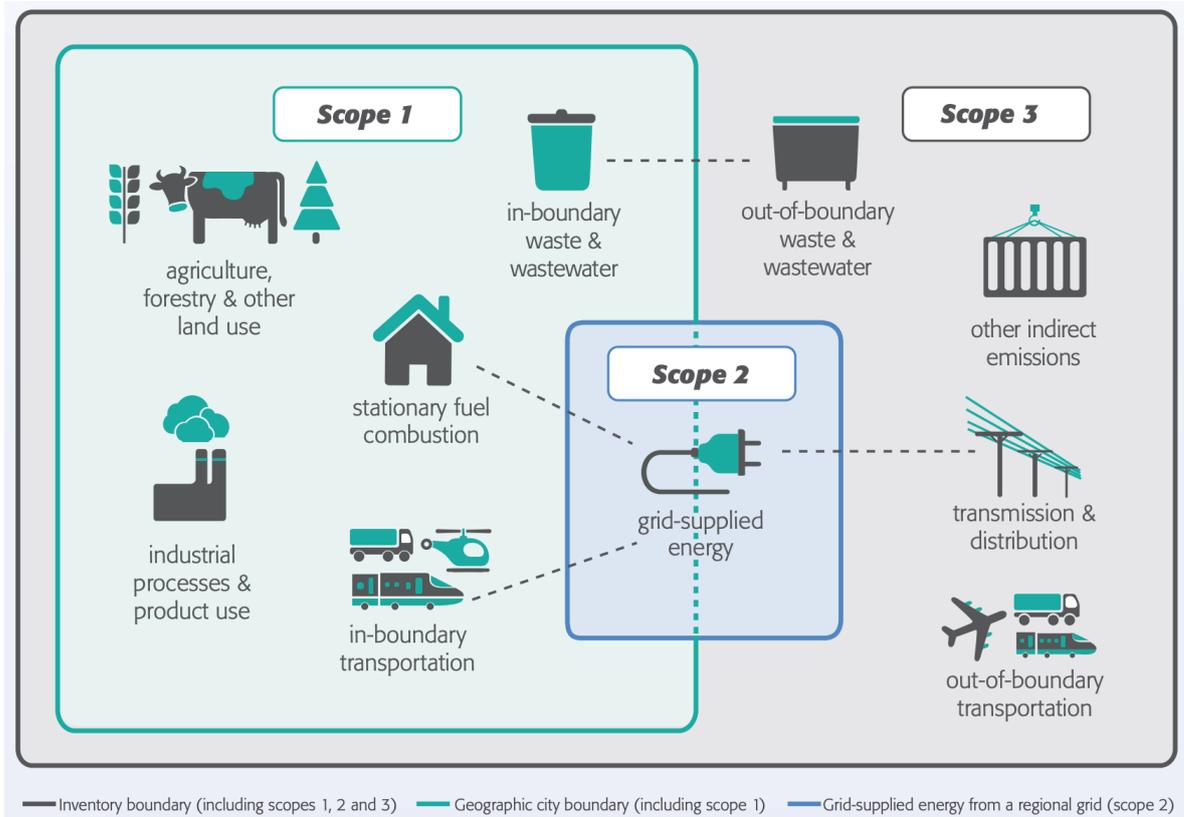
- Resíduos: Tratamento de resíduos sólidos, tratamento biológico de resíduos, incineração e queima aberta, tratamento e descarga de águas residuais;
- Processos e produções industriais;
- Agricultura, Florestas e outros uso do solo etc;
- Quaisquer outras emissões que ocorram fora do limite geográfico como resultado das atividades da cidade.

Além disso as emissões estão categorizadas em 3 níveis ou escopos diferentes: escopo I, escopo II e escopo III (GPC, 2014).

- Escopo I: estão as emissões diretas de gases de efeito estufa, que são provenientes e controladas pela organização, como por exemplo as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa e por elas controladas;
- Escopo II: são as emissões indiretas de GEEs provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa;
- Escopo III: são as emissões consequentes das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa.

A Figura 1 exemplifica como as emissões são divididas em cada escopo.

**Figura 1.** Escopos de emissões de GEEs.



Fonte: GPC (2014).

Em 2011 houve um crescimento destas publicações de inventários de GEEs, o que acarretou no lançamento do Registro público de Emissões (FGV, 2020).

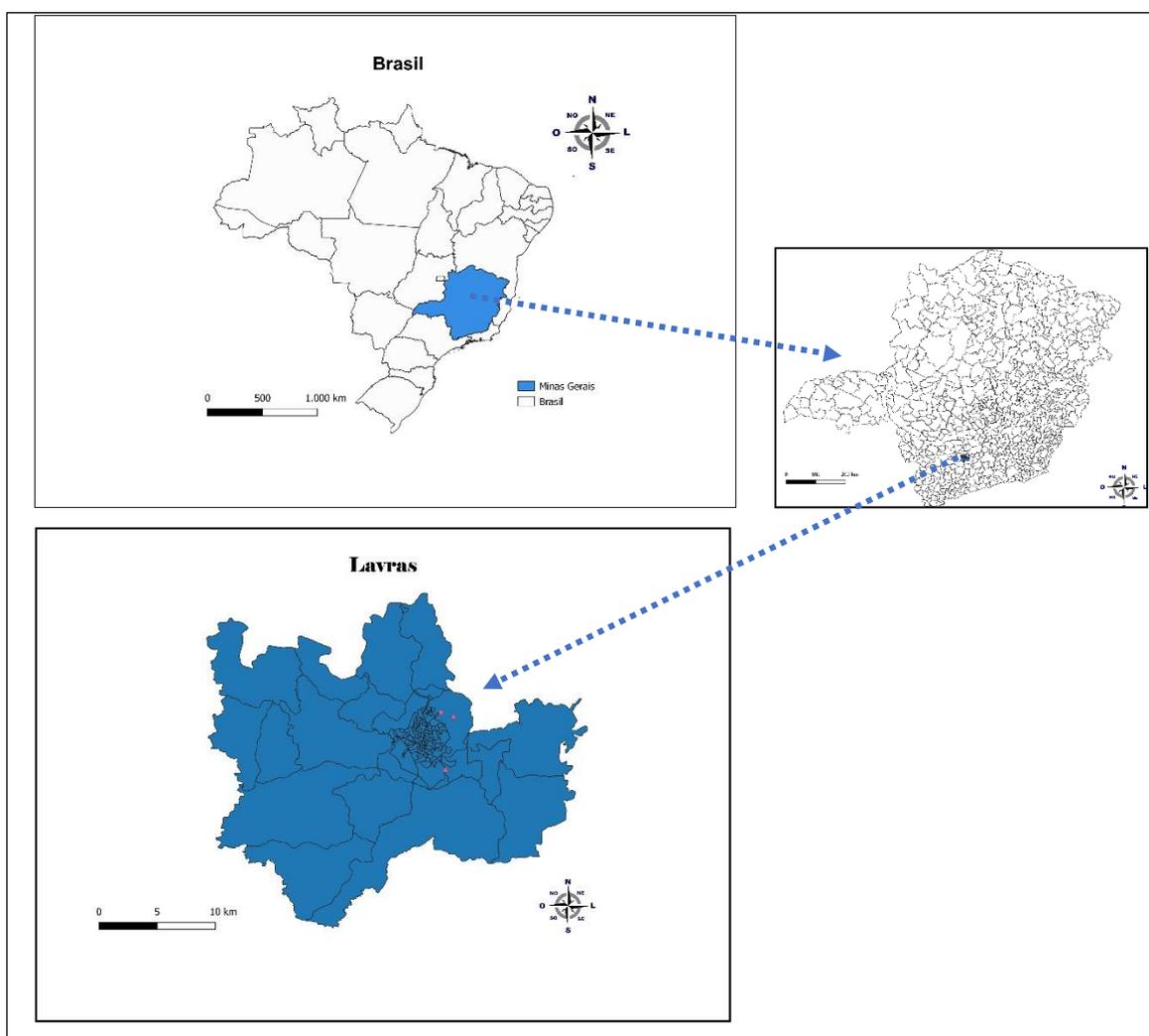
É importante destacar que o Registro Público de Emissões é considerado uma iniciativa pioneira do Programa Brasileiro em todo o mundo, o que possibilita a consulta dos inventários das empresas e estatísticas por setores, gerir riscos de GEEs e identificar oportunidades de redução e participação em mercados de GEEs (FGV, 2020).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

O Município de Lavras localiza-se no Estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 21°14'45" S e 44°59'59" O, e integra a mesorregião Campo das Vertentes. Com população estimada de 103.773 pessoas em 2019, ademais a área da unidade territorial é de 564,744 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018; IBGE, 2019). A Figura 2 apresenta a localização do Município de Lavras.

**Figura 2.** Localização do Município de Lavras (MG).



Fonte: Do autor (2020).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) as principais atividades econômicas do Município são a agropecuária, indústria e serviços públicos, sendo cada uma responsável pelo saldo de R\$74.010.350,00, R\$426.087.690,00 e

R\$1.273.030.500,00 na economia respectivamente. O Índice de Desenvolvimento Humano médio (IDH médio) do Município é de 0,782 e o Produto Interno Bruto per capita (PIB) é de R\$24.341,66. De acordo com a classificação climática de Köppen, Lavras possui clima subtropical com inverno seco e verão úmido e quente (Cwa) (DANTAS, CARVALHO, FERREIRA, 2007).

### **3.2 Setor de Transporte**

Os sistemas de transportes são designados para transportar pessoas de um lugar a outro, entretanto a facilidade que essa tecnologia oferece demanda a utilização de recursos que fornecem energia para o movimento destes veículos que durante o processo de queima dos combustíveis liberam GEEs para a atmosfera de forma residual. A quantidade e o tipo de gases emitidos dependem exclusivamente de características como o modelo, ano do veículo e o tipo de combustível utilizado, tendo em vista que alguns combustíveis apresentam maior fator de emissão do que outros. Os dados de fator de emissão convertem dados de uma atividade em massa de emissões de GEE, como por exemplo, a conversão de quilômetros percorridos em toneladas de CO<sub>2</sub> liberada (GPC, 2014).

#### **3.2.1 Levantamento de Dados do Setor de Transporte**

Para realizar esse trabalho, foram levantados dados públicos do setor de transporte privado e público de Lavras, bem como a frota veicular do Município, ano e modelo dos veículos, total de vendas de combustíveis para o Município e frota de transportes públicos disponíveis em:

- Ministério Nacional de Infraestrutura;
- Agência Nacional de Petróleo (ANP).
- Plano de Mobilidade Urbana de Lavras (PlanMob, 2017)

A Tabela 2 apresenta a relação de combustíveis vendidos para a cidade de Lavras no período de 2015 a 2018.

**Tabela 2.** Vendas totais de combustível no Município de Lavras (MG) 2015-2018.

<b>Combustível</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Gasolina (L)</b>	28.197.183,00	29.451.250,00	29.107.837,00	24.819.805,00
<b>GLP (Kg)</b>	7.719.436,00	7.947.296,00	8.024.265,00	8.915.469,00
<b>Etanol Hidratado (L)</b>	10.710.050,00	7.296.156,00	6.3329.549,00	11.475.839,00
<b>Óleo Diesel (comercial) (L)</b>	26.012.650,00	25.216.150,00	24.660.358,00	23.116.689,00

Fontes: Do autor (2020). Dados primários: ANP ( 2015; 2016;2017; 2018).

A Tabela 3 apresenta dados de fatores de emissão de CO<sub>2</sub> utilizados para o cálculo de estimativa correspondente à cada combustível fóssil.

**Tabela 3.** Parâmetros utilizados para cálculos de emissão de CO<sub>2</sub> no ano de 2020.

<b>Combustíveis</b>	<b>Fator de emissão (tC/TJ)</b>	<b>TJ/Tep</b>	<b>Tep/m<sup>3</sup></b>	<b>%Oxidada</b>
<b>Gasolina Automotiva</b>	18,9		0,77	99,0%
<b>Etanol Anidro</b>	18,8		0,51	
<b>Etanol Hidratado</b>		0,04187	0,534	
<b>Diesel Mineral</b>	20,2		0,8480	
<b>Biodiesel</b>	20,2		0,790	
<b>GNV</b>	15,3		0,880	99,5%

Fonte: BRASIL (2014)

A Tabela 4 e Figura 3 apresentam informações sobre a frota veicular do município de Lavras como tipo de veículos que circulam no município, a quantidade correspondente e

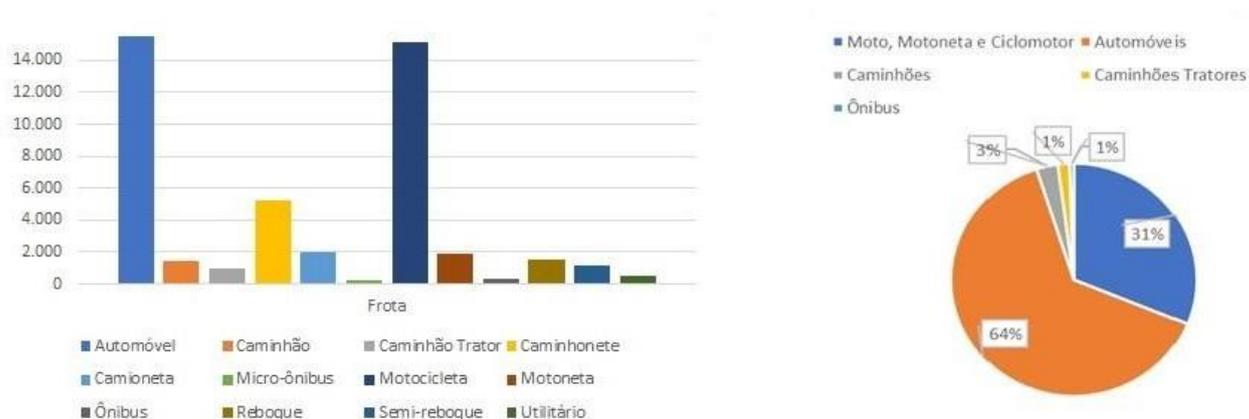
porcentagem da frota veicular de automóveis, caminhões, caminhões tratores, motocicletas e ônibus.

**Tabela 4.** Quantidade de veículos por tipo que circulam no município de Lavras.

Tipo de Veículos	Quantidade	Tipo de Veículos	Quantidade	Tipo de Veículos	Quantidade
Automóvel	35676	Ciclomotor	66	Semi-reboque	1137
Bonde	0	Micro-ônibus	229	Side-car	1
Caminhão	1455	Motocicleta	15113	Outros	10
Caminhão Trator	937	Motoneta	1942	Trator esteira	1
Caminhonete	5226	Ônibus	323	Trator rodas	4
Camioneta	1994	Quadriciclo	0	Triciclo	27
Chassi plataf	1	Reboque	1570	Utilitário	504

Fonte: Do autor. Dados primários: Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2019)

**Figura 3.**Frota Veicular no Município de Lavras- MG.



Fontes: Do autor (2020); Dados Primários: Ministério da Infraestrutura (2019), Prefeitura de Lavras (2017).

De acordo com a Figura 3 é possível observar que a frota veicular de transporte privado é maior no Município e que os automóveis corresponde à 64% do total de frota, seguido pelas motocicletas que corresponde a 31% do total da frota.

A Tabela 5 apresenta informações sobre ano de fabricação e respectivas quantidades de veículos que circulam no município de Lavras.

**Tabela 5.** Frota veicular por ano de fabricação no Município de Lavras.

<b>Ano de Fabricação</b>	<b>Frota Veicular em Lavras</b>
<b>Anterior a 1991</b>	10.132
<b>De 1991 a 1996</b>	5.363
<b>1997 a 2005</b>	12.417
<b>2006 a 2009</b>	11.409
<b>A partir de 2010</b>	27.153

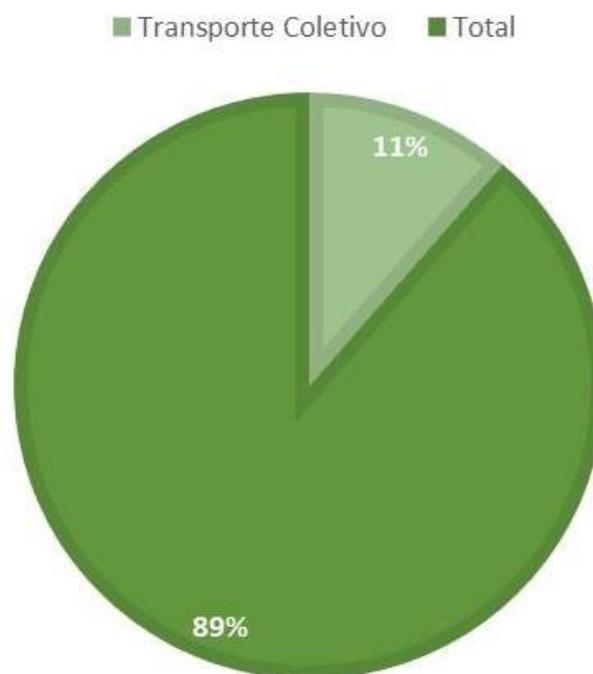
Fonte: Do autor (2020). Dados primários: Ministério da infraestrutura (2019;2010).

A partir da Tabela 5, nota-se que a quantidade de veículo fabricado a partir de 2010 é menor do a quantidade de veículos fabricados antes desse período.

A empresa de Transporte coletivo que presta o serviço no Município, possui um total de 40 ônibus, sendo 4 ônibus reservas e 36 ônibus úteis.

A Figura 4 expressa a porcentagem dos ônibus que integram o transporte coletivo em relação ao total de ônibus no Município.

**Figura 4.** Frota veicular de transporte público em relação ao total de ônibus que circulam no Município de Lavras, 2017.



Fonte: Do autor (2020).

Dessa forma é possível observar que do total de ônibus que circula no Município, 11% corresponde ao serviço de transporte coletivo.

A Tabela 6 apresenta o número de passageiros que utilizam o sistema de transporte público nos dias úteis (Segunda a Sexta-feira), Sábado e Domingo.

**Tabela 6.** Número de passageiros que utilizam transporte público por dia e quilometragem rodada em Km no município de Lavras-MG.

Dias	Passageiros
Domingo	350
Segunda-Sexta	11.309
Sábado	500

Fonte: Do autor (2020). Dados primários: Prefeitura de Lavras (2017).

\*

De acordo com a Tabela 6, observa-se que durante os dias úteis (Segunda à Sexta-feira) são os dias em que ocorre a maior demanda pela utilização dos transportes públicos. Além disso, esses dias foram divididos por turnos (manhã, almoço e tarde) para saber em qual turno do dia ocorre a maior demanda e conseqüentemente a maior concentração de emissão. A Tabela 7 contém dados das linhas que apresentam maior demanda durante os turnos da manhã, almoço e tarde, bem como o respectivo número de passageiros que utilizam o transporte coletivo durante os dias úteis.

**Tabela 7.** Dados de passageiros que utilizam transporte público nos dias úteis em Lavras-MG.

<b>Turno</b>	<b>Maiores Demandas</b>	<b>Número de Passageiros</b>
<b>Manhã</b>	Distrito Industrial/ Cohab; Gato Preto/ Pitangui; Aeroporto/ UFLA	400
<b>Almoço</b>	Distrito Industrial/ Cohab; Gato Preto/ Pitangui; Aeroporto/ UFLA	300
<b>Tarde</b>	Distrito Industrial/ Cohab; Gato Preto/ Pitangui; Aeroporto/ UFLA	600

Fonte: Do autor. Dados primários: Prefeitura de Lavras (2017).

Dessa forma, é possível observar que o turno da tarde é onde ocorre a maior demanda por transporte público.

### **3.3 GHG Protocol**

A calculadora de carbono do *GHG Protocol* é uma ferramenta atualizada e adaptada para o contexto brasileiro pela Fundação Getúlio Vargas, em parceria com a ONG World Resources Institute e o Ministério do Meio Ambiente. O programa foi instalado no Brasil em 2007, com o objetivo de desenvolver culturalmente no país o levantamento das emissões de GEE no âmbito corporativo, além disso, o GHG protocol visa auxiliar as organizações como empresas privadas ou públicas, ONGs e terceiro setor no cálculo dessas emissões (FGV, 2020)

A Ferramenta do GHG protocol é uma calculadora de carbono, que converte os dados de atividades com base no fator de emissão em emissões de GEEs. A planilha é organizada em Escopos, como visto na seção 2.4 e cada escopo é subdividido em abas tais como, combustão estacionária, combustão móvel, eletricidade, etc. A seção da ferramenta utilizada para o cálculo das emissões de GEEs do setor de transportes neste trabalho encontra-se no Escopo 1 e na aba de fontes por combustão móvel, sendo esta subdividida em modais rodoviários, ferroviários, hidroviários e aéreos, que no caso deste trabalho a entrada de dados foi feita no modal rodoviário.

Contudo dentro de cada modal modal existem metodologias de cálculos que são escolhidas com base nos dados levantados. Para esse trabalho, a metodologia que melhor se aplicou foram:

- Opção de Cálculo 2: dados por tipo de combustível e quantidade consumida no Município; e
- Opção de Cálculo 3: cálculo com base na distância percorrida e tipo de combustível. Essa opção de cálculo foi aplicada para a estimativa de GEEs no setor de transporte público.

### 3.3.1 Metodologia do Cálculo

O cálculo da emissão dos gases de efeito estufa para a maioria das fontes de emissão pode ser estimado multiplicando-se os dados da atividade por seu respectivo fator de emissão como demonstra a Equação 2 (GPC, 2014).

$$\text{Emissão de GEEs} = \text{Dados da Atividade} \times \text{Fator de Emissão (Equação 2)}$$

Em que,

- Dados da atividade: são uma medida quantitativa de um nível de atividade que resulta em emissões de GEEs; e
- Fator de Emissão: é uma medida específica para cada atividade e no caso de nenhuma fonte local, regional ou de país esteja disponível, deve ser usado dados de fatores de emissão padrão do IPCC.

Esse cálculo converte os valores de GEEs emitidos para CO<sub>2</sub> equivalente, que é a unidade padrão de emissões de GEEs.

Os dados da Tabela 2 foram inseridos na planilha do GHG protocol, no escopo 1 e na aba de combustão móvel. A metodologia de cálculo escolhida com base nesses dados foi a opção 2, no qual os dados de entrada foram o tipo de combustível e a quantidade consumida anual para 2015, 2016, 2017 e 2018.

De acordo com Plano de Mobilidade Urbana de Lavras o Transporte Coletivo do Município opera em sistema diametral (bairro a bairro) e o índice de passageiros por

quilômetro por linha (IPK) é de 2,2 passageiros/Km. A partir desse índice e com base nas Tabelas 6 e 7 foi possível estimar a quilometragem percorrida por dia e por ano no Município, dividindo o total de passageiros pelo valor do IPK. A distância percorrida estimada entra na opção de cálculo 3, juntamente com o tipo da frota veicular, que no caso do transporte público de Lavras é feito por ônibus urbano à diesel.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 8 e a Figuras 5, apresentam os resultados de emissões de GEEs em unidades de tCO<sub>2</sub> equivalente do setor de transporte do Município de Lavras, com base nos dados de combustíveis entre os anos de 2015-2018.

**Tabela 8.** Total de emissão de GEE do setor de transporte do Município de Lavras 2015-2018 (tCO<sub>2</sub>eq).

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Gasolina</b>	48.882,72	49.723,03	49.143,24	41.903,68
<b>GLP</b>	23.214,21	23.899,75	24.131,21	24.104,76
<b>Etanol</b>	143,7	97,90	84,93	153,98
<b>Hidratado</b>				
<b>Óleo Diesel</b> <b>(comercial)</b>	64.079,53	62.117,43	60.207,10	55.322,20
<b>Total</b>	136.320,38	135.838,18	133.566,41	121.484,73

Fonte: Do autor (2020).

De acordo com a Tabela 8 é possível observar que as emissões do combustível etanol são menores comparando com os demais combustíveis, isso pode ser justificado devido o etanol é o combustível que apresenta menor consumo no Município, além disso o etanol é um biocombustível desenvolvido para que tenha redução da emissão de gases poluentes. Entretanto os resultados de emissão de CO<sub>2</sub> biogênico para o etal foi a maior, e isso é justificado pelo fato de que as emissões biogênicas são aquelas que não são provenientes de combustível fóssil.

A Tabela 9 e Figura 7 apresentam as emissões de CO<sub>2</sub> biogênico do setor de transporte do Município de Lavras, com base nos dados de combustíveis entre os anos de 2015-2018

**Tabela 9.** Emissões de CO<sub>2</sub> Biogênico para o Município de Lavras (MG) 2015-2018.

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Gasolina</b>	11.680,66	12.134,54	11.993,01	10.226,26
<b>GLP</b>	-	-	-	
<b>Etanol Hidratado</b>	15.604,54	10.630,50	9.922,15	16.720,30
<b>Óleo Diesel (Comercial)</b>	4.426,57	4.291,03	4.696,03	5.432,34
<b>Total</b>	31.711,58	27.056,04	25.911,29	32.378,90

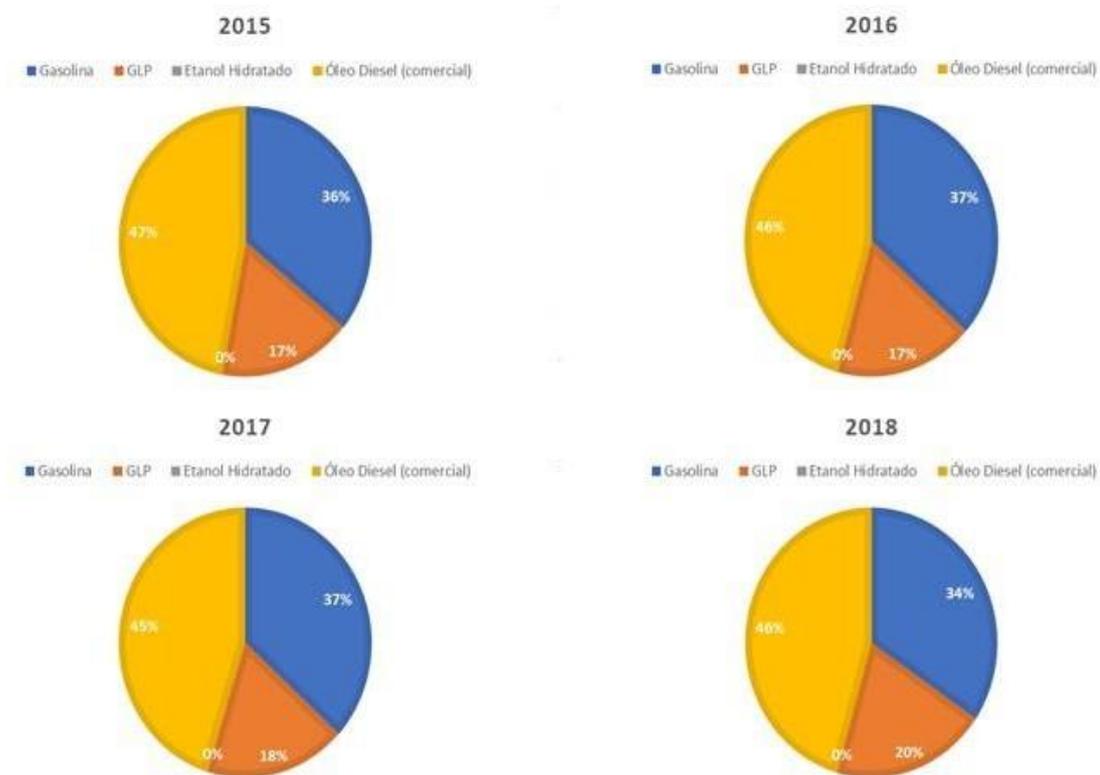
Fonte: Do autor (2020).

Embora as emissões de CO<sub>2</sub> biogênico são aquelas que não são provenientes de combustível fóssil, os combustíveis fósseis como Gasolina e Óleo Diesel apresentam emissões biogênicas visto que estes combustíveis possuem em sua composição uma porcentagem de biocombustível.

\*

A Figura 7 apresenta o resultado das emissões totais em porcentagem.

**Figura 7.** Resultado de Emissões totais de GEEs por tipo de combustível entre os anos de 2015-2018.



Fonte: Do autor (2020).

De acordo com os resultados de emissão apresentados nas Tabelas 8 e 9, o total de emissões médio para os anos de 2015-2018 oriundas do consumo de combustível é de 161.066,8 tCO<sub>2</sub> equivalente. Para todos os anos observados entre 2015 e 2018, a maior emissão de GEEs é decorrente de óleo diesel (45-47%), seguida por gasolina (34-37%) e GLP(17-20%), enquanto que a menor é decorrente de etanol (aproximadamente 4%). Essa baixa emissão apresentada pelo etanol é em decorrência da baixa utilização do mesmo como principal fonte de combustível, o que corrobora com os dados encontrados na literatura (Tabela 10).

**Tabela 10.** Comparação com a literatura de emissão de GEEs por combustíveis em mil tCO<sub>2</sub> equivalente.

<b>Fonte</b>	<b>Período</b>	<b>Local</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Etanol</b>	<b>Diesel</b>
<b>Este Trabalho</b>	2015-2018	Lavras – MG	235,6	53,3	260,5
(TOLEDO; ROVERE, 2018)	2012-2015	Natal – Rio Grande do Norte	1.089,7	0,9	986,2
(MACÊDO, 2004)	2003-2004	Rio Grande do Norte	652,2	29,88	1237,3

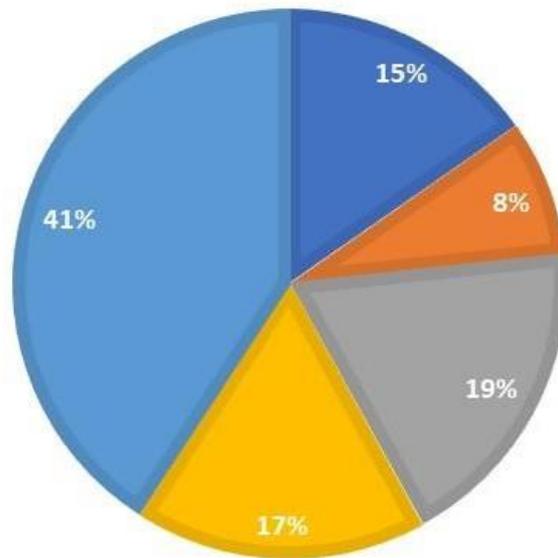
Fonte: Do autor (2020).

De acordo com Toledo e Rovere (2018) o baixo consumo por etanol se deve ao fato da proximidade do preço final do Etanol e Gasolina, fazendo com que os consumidores optem pelo uso da gasolina.

Com base nos dados da Tabela 5, a Figura 9 apresenta a porcentagem da frota veicular por ano de fabricação no Município.

**Figura 9.** Porcentagem da frota veicular por ano de fabricação.

■ Anterior a 1991 ■ 1991 a 1996 ■ 1997 a 2005 ■ 2006 a 2009 ■ Apartir de 2010



Fonte: Do autor (2020).

De acordo com a Figura 9, o número de veículos que circulam no Município fabricados depois de 2010 representa 41% da frota, e de acordo com o PROCONVE (2010), esses veículos possuem tecnologias mais avançadas para a redução das emissões de gases poluentes como apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Inovações tecnológicas adotadas por ano de fabricação. Fonte: PROCONVE (2010).

<b>Ano de Fabricação</b>	<b>Inovações tecnológicas adotadas (Veículos leves)</b>	<b>Inovações tecnológicas adotadas (Veículos pesados)</b>
<b>Anterior a 1991</b>	Modelos mais poluentes, sem tecnologias para redução de gases poluentes.	Modelos mais poluentes, sem tecnologias para redução de gases poluentes.
<b>1991 a 1996</b>	Modelos com reciclagem dos gases para controle; injeção secundária de ar no coletor de exaustão para o controle de HC e CO; implementação de borboleta do carburador; Catalisador e sistema de ingestão eletrônica para uso de mistura de etanol; controle de ruídos	Motores com níveis de emissão menores
<b>1997 a 2005</b>	Melhores tecnologias para a formação de mistura e controle eletrônico do motor, como por exemplo sensor de oxigênio (“Sonda lambda”).	Modelos de motores mais desenvolvidos para redução de consumo de combustível, aumento da potência e redução de emissões de óxido nitroso; intercooler e motores turbos
<b>2006 a 2009</b>	Motores mais desenvolvidos, otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, aumento da pressão da bomba injetora e injeção eletrônica.	Motores com tecnologias de redução de emissões de Material Particulado
<b>A partir de 2010</b>	Otimização da geometria da câmara de combustão; aumento da pressão da bomba injetora e injeção eletrônica.	Tecnologias para redução de Material Particulado, NOx e HC.

Segundo o PROCONVE (2010) o número crescente de veículos no Brasil está altamente relacionado com o aumento de poluição e emissão de GEEs. Por essa razão o incentivo para o uso de transportes coletivos é uma das medidas mitigadoras para a redução de emissões desses gases. De acordo com o Plano de Mobilidade Urbana de Lavras, o número de pessoas que utilizam desses serviços diariamente é de 11.309 passageiros (LAVRAS, 2017). É importante ressaltar que o Município apresenta legislação para este tipo de serviço por meio da Lei Ordinária 2.726/2001 e de acordo com decreto nº3.858/2001 não é permitido a operação de veículos com mais de 6 anos (LAVRAS, 2017).

Com base nos dados da Tabela 6 e do IPK, a Tabela 12 apresenta os resultados de quilometragem percorrida pelo transporte público nos dias úteis (Segunda a Sexta-Feira), Sábado e Domingo.

**Tabela 12.** Número de passageiros que utilizam transporte público por dia e quilometragem rodada em Km no município de Lavras-MG.

<b>Dias</b>	<b>Passageiros</b>	<b>Distância Percorrida por dia (Km)</b>	<b>Distância Percorrida por ano (Km)</b>
<b>Domingo</b>	350	159,0909	7.636,36
<b>Segunda-Sexta</b>	11.309	5.137,72	1.382.046,68
<b>Sábado</b>	500	227,2727	10.909,09

Fonte: Do autor (2020).

É observado a partir da Tabela 12 que a maior demanda ocorre nos dias úteis e portanto as maiores distâncias percorrida pelo tranporte público também ocorrem durante esses dias.

A Tabela 13 apresenta o resultado de emissões totais em tCO<sub>2</sub> equivalente a partir da distância percorrida por ônibus do setor de transporte público de Lavras.

**Tabela 13.** Emissões de GEEs em tCO<sub>2</sub> equivalente e de CO<sub>2</sub> biogênico do setor de transportes público de Lavras-MG.

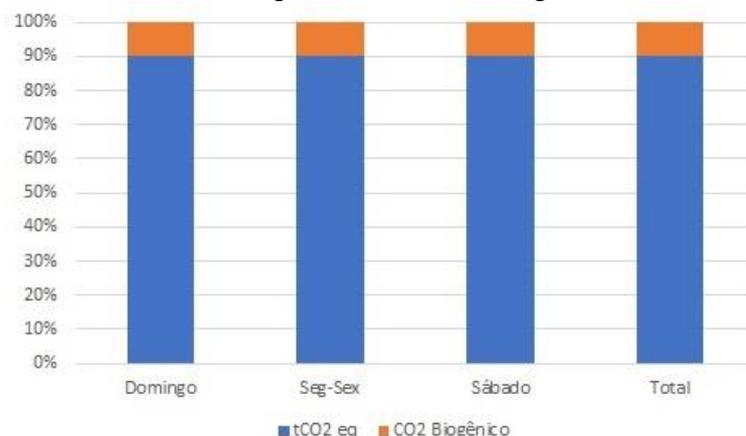
<b>Dias</b>	<b>Emissões de GEEs em tCO<sub>2</sub> equi</b>	<b>Emissões de CO<sub>2</sub> Biogênico</b>
<b>Domingo</b>	8,57	0,91
<b>Seg-Sex</b>	1.550,49	165,32
<b>Sábado</b>	12,24	1,30
<b>Total</b>	1.571,29	167,54

Fonte: Do autor (2020).

O total de emissões do setor de transporte público de Lavras anual é de 1.738,84 tCO<sub>2</sub> equivalente, sendo que maior emissão de GEEs ocorrem durante os dias úteis devido a maior demanda de transportes, pelos cidadãos de Lavras, durante esse período.

A Figura 8 expressa emissões em tCO<sub>2</sub> equivalente e CO<sub>2</sub> Biogênico.

**Figura 8.** Emissões em tCO<sub>2</sub> equivalente e CO<sub>2</sub> biogênico.



Fonte: Do autor (2020).

A partir da Figura 10, é possível observar que as maiores emissões no Município são decorrentes de combustível fóssil.

A Tabela 14 apresenta o resultado de emissões totais em tCO<sub>2</sub> equivalente e emissões de CO<sub>2</sub> biogênico por turnos.

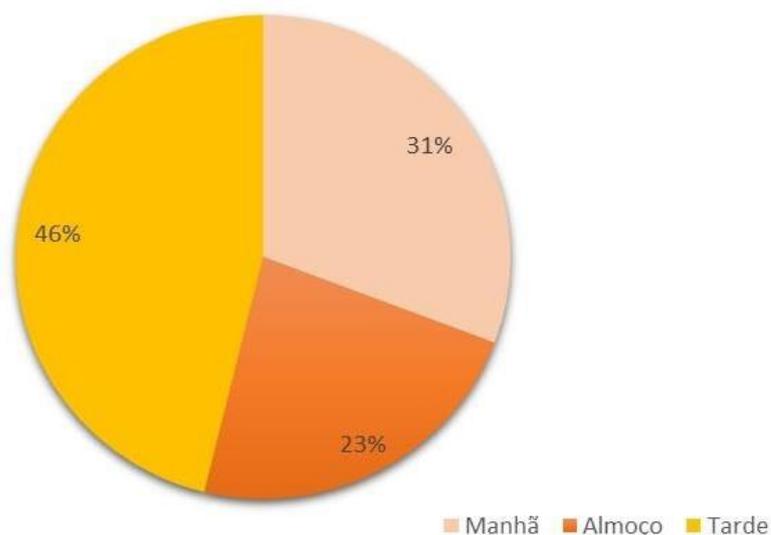
**Tabela 14.** Emissões por turno durante os dias úteis.

<b>Turno</b>	<b>Emissões totais (tCO<sub>2</sub> eq.)</b>	<b>Emissões de CO<sub>2</sub> biogênico (tCO<sub>2</sub>)</b>
<b>Manhã</b>	54,87	5,85
<b>Almoço</b>	41,15	4,39
<b>Tarde</b>	82,31	8,78
<b>Total</b>	178,33	19,02

Fonte: Do autor (2020)

Com base na Tabela 14 observa-se que as maiores emissões ocorrem no período da tarde e isso deve ao fato de que esse período apresenta maior demanda por transporte público. A Figura 9 apresenta o resultado de emissões totais em tCO<sub>2</sub> equivalente durante os turnos da manhã, almoço e tarde.

**Figura 9.** Emissão total em tCO<sub>2</sub> equivalente e biogênico.



Fonte: Do autor (2020).

O total de emissão pelo setor de transporte público de Lavras entre os dias de segunda a sexta-feira é de 197,35 tCO<sub>2</sub> por dia. Como observado, as maiores emissões de GEEs ocorrem durante o período da Tarde (Tabela 14), devido à maior demanda de passageiros (Tabela 13).

O número de transporte individual cresceu nos últimos anos no Brasil provocando o aumento das emissões de GEEs. Como forma de mitigação, inovações tecnológicas foram inseridas no mercado e os investimentos em transportes públicos tornou-se uma medida de política pública. Entretanto Lavras apresenta uma pequena porcentagem no consumo de biocombustível (etanol) o qual apresenta um menor fator de emissão comparado com os combustíveis fósseis (gasolina, GLP e óleo diesel), o mesmo ocorre quando comparado com outros trabalhos na literatura, e isso pode ser explicado pelo baixo preço da gasolina e óleo diesel. Modelos de veículos mais novos apresentam tecnologias para redução de emissão de GEEs, entretanto em Lavras os modelos fabricados após 2010 representam apenas 41% da frota total, o que infere que há menos veículos com inovações tecnológicas que possibilita a redução de emissão circulando no Município.

Apesar de o incentivo para a utilização de transporte público ser uma política pública adotada em muitos países como forma de redução das emissões de GEEs, apenas 11% do total de habitantes em Lavras utilizam transporte público, essa escolha dos moradores pelo uso do transporte público poderia ser abordado futuramente para compreensão dessa característica no Município. Além disso ônibus urbano a diesel é o único tipo de transporte público utilizado no Município, e a frota total corresponde a 40 ônibus o que além de emitir mais GEEs torna o setor totalmente dependente de uma única fonte energética e menos atrativo para os usuários, visto que a dependência de uma única fonte energética torna o preço das tarifas para uso do transporte mais caro, além de que a baixa quantidade de veículos resulta em transportes geralmente lotados.

A partir desse trabalho observa-se a importância do levantamento do relatório de emissões dos GEEs no setor de transporte, para compreender a dinâmica desse sistema e assim elaborar ações de mitigação que contribuam para que a cidade alcance as metas regionais ou nacionais de redução da emissão GEEs. No entanto, sugere-se que sejam realizados levantamentos para os demais setores apresentados na seção 2.4, visando uma

maior eficiência nas ações adotadas para mitigar os impactos gerados por estes setores.

## **5 CONCLUSÃO**

Diante dos resultados de emissão de GEEs obtidos, no Município de Lavras há uma maior taxa de adoção por transportes privados, além de que o uso de transporte público é menos atrativo. Além disso embora o etanol seja um biocombustível, e por tanto é responsável pela menor taxa de emissão dos GEEs, essa baixa emissão em Lavras se justifica pois este combustível, comparado com os combustíveis fósseis é o menos consumido no Município. Outro fator que contribui com o aumento de emissão no Município é que há uma predominância de modelos antigos na frota veicular de Lavras, visto que espera-se que modelos mais novos apresentem inovações tecnológicas para reduzir as emissões de GEEs.

Portanto, é necessário um maior investimento no conforto dos transportes públicos, bem como um investimento de políticas públicas que incentive à utilização dos transportes coletivos. Além disso sugere-se uma adoção da redução de vagas de estacionamento como forma motivar os usuários de transporte optarem pela não utilização do transporte privado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G.; MARINHO, M. M. DE O. **Inventários Urbanos De Emissões De Gases De Efeito Estufa No Brasil: Uma Análise Preliminar**. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2015.
- ALVES, J. E. D. **Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demográfico**. Revista espinhaço, v. 3, n. 1, p. 4–16, 2014.
- ANP. **Vendas Anuais de Etanol hidratado e derivados de Petróleo por Município**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos/vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio>>. Acesso em: 12 julh. 2020.
- BITENCOURT, D. P. et al. **Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidadedas Ondas de Calor no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.
- BRASIL. Decreto nº 3.515, de 20 de junho de 2000. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 de dez. de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d3515.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3515.htm)>. Acesso em: 30 de març. 2020.
- BRASIL. Decreto nº 7.390, de Dezembro de 2010. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 de dez. de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm)>. Acesso em: 30 de març. 2020.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 de dez. de 2009. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm)> . Acesso em: 30 de març. 2020.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estratégia Nacional De Ciência, Tecnologia E Inovação 2016|2022**, p. 136, 2016.
- BRASIL.Ministério do Meio Ambiente. Matriz do transporte de cargas no Brasil. **Programa de controle de poluição do ar por veículos**, 2010.
- DIJKSTRA, F. A. et al. **Effects of elevated carbon dioxide and increased temperature on methane and nitrous oxide fluxes: Evidence from field experiments**. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 10, n. 10, p. 520–527, 2012.
- ELIAS, S. A. **Increased acidity of ocean waters**. [s.l.] Elsevier Inc. v. 1–5, 2018.
- FANT, C. et al. **Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure**. Energy, v. 195, p. 116899, 2020.
- FERREIRA CAMPOS, R. **.Pegada de carbono: a relação entre mudanças climáticas e hábitos insustentáveis**. Revista geográfica de A 2011.
- FGV. Programa Brasileiro GHG protocol. Disponível em <<https://ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>. Acesso em 03 març. 2020.

IBGE. Estimativas da População Residente nos Municípios e Unidades da Federação. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lavras/panorama>>. Acesso em: 20 març. 2020.

IPCC. **Global Warming of 1.5 °C. Summary for Policymakers—2018**; IPCC: Geneva, Switzerland, 2018.

KHAPRE, A. et al. **Utilizing the Greenhouse Effect as a Source to Produce Renewable Energy**. [s.l.] Elsevier Ltd., 2020.

MACÊDO, R. F. **Inventário de emissões de dióxido de carbono (co2) geradas por fontes móveis no estado do rio grande do norte – período de janeiro de 2003 a junho de 2004** . Revista: Holos, v. 2, 2004.

BRASIL. Ministério de Infraestrutura. Departamento Nacional do Trânsito. Disponível em <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br>>. Acesso em: 9 abr. 2020.

OLIVEIRA, K. I. S.; SANTOS, L. R. P. **Química ambiental**. Curitiba: Inter Saberes, 2017.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. **Carbon footprint: Current methods of estimation**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 178, n. 1–4, p. 135–160, 2011.

PESSINI, L.; SGANZERLA, A. **Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da onu sobre o clima e meio ambiente**. Revista Iberoamericana de Bioética, n. 1, p. 1–14, 2016.

PREFEITURA DE LAVRAS. **Plano diretor de Mobilidade Urbana de Lavras**. PREFEITURA DE LAVRAS: Lavras, Brasil, 2017.

RAHMAN, M. M. **Carbon Dioxide Emission from Soil**. Agricultural Research, v. 2, n. 2, p. 132–139, 2013.

SANTANA, M.; OIKO, O. T. **Pegada de Carbono : Em busca de definição e método para uma Logística Verde**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 4, p. 197 - 214, 2019.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: From pollution to climate change**. 3 ed., 2016

SPIRO, T.G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TOLEDO, A. L. L.; ROVERE, E. L. LA. **Urban mobility and greenhouse gas emissions: Status, public policies, and scenarios in a developing economy city, Natal, Brazil**. Sustainability (Switzerland), v. 10, n. 11, 2018.

VIRGENS, T. A. N. DAS; ANDRADE, J. C. S.; HIDALGO, S. L. **Pegada Carbono De Órgãos Públicos: Guia De Cálculo Baseado Na Aplicação Do Bookfeel No Ministério Público Do Estado Da Bahia/ Brasil**. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 14, n. 1, p. 74–92, 2020.

WRI; C40; ICLEI. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities; World Resources Institute: Washington, DC, USA, 2014; pp. 1–176

YAMASOE, M. A. et al. **Forçantes radioativas naturais e antrópicas**. Primeiro relatório de avaliação nacional, 2014.

