



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

RICASSILLY ISAC BRUNO RUFINO LIMA

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS TRANSPORTES PÚBLICOS
ESCOLARES NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

PAU DOS FERROS – RN

2020

RICASSILLY ISAC BRUNO RUFINO LIMA

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS TRANSPORTES PÚBLICOS
ESCOLARES NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau dos Ferros, em cumprimento às exigências legais como requisito para à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Dr. Joel Medeiros Bezerra

PAU DOS FERROS – RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732e LIMA, RICASSILLY ISAC BRUNO RUFINO.
ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO2 DOS TRANSPORTES
PÚBLICOS ESCOLARES NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO /
RICASSILLY ISAC BRUNO RUFINO LIMA. - 2020.
57 f. : il.

Orientador: JOEL MEDEIROS BEZERRA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, 2020.

1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. 2. GASES DO EFEITO
ESTUFA. 3. TOP-DOWN. I. BEZERRA, JOEL MEDEIROS,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

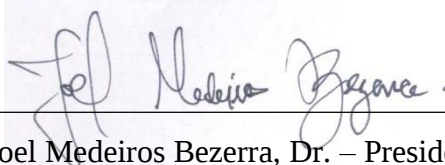
RICASSILLY ISAC BRUNO RUFINO LIMA

**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS TRANSPORTES PÚBLICOS
ESCOLARES NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Superior de Engenharia Ambiental e
Sanitária, da Universidade Federal Rural do
Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau dos
Feros, em cumprimento às exigências legais
como requisito para à obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

DATA DE APROVAÇÃO 27 / 11 / 2020

BANCA EXAMINADORA



Joel Medeiros Bezerra, Dr. – Presidente

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/ Campus Pau dos Ferros



Dr. Rafael Oliveira Batista

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/ Campus Mossoró



Dr.ª. Jacimária Fonseca de Medeiros

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN/ CAMEAM

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele não conseguiria chegar até aqui.

A minha família, principalmente a minha mãe, que sempre esteve presente nessa caminhada acreditando, incentivando e torcendo por mim.

Ao meu orientador Dr. Joel Medeiros Bezerra, que sempre esteve disponível fornecendo o suporte necessário para realizar esse trabalho, agradeço imensamente pelos ensinamentos, pela paciência, pela compreensão, pelo incentivo e por tantos outros valores perpassados nesse período de orientação.

Aos amigos que conquistei durante toda essa caminhada, pois sem o apoio deles nada disso seria possível.

A minha namorada que me incentivou e ajudou em todos os momentos durante essa caminhada, principalmente nessa etapa final.

A família que a UFERSA me presenteou Raul Aquino, Diego Vinícius, Paulo Rêgo, Adriano Aires, Júnior Almeida e Davi Euclides. Saibam que vocês foram fator importante para essa conquista.

Aos que fizeram parte dos melhores momentos nesses últimos anos: Analice, Beatris, Ewerton Victor, Indira Formiga, Lucas Menezes, Markylyana Soares, Willian Vieira, Samilly Nobre, Talita Costa, Valquiria Queiroz, Victor Oliveira, Fábio Roque e muitos outros que participaram dessa minha jornada.

A todo o corpo de funcionários que compõem a UFERSA, em especial aos docentes que participaram de forma direta na minha formação.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e contribuíram de alguma forma nessa minha jornada.

RESUMO

A qualidade do ar tornou-se uma das grandes preocupações dos governos do mundo inteiro devido estar relacionada diretamente ao bem estar social e ocasionar efeitos à saúde humana. O desenvolvimento tecnológico e o aumento no poder aquisitivo das pessoas foram consequências para o aumento da motorização individual nos grandes centros urbanos e, também, no interior do país. Além desses veículos, como o desenvolvimento de Políticas Públicas voltadas para a educação, percebeu-se uma grande aquisição de transportes escolares em todas as cidades do Brasil, fazendo com que as emissões de poluentes aumentassem cada vez mais. Logo, a estimativa dessas emissões é fator de grande relevância para o desenvolvimento de políticas que objetivem minimizar e mitigar tais problemas que esses poluentes emitidos na atmosfera possam vir a causar ao ser humano. Assim, o presente trabalho busca realizar a estimativa das emissões de dióxido de carbono (CO₂) produzidas pelos transportes escolares no município de Pau dos Ferros-RN, empregando-se o método *top-down*, e também calcular a sua compensação através de plantios de mudas nativas da região. Em um raio de 30 km cerca de 31 ônibus fazem o percurso de suas cidades até o município de Pau dos Ferros percorrendo todas as Instituições de Ensino Superior chegando a emitir cerca de 684 tCO₂ por ano na atmosfera do município de Pau dos Ferros-RN. Como forma de compensação é necessário o plantio de 33 unidades de árvores nativas da região, levando em consideração plantas adultas.

Palavras-Chave: Poluição Atmosférica, Gases do Efeito Estufa, *Top-down*.

ABSTRACT

Air quality has become a major concern for governments around the world because it is directly related to social welfare and has effects on human health. Technological development and the increase in people's purchasing power have been consequences for the increase of individual motorization in large urban centers and also in the interior of the country. In addition to these vehicles, such as the development of Public Policies focused on education, there was a large acquisition of school transportation in all cities of Brazil, causing emissions of pollutants to increase more and more. Therefore, the estimation of these emissions is a factor of great relevance for the development of policies that aim to minimize and mitigate such problems that these pollutants emitted into the atmosphere may cause to the human being. Thus, this work seeks to estimate the carbon dioxide (CO₂) emissions produced by school transportation in the municipality of Pau dos Ferros-RN, using the top-down method, and also calculate their compensation through planting native seedlings of the region. In a radius of 30 km about 31 buses travel from their cities to the municipality of Pau dos Ferros through all institutions of higher education and emit about 684 tCO₂ per year in the atmosphere of the city of Pau dos Ferros-RN. As a form of compensation it is necessary to plant 33 units of trees native to the region, taking into account adult plants.

Keywords: Atmospheric pollution, Greenhouse Gases, *Top-down*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de Conversão.....	35
Tabela 2: Rotas dos transportes escolares no município de Pau dos Ferros/RN.....	36
Tabela 3: Fatores de Emissão	37
Tabela 04: Dados dos Transportes escolares públicos dos municípios circunvizinhos a Pau dos dos Ferros/RN, em 2020.....	42
Tabela 05: Dados dos Transportes escolares públicos (quantidade de rotas, quilometragem, combustível utilizado) nas cidades circunvizinhas de Pau dos Ferros/RN	43
Tabela 06: Quantidades de Energia Consumida Transportes escolares públicos (Tera Joule).44	
Tabela 07: Determinação do Conteúdo de Carbono em cada Combustível (tC).....	44
Tabela 08: Emissões Total de Dióxido de Carbono Proveniente dos Transportes Públicos	45
Tabela 09: Características da <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi (Aroeira)	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Escopo para cálculo das emissões de GEE	29
Figura 02 - Localização do município de Pau dos Ferros/RN.....	30
Figura 03 - Localização das principais Instituições de Ensino Superior de Pau dos Ferreiros/RN	31
Figura 04 - Determinação da área de influência do estudo	33
Figura 05 - Relação de cidade e número de transportes escolares públicos.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO TEÓRICA.....	14
2.1 TRANSPORTE ESCOLAR.....	14
2.2 IMPACTOS DO TRANSPORTE ESCOLAR.....	17
2.3 EMISSÃO DE GASES DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FOSSEIS.....	21
2.4 GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE).....	23
2.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO QUANTO A EMISSÃO DE GASES VEICULARES	26
3 METODOLOGIA	31
3.1 ÁREA DE ESTUDO	31
3.2 ÁREA DE INFLUÊNCIA	33
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	35
3.4 MÉTODO TOP-DOWN	36
3.5 ESTIMATIVA DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL PARA EMISSÕES DE CO ₂	40
3.6 MEDIDAS MITIGADORAS PARA CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES ...	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar se mostra como fator indispensável para a promoção da vida da população e da harmonia do ambiente, logo, a sua inexistência, acaba por acarretar efeitos nocivos à saúde humana (NARDINO et al., 2020). A forma como a atmosfera é constituída na área urbana vem sofrendo inúmeras alterações no decorrer dos anos, o que mostra ser consequência da emissão, seja por fontes fixas ou móveis, de inúmeros poluentes (OLIVEIRA, 2016).

O Brasil está entre os países que mais aumentaram a motorização individual no ano de 2016, o que acaba gerando grandes impactos que não se resumem somente a fatores sociais, tais como, congestionamentos e o grande acúmulo de veículos nas vias urbanas; e consequentemente causando cenários de poluição sonora e atmosférica (FURTADO; FURTADO, 2019).

Em dezembro de 2019 o Brasil contava com um total de 104.784.375 de veículos, já em março de 2020 esse total cresceu para 105.625.858; demonstrando, assim, um aumento de quase 1% em apenas três meses (DENATRAN, 2020). Deve ressaltar que esse aumento está condicionado às políticas públicas tributárias de incentivo a redução de impostos, atrelado ao aumento da renda dos consumidores (FURTADO; FURTADO, 2019).

Além disso, tem ocorrido um aumento significativo no número de ônibus e micro-ônibus que circulam nas cidades; esse aumento está relacionado ao Programa do Governo Federal Caminho da Escola que tem como objetivo renovar, padronizar e ampliar a frota de veículos escolares de todos os municípios do país (FNDE, 2020).

No Rio Grande do Norte, o Programa Caminho da Escola conseguiu fortalecer o ensino no meio rural, pois analisando-se, anualmente, o censo escolar verifica-se aumento no número de matrículas nas escolas da zona rural (FNDE, 2020). Em contrapartida esta atividade gera impactos decorrentes das fontes móveis de emissão de gases decorrente do consumo de combustíveis fósseis; devido a sua combustão parcial, esses combustíveis acabam liberando na atmosfera uma grande quantidade de resíduos particulados, fumaça, aerossóis e gases poluentes associados ao efeito estufa.

A poluição atmosférica acaba sendo a grande responsável pela maioria das doenças respiratórias no mundo. Para se ter uma ideia, a Organização Mundial da Saúde (OMS) informou que no ano de 2016 cerca de 4,2 milhões de pessoas morreram no mundo devido a complicações respiratórias (BRASIL, 2019). Um dos principais vilões são os veículos automobilísticos que se tornaram cada vez mais comuns na sociedade.

Nos últimos anos, a poluição atmosférica vem assumindo um papel muito importante em meio à sociedade, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de políticas públicas em todo o mundo, seja pelas políticas a nível global, tal como a nível nacional. Toda essa preocupação é advinda das novas doenças que vem surgindo em todas as regiões do Planeta, doenças essas que atingem, diretamente, o sistema respiratório humano; além disso, os danos causados pela poluição atmosférica acabam por elevar os gastos do estado (MEOTTI, 2019).

De acordo com o Ministério da Infraestrutura, no mês de janeiro de 2020, no estado do Rio Grande do Norte existiam 1.351.542 veículos, com perspectiva de aumento da frota estadual para os próximos meses (Ministério da Infraestrutura, 2020).

Este cenário crescente do número de veículos automotores pode desencadear problemas a curto e médio prazo, seja a nível local e regional, em virtude da possibilidade da ocorrência de agravamentos de poluição atmosférica por inversão térmica, podendo resultar também problemas com as chuvas ácidas, aquecimento no microclima local, comprometer a beleza cênica, e deteriorar a vegetação nativa.

Analisando o cenário do município de Pau dos Ferros, o qual vem se consagrando como polo universitário do Rio Grande do Norte (SANTOS; ALVES, 2015) o que acaba elevando, consideravelmente, a quantidade de veículos escolares que trafegam por suas vias e, conseqüentemente, aumentando as emissões atmosféricas na cidade.

Assim, observando o novo cenário mundial voltado a promoção da sustentabilidade por meio de políticas públicas de incentivo à prevenção e mitigação dos impactos ambientais, associado com a limitação que a região de estudo tem no desenvolvimento de um monitoramento eficiente e eficaz da emissão desses poluentes, faz-se necessário analisar e quantificar tais emissões de dióxido de carbono (CO_2) na região. Dessa forma, a partir desse estudo será possível determinar, planejar e otimizar medidas que venham a diminuir os efeitos da poluição atmosférica.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo estimar, através de modelos matemáticos, as emissões de CO_2 dos transportes públicos escolares em Pau dos Ferros/RN, advindos das cidades circunvizinhas. Para tanto, será necessário desenvolver alguns objetivos específicos para que essa estimativa possa ser concretizada, tais como:

- Elencar e caracterizar os transportes públicos escolares em Pau dos Ferros/RN;
- Determinar as rotas que os transportes públicos escolares realizam no município;
- Avaliar as estimativas de emissões veiculares através dos métodos *top-down*;

- Calcular a compensação das emissões veiculares através do plantio de mudas nativas;
- Elencar potenciais medidas mitigadoras para controlar os impactos dos transportes públicos escolares.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 TRANSPORTE ESCOLAR

A Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB) de 1988 considera a educação como sendo um direito de todos os brasileiros e, ainda, um dever do Estado e da família, devendo ser promovida juntamente com a sociedade e objetivando o desenvolvimento pessoal, exercício da cidadania e da qualificação profissional. Além disso, a CRFB determina que o dever do Estado com a Educação abrangerá, inclusive, programas que objetivem suplementar o fornecimento de transporte escolar (BRASIL, 2015).

[...] na Constituição Federal de 1988 o transporte escolar aparece como componente de programas suplementares da educação, juntamente com alimentação, material didático-escolar e atendimento à saúde, todos eles definidos como dever do Estado, conforme o artigo 208 da referida lei (TAVARES, 2019, p.48).

Mesmo com essa determinação, a responsabilidade de tal função não ficou clara tendo em vista que não era possível determinar se este encargo seria do Município, Estados ou União. Entretanto, estes problemas foram sanados através do surgimento da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e, também, da Lei nº 10.709/2003, onde ficou determinado que a responsabilidade do transporte escolar dos estudantes da rede municipal seria do Município e da rede estadual do Estado (NETO, 2016).

Neste momento, o Ministério da Educação já dispunha de um programa (criado em 1994) que financiava, em parte, os gastos de municípios e estados com o fornecimento do transporte escolar. Posteriormente surge o Programa Nacional do Transporte escolar – PNAT, objetivando contribuir financeiramente para a aquisição e manutenção de veículos a serem utilizados para transportar os alunos (FNDE, 2020).

Em 2005, foi criado o Programa Nacional de Apoio ao Transporte Escolar – PNATE que, diferentemente do PNAT, não objetivava a aquisição de veículos automotores para o transporte escolar. Esse novo programa priorizou apenas a manutenção dos veículos já adquiridos por municípios e estados e, ainda, quando estes não eram suficientes para a demanda, a entidade estava autorizada a celebrar contratos de aluguéis e efetivar o pagamento com estes recursos.

Logo, percebeu-se que o Programa criado em 1994 pelo Ministério da Educação já não mais estava alcançando os objetivos para o qual foi desenvolvido. Os municípios brasileiros

necessitavam, nesse momento, de um programa que viabilizasse a aquisição de transportes escolares e estes veículos deveriam seguir um determinado padrão para que o próprio Ministério pudesse avaliar sua implantação e os impactos que este iria causar no país.

Dessa forma, como a finalidade de auxiliar os municípios brasileiros a se adequarem e, ao mesmo tempo, transformar a realidade do transporte escolar, principalmente o rural, surgiu em 2007 o Programa Caminho da Escola. Todavia, somente em 2009 é que o programa passou a ter validade através do Decreto 6.768/2009, que o disciplinava no âmbito federal (NETO, 2016). De acordo com o referido Decreto, o Programa tem como base os seguintes objetivos:

Art. 2º São objetivos do Programa Caminho da Escola:

- I - renovar a frota de veículos escolares das redes municipal e estadual de educação básica na zona rural;
- II - garantir a qualidade e segurança do transporte escolar na zona rural, por meio da padronização e inspeção dos veículos disponibilizados pelo Programa;
- III - garantir o acesso e a permanência dos estudantes moradores da zona rural nas escolas da educação básica;
- IV - reduzir a evasão escolar, em observância às metas do Plano Nacional de Educação; e
- V - reduzir o preço de aquisição dos veículos necessários ao transporte escolar na zona rural (BRASIL, 2009).

Assim, para que esses objetivos pudessem ser alcançados houve a necessidade de que inúmeros órgãos do governo federal se mobilizassem para criar novos modelos de ônibus que conseguissem se adequar as necessidades dos alunos da zona rural de todos os municípios do país. Além de ônibus, o programa também fornece motos, bicicletas e barcos, maneira essa encontrada para que nenhuma região do país não pudesse participar do Programa (NEVES; MESQUITA, 2020).

Dessa maneira, para o Ministério da Educação liberar o orçamento e as diretrizes para a aquisição do transporte não se tornava viável. Logo, o próprio Fundo Nacional de Desenvolvimento Educacional (FNDE) ficou responsável por todo o processo que envolve compras governamentais, ou seja, o FNDE participava desde o processo licitatório até o momento de entrega do transporte, ficando os entes com a responsabilidade apenas de transferência de recursos (FNDE, 2020).

Analisando todo desenvolvimento que o Programa Caminho da Escola conseguiu desde o seu surgimento até os dias atuais é possível perceber que esta Política Pública se mostrou de grande importância em todas as regiões do país e, com o passar dos anos, conseguiu se adaptar as necessidades de cada região. Para se ter uma ideia os modelos

adquiridos em 2009 muito se diferenciavam dos primeiros que haviam sido adquiridos em 2007:

chassi mais alto e rodas mais próximas da frente e da traseira, para assim melhorar a trafegabilidade e facilitar a saída de atoleiros, itens de acessibilidade como uma cadeira de rodas especial que poderia descer até o nível do solo para embarcar alunos com dificuldades de locomoção, melhorias de conforto como a redução do espaço do corredor, para que as cadeiras ficassem mais confortáveis, os vidros passaram a ser temperados verdes o que traz um maior conforto térmico, itens tecnológicos também foram inseridos, tal como o dispositivo móvel receptor de sinal, mais conhecido como Global Positioning System (GPS), que garante uma maior segurança aos estudantes e traz o controle do trajeto, do tempo de percurso e de paradas, além de informar o consumo de combustível (CAMPOS, 2016, p. 78).

Além dessas modificações, no mesmo ano, em parceria com a Marinha do Brasil, o FNDE/MEC projetou e construiu 674 lanchas escolares com o objetivo de facilitar o transporte de alunos que vivem em áreas ribeirinhas, sendo dada prioridade a região Norte do país (FNDE, 2020). Já no pregão de 2010, o que diferenciou foi à quantidade de modelos oferecidos passando 06 (seis) para 03 (três).

É importante ressaltar que em 2012 o FNDE publicou uma normativa, resolução nº 18 de 2012, que determinava a forma como esses transportes deveriam ser utilizados no município, onde foi esclarecido que qualquer veículo adquirido pelo Programa Caminho da Escola só deveria ser utilizado para transportar alunos da rede pública do Brasil.

Em 2013 foi lançada a Resolução nº 45/2013 que estabeleceu que municípios, estados e união poderiam utilizar os veículos adquiridos pelo Programa Caminho da Escola para transportar alunos da zona urbana e aqueles pertencentes à educação superior, entretanto, era necessário que os gestores verificassem que o atendimento aos da zona rural e matriculados na rede pública de ensino não seriam prejudicados (FNDE, 2020).

Existe uma grande melhoria na utilização do transporte escolar do Brasil desde a implantação desse programa. Os referidos autores chegaram à conclusão de que devido à utilização de transportes novos e mais adequados os estudantes passaram a permanecer mais tempo na escola, mesmo não havendo a redução do tempo no trajeto, a execução do serviço teve uma certa melhoria (CARVALHO; LEITE; NASCIMENTO, 2017).

Os programas PNATE e Caminho da Escola, ambos de âmbito federal, acabam por se complementarem, enquanto o PNATE destina seus recursos para a manutenção dos transportes escolares o Caminho da Escola direciona verba para aquisição desses transportes; logo, entre esses dois programas existe uma certa diferença, enquanto o PNATE tem

transferência obrigatória e direta ao ente federativo o Programa Caminho da Escola necessita de negociações e transferências voluntárias (NEVES; MESQUITA, 2020).

Dessa forma, fica evidente a grande importância que os programas voltados para o transporte escolar têm para o desenvolvimento educacional, tendo uma significância ímpar nos resultados alcançados pela educação básica no país. Logo, verifica-se que, principalmente, o Programa Caminho da Escola conseguiu impactar, de maneira decisiva, a vida dos estudantes da educação básica do país, transformando-se em uma das principais ferramentas para o acesso as escolas de todo o país.

Em contrapartida, a ausência desses programas de apoio ou mesmo a deficiência em tais repasses para auxílio na manutenção da frota de veículos existentes em alguns municípios poderiam causar inúmeros impactos a sociedade, sejam estes resultantes da limitação ao acesso à formação escolar, restrições de traslado, além da possibilidade de desencadear inúmeros impactos ao ambiente, tais como poluição do ar e sonora, muitas vezes resultantes do desgaste dos veículos sem manutenções preventivas.

2.2 IMPACTOS DO TRANSPORTE ESCOLAR

Ao observar as implementações que aconteceram nos programas voltados para garantir o acesso à educação de forma igualitária e de qualidade é possível perceber que a partir da CRFB de 1988 essas políticas têm evoluído de maneira positiva e vem conseguindo abranger todo o território nacional. Essa evolução se dá tanto por consequência das mudanças jurídicas, como também, da tentativa de conseguir cumprir o que diz na Carta Magna sobre a questão da educação ser um direito fundamental do brasileiro (LOPES, 2018).

Dessa maneira, o transporte escolar apresenta-se como uma ferramenta de gestão essencial para que o aluno consiga chegar até a sala de aula. Logo, percebe-se que esse programa educacional tem grande importância para o desenvolvimento social e educacional dos alunos do país, principalmente, aqueles que estão incluídos nas classes mais pobres da sociedade.

Quando se analisa os efeitos dos programas voltados para o transporte escolar é possível perceber que, na grande maioria das vezes, esses impactos se mostram de forma positiva. Entretanto, não se pode afirmar que uma política pública em execução contenha apenas pontos positivos, pois, segundo Lopes (2018), levando em consideração as dimensões territoriais do país, é quase que impossível apontar que 100% do território brasileiro dispõem de transporte escolar adequado para os alunos da rede básica de ensino.

Mesmo com todas as dificuldades encontradas na implantação de programas direcionados como o transporte escolar, em especial o Programa Caminho da Escola, que como tratado anteriormente objetiva, dentre outras colocações, garantir o acesso e, principalmente, a permanência dos estudantes da zona rural na escola (CARVALHO; LEITE; NASCIMENTO, 2017) é possível observar impactos de grande relevância para o desenvolvimento do país.

Um dos principais impactos gerados pela aplicabilidade dessa política pública pode ser observado nos índices de permanência do alunado na escola. Em outras palavras, o programa auxilia no combate à evasão escolar, mesmo que de maneira tímida e sempre associada a outras políticas, como por exemplo, alimentação escolar e disponibilidade de material escolar (SILVA; YAMAHISTA, 2013; CARVALHO; LEITE; NASCIMENTO, 2017).

Corroborando com esses autores, Oliveira e Souza (2016) mostram que, numa pesquisa realizada no período de 1989 até 2017, a quantidade de crianças matriculadas nas escolas da rede básica de ensino saltou de 82,2% para 95,8%. Ainda nesse mesmo estudo os autores conseguiram demonstrar que a frequência escolar das crianças mais pobres do país aumentou em 25% no período compreendido entre 2004 e 2012. Ficando claro que o programa Caminho da Escola, juntamente com o PNATE, tem grande parcela de contribuição para o aumento desses dados.

Além do aumento no número de crianças matriculadas na rede básica de ensino e na frequência escolar das crianças mais pobres, em 2018 o FNDE realizou uma pesquisa de âmbito nacional referente ao Programa Caminho da Escola, nessa pesquisa o órgão quis saber sobre quatro tópicos distintos, sendo eles, dados sobre a evasão escolar, padronização, idade das frotas e a avaliação do programa (FNDE, 2020). Sobre a evasão, a pesquisa conseguiu averiguar que entre os anos de 2007 e 2014 houve uma redução em 0,49% o que ficou claro ser consequência do investimento feito no transporte escolar.

Como descrito, as condições de uso da frota de veículos também fazem parte dos objetivos da política de padronização do transporte escolar brasileiro. Sobre este ponto, a pesquisa demonstrou que com o programa houve uma diminuição em quase 15% na utilização de veículos impróprios para o transporte dos alunos e, em contrapartida, observou que a padronização desses transportes teve um aumento de 3% e 11% para ônibus e micro-ônibus, respectivamente, o que acaba contribuindo para a segurança, conforto e qualidade do transporte escolar (TAVARES, 2019).

Sobre a idade média dos veículos utilizados, dados do FNDE comprovam que a partir da implantação do programa Caminho da Escola, em todas as regiões do país, houve um

decréscimo nesse dado. Na Região Nordeste, por exemplo, essa redução chegou a marca de 50%, já a Região Centro-Oeste conseguiu reduzir a idade da frota em mais de 50%. O Quadro 1 mostra a diferença existente entre a idade das frotas utilizadas para o transporte escolar em 2007 e em 2018 por região do Brasil.

Quadro 1 – Idade média da frota de transporte escolar no Brasil (2007-2018), por região.

REGIÃO	2007	2018
Norte	14 anos	8 anos
Nordeste	18 anos	9 anos
Centro-Oeste	15 anos	7 anos
Sudeste	12 anos	8 anos
Sul	15 anos	9 anos

Fonte: Tavares (2019).

Assim, percebe-se que praticamente todos os objetivos do programa em estudo tem seu grau de êxito satisfatório, desde o auxílio contra a evasão escolar até o fornecimento de um serviço com segurança e qualidade. O programa Caminho da Escola conseguiu, juntamente com outras políticas complementares, fazer com que o direito à educação fosse estendido a todos os jovens e crianças de cada cidade do país.

Entretanto, com a implementação desse programa há o surgimento de alguns problemas. Ainda voltado para a área da educação, a disponibilização de transporte na zona rural fez com que nessas áreas a existência de escolas se tornasse algo cada vez mais raro, fato este que vai, diretamente, contra o princípio do direito ao acesso a educação das pessoas do campo, isso porque esse direito tem que ser articulado com o direito de ter a escola na própria comunidade (GENTIL, 2016).

Corroborando com tal apontamento, Carvalho et al. (2016) citam que o processo de nucleação do sistema educacional brasileiro, que consistia em reunir escolas localizadas em diferentes regiões da zona rural dos municípios em um prédio único na zona urbana, recebe inúmeras críticas tendo em vista que retirou os alunos da área rural e os tornou cada vez mais dependente do transporte escolar.

Logo, a respeito do fechamento das escolas do campo, a Lei nº 9.394/1996 cita que:

Art. 28 – Parágrafo Único: O fechamento das escolas do campo, indígenas e quilombolas será precedido de manifestação de órgão normativo do respectivo sistema de ensino, que considerará a justificativa apresentada pela Secretaria de

Educação, a análise do diagnóstico do impacto da ação e a manifestação da comunidade escolar (BRASIL, 1996).

Dessa forma, Ferreira e Brandão (2017) perceberam que o processo de fechamento dessas escolas, em especial a partir de 1990, não tiveram os requisitos cumpridos, principalmente no que diz respeito sobre a manifestação da sociedade escolar. Os autores citam ainda, que nesse período milhares de escolas foram fechadas sem haver uma consulta prévia a população, o que acabou impossibilitando a manifestação dos sujeitos envolvidos.

Além desses efeitos sistemáticos, de gestão e culturais atingidos pela implementação dos programas de transporte escolar rural, os efeitos ambientais negativos também estão presentes nessas análises. Com o aumento de veículos automotores nas regiões e, ainda, a disponibilização em áreas onde antes esses transportes não frequentavam, o aumento da poluição atmosférica e sonora apresentam-se como impactos socioambientais negativos para essa população.

Em se tratando da poluição sonora é indiscutível que o avanço do transporte escolar nas áreas mais remotas dos municípios acabou por ocasionar perturbações naqueles ecossistemas que, provavelmente, geraram danos irreversíveis para os animais que ali se encontram, tendo em vista que na falta de controle seus impactos se tornam uma das mais graves formas de degradação, tendo efeitos sobre a qualidade de vida, desempenho físico e mental, dentre outros (FIORILLO; FERREIRA, 2020).

No que se refere a poluição atmosférica, Xavier et al. (2019) lembram que ao ser verificado o aumento da frota automobilística no país, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) começou a editar normas que visavam determinar limites para as emissões gasosas advindas desses veículos. Além disso, Derísio (2017) cita que esse aumento nas emissões gasosas se mostra como um problema à qualidade de vida dos habitantes além de acarretar prejuízos à vegetação.

Assim, ao perpassar por todos esses impactos relacionados ao transporte escolar foi possível verificar uma mudança radical no ambiente rural das cidades, mudança essa totalmente influenciada pela inserção de veículos de grande porte nessas áreas. Dessa forma, observa-se um aumento nas emissões de poluentes atmosféricos que são resultados da queima dos combustíveis fósseis utilizadas por esses automóveis, o que acaba gerando certos desconfortos ambientais tanto para a população como também para o meio ambiente.

2.3 EMISSÃO DE GASES DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Em linhas gerais, combustível é qualquer tipo de substância que consiga reagir com o oxigênio, ou qualquer outro comburente, de maneira que venha a produzir calor, chamas e gases. Esses combustíveis são classificados em fósseis, quando tem origem animal, vegetal e de microrganismos fossilizados a milhões de anos, já os renováveis são aqueles que usam matéria prima extraída da própria natureza (GOLDEMBERG, 2015; ALMEIDA et al., 2019).

Assim, com o objetivo de alcançar o desenvolvimento a qualquer custo, o ser humano vem utilizando os recursos naturais de maneira desenfreada, considerando-os como uma fonte inesgotável o que acaba acarretando prejuízos ecológicos imensuráveis. A exemplo desta situação está a expansão descontrolada das cidades e, ainda, a industrialização das mesmas, contribuindo de forma decisiva para o aumento no consumo de energia, principalmente, as de matrizes fósseis (SILVA et al., 2019).

Em 2017, o Brasil foi responsável pela emissão de quase 436 Mt CO₂ na atmosfera. Quando comparado com os americanos, o brasileiro emite 7 vezes menos e comparando com os europeus são 3 vezes menos. Mesmo com esses dados, a situação apresenta-se no mínimo preocupante, tendo em vista os inúmeros danos ambientais e na saúde que esses gases podem gerar (SANTOS; AQUINO; WATZKO, 2020). Além disso, estudos demonstram que essas emissões tendem a continuar crescendo, podendo conseguir alcançar um total de até 469 Mt CO₂ em 2026 (EPE, 2018).

Segundo Drum (2014), o Brasil está entre os países que mais se motorizaram, individualmente, nos últimos anos. Fato este que acaba ocasionando impactos negativos não apenas no tráfego das grandes cidades, mas, também, ao meio ambiente quando observado o aumento exponencial da poluição sonora e atmosférica. Para se ter uma ideia em fevereiro de 2020, o Brasil contava com mais de 104 milhões de automóveis o que significa, com dados projetados pelo IBGE (2020), que no país há 1 carro para cada duas pessoas (DENATRAN, 2020).

O grande problema de tal motorização se reflete no consumo de combustíveis fósseis, em especial os derivados do petróleo. Esses tipos de combustíveis são utilizados em larga escala pelos veículos automotores, seguido das indústrias, o que acaba gerando quantidades imensas de resíduos que são lançados, diretamente, na atmosfera, dentre eles, o dióxido de carbono que gera inúmeros danos ambientais (FURTADO; FURTADO, 2019).

Segundo Vital (2018), mundialmente, o responsável pela maior parte da poluição atmosférica é a queima de combustíveis fósseis, tais como, carvão, diesel, gás natural,

petróleo e gasolina, todos com funções que são indispensáveis para o desenvolvimento econômico da sociedade, sendo elas, produção de eletricidade, aquecimento, transporte e indústria. Toda essa situação culmina numa carga desproporcional de doenças que a humanidade tem que suportar além de comprometer a poluição ambiental quanto ao aquecimento global (RODRIGUES; SOUZA; TAMBOR, 2019).

Em termos técnico, a combustão desses combustíveis fósseis compostos de hidrocarbonetos ocorrem, inicialmente, com uma fragmentação da molécula combustível inicial em espécies menores as quais são convertidas em produtos finais, principalmente, H_2O e CO_2 que em muitos casos podem ser utilizados como o próprio combustível (JUNIOR et al., 2019).

De acordo com Xavier et al. (2019), “os principais gases emitidos pelos veículos decorrentes da queima dos combustíveis fósseis são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), compostos de enxofre (SO_x), compostos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), aldeídos (RCHO) e hidrocarbonetos (HC) ”. Indo no encontro desse pensamento, Drum et al. (2014) complementam com a informação:

Cada um desses poluentes é emitido em maior ou menor quantidade em função do combustível utilizado, do tipo de motor, da sua regulação, da manutenção e modo de dirigir. Em veículos novos essas emissões foram bastante controladas com a adição de certas tecnologias (catalisadores, injeção eletrônica de combustível entre outros) (DRUM et al., 2014, p. 135).

O lançamento de partículas advindas da queima desses combustíveis geram vários efeitos nocivos ao meio ambiente e a população como um todo, tais como, mudanças climáticas, a poluição atmosférica, poluição ambiental, redução da diversidade ecológica e problemas na saúde pública (POMPELLI et al., 2011; LIMA, 2015; ESTEVES; PEREIRA, 2016).

A respeito da saúde humana, esses gases podem ocasionar inúmeras doenças respiratórias, além de baixo peso em recém-nascidos, partos prematuros (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016) e, ainda, conseguem aumentar as chances de haver um Acidente Vascular Cerebral (AVC) em 29,2%, tendo em vista que este problema sempre foi atribuído a poluição atmosférica, principalmente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento (FEIGIN et al., 2016). No âmbito ambiental, Drum et al. (2014) elencam problemas como “a chuva ácida e o efeito *smog* – definido como cortina de fumaça na atmosfera próxima à superfície”.

Outro problema bastante preocupante está relacionado com o carbono negro, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), enxofre e dióxido de hidrogênio, mercúrio e

substâncias voláteis que formam o ozônio (O_3) no nível do solo (RODRIGUES; SOUZA; TAMBOR, 2019), todas essas substâncias estão relacionadas com inúmeros efeitos adversos a saúde humana.

Desse modo, como já discutido, as mudanças climáticas a níveis globais irão causar impactos irreversíveis ao meio ambiente. Logo, essas alterações irão interferir na sustentabilidade, no desenvolvimento econômico e, ainda, na manutenção dos recursos naturais (SANTOS; AQUINO; WATZKO, 2020). Assim, desenvolver tecnologias capazes de reduzir a emissão desses gases, em especial o CO_2 , acabam chamando a atenção de estudantes e profissionais da área (SHI et al., 2019).

É importante citar que reduzir a níveis muito mais baixos as emissões de dióxido de carbono não pode se resumir apenas a utilização de fontes de energias limpas, tendo em vista que as energias advindas de recursos fósseis podem e devem estar atreladas as renováveis. Essa situação se justifica devido à necessidade de garantir a segurança do sistema frente as flutuações que a disponibilidade da energia renovável pode sofrer. Esses sistemas “mistos” podem ser reforçados utilizando-se das usinas térmicas e de sistemas de captura de carbono, porém, ainda falta muito investimento para a viabilização dessas tecnologias (KOYTSOUMPA; BERGINS; KAKARAS, 2018).

Assim, é perceptível que ao longo dos anos as indústrias que utilizam os combustíveis fósseis como fonte de energia apresentaram um crescimento exponencial e, consequentemente, o aumento nas mudanças climáticas acompanhou todo esse avanço, ocasionada em sua grande maioria pela emissão dos gases do efeito estufa que são liberados a partir da queima parcial dos combustíveis fósseis (RIBEIRO; RIBEIRO, 2019).

2.4 GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)

O efeito estufa é um processo natural e, ao mesmo tempo, essencial para a vida na terra, tendo em vista que os gases que o compõe são responsáveis pela manutenção da temperatura terrestre, isso quando dispostos em concentrações baixas (VASCONCELOS et al., 2018). Notoriamente, o mundo analisa esses gases e suas concentrações na atmosfera devido ao perceptível aumento na temperatura terrestre que tem consequências desastrosas, principalmente, na saúde humana e no aparecimento de eventos climáticos extremos (LATTANZI; FILHO; QUELHAS, 2019).

Dessa maneira, países do mundo inteiro vêm fazendo discussões sobre como diminuir a emissão desses gases, o que complica ainda mais quando se trata de países que ainda estão

se desenvolvendo e necessitam de energia a todo custo. O Brasil, por exemplo, mesmo estando no grupo dos países em desenvolvimento, tornou-se um dos líderes mundiais na redução de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) (EULER, 2016). Sobretudo, com o enfraquecimento das legislações ambientais no país, estudiosos veem com preocupação o cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris no início do século XXI (ROCHEDO et al., 2018).

Toda essa preocupação com o clima é impulsionada devido este ter grande influência no ciclo biológico e, ainda, no cotidiano de todos os animais que vivem no planeta. Ele consegue equilibrar fatores como a umidade, temperatura, chuvas e ventos num período de tempo o que se torna essencial para a manutenção da vida na Terra (SILVA; AGUIAR; FARIA, 2020).

Logo, esse novo cenário em que se encontra todo o planeta tem despertado cientistas para que consigam desenvolver tecnologias objetivando diminuir e controlar as emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera (FIALHO, 2016). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), no seu último relatório sobre mudanças climáticas afirmou que o aumento das emissões de GEE's está, diretamente, relacionada com as atividades antrópicas e, ainda, o homem conseguiu emitir as maiores quantidades desses gases na história humana (IPCC, 2019).

Os principais gases que causam o efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global são o dióxido de carbono (CO_2), gerado a partir da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e mudanças no uso do solo, o metano (CH_4), resultado de atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuárias, óxido nitroso (N_2O), produzido a partir do uso de fertilizantes, produção de ácidos, queima de biomassa e de combustíveis fósseis, hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6), todos decorrentes da indústria, refrigeração, propulsores e solventes (SOUZA; ZUCCO, 2020).

Inúmeras são as atividades humanas que culminam no aumento dos GEE's, dentre elas está a agricultura, transporte, geração de energia, processos industriais, resíduos, agropecuária, mudanças no uso da terra, dentre outras (SERENO; ANDRADE, 2020). Por se tratar de uma emissão direta, os veículos automotores têm uma grande parcela de culpa no aumento desses gases tendo em vista que se utilizam dos combustíveis fósseis para gerar energia e, assim, se locomoverem.

O veículo automotor necessita de queima de combustível para seu funcionamento. Basicamente, esta queima envolve gasolina, diesel ou álcool, durante este processo ocorre a emissão de gases veiculares, gases estes que prejudicam a saúde humana e

o meio ambiente como um todo. Contudo, o aumento no número de veículos automotores observado nas últimas décadas contribuiu negativamente com a saúde e também com a natureza (JÚNIOR; EDUARDO; SOUZA, 2019, p. 85).

Assim, como já discutido anteriormente, a utilização desses combustíveis para a queima acaba por gerar inúmeros gases que são, em sua totalidade, prejudiciais à saúde humana e também ao meio ambiente, tendo em vista que eles conseguem aumentar o efeito estufa ao qual está diretamente relacionado com a temperatura do planeta.

Dessa forma o crescimento da frota veicular, principalmente, nas grandes cidades tem provocado um aumento considerável nas emissões de GEE e, por conta do adensamento urbano decorrente da quantidade de prédios e em pouco espaço, esses gases acabam por não conseguirem se dispersar, culminando num maior índice de doenças devido, principalmente, a emissão de monóxido de carbono que é o principal poluente emitido pelos automóveis (FIORESE et al., 2019).

Como forma de contrapor essa situação cabe aos órgãos federativos desenvolver e propor políticas que se encaixem com os compromissos acordados internacionalmente pela maior parte dos países junto à Organização das Nações Unidas (ONU), dentre eles, controlar o aquecimento global, firmado em 2015 na Conferência do Clima de Paris por 195 países, que culmina na redução de mortes e doenças por contaminação e poluição do ar (NAVARRO; CONSONI, 2019).

De acordo com Fiorese et al. (2019), em termos de legislação, o Brasil teve sua primeira ação com o objetivo de controlar essas emissões em 1986 quando a Resolução nº 18 do CONAMA criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCOVE. Esse novo sistema priorizou a definição de limites de emissão para veículos leves e contribuiu para alcançar o patamar dos padrões de qualidade do ar (CONAMA, 1986).

Posteriormente, em 1993 foi promulgada a Lei nº 8.723 que veio com o objetivo de desenvolver a tecnologia dos automóveis e dos combustíveis para que se pudesse atender os limites preestabelecidos das emissões gasosas. De acordo com Testa (2015), essa nova imposição veio juntamente com um grande aumento na disponibilização de veículos particulares devido ao crédito fácil e o baixo preço da gasolina.

Mesmo com todo esse problema de emissões gasosas ainda existem áreas onde os reflexos do aumento do efeito estufa ainda não são tão perceptíveis, sendo elas as florestas. Segundo Barbosa et al. (2019), essa ineficiência está, diretamente, relacionada com os processos fotossintéticos que a planta realiza, ou seja, ela captura de CO₂ disperso no ar através das folhas e o prende no solo devido à disposição dos poros.

Dessa maneira, torna-se indispensável a utilização de ferramentas que consigam monitorar as emissões gasosas na atmosfera almejando uma eficiência no gerenciamento da qualidade do ar nas cidades. Todavia, esse monitoramento adequado deve ser encarado não apenas por questões ambientais, mas sim, pela manutenção da vida e da saúde humana. Assim, a determinação de ferramentas para mensurar essas emissões gasosas é fundamental para que haja um plano de controle desses gases.

2.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO QUANTO A EMISSÃO DE GASES VEICULARES

É perceptível que o aumento das alterações climáticas no mundo nos últimos anos, intrinsecamente ligada com os gases que são emitidos pelos veículos, vem ganhando espaço para discussões em todas as partes do planeta (RODRIGUES et al., 2019). Mesmo com toda a evolução tecnológica, os motores a combustão dos carros ainda são os grandes vilões quando se fala em poluição atmosférica.

Devido à preocupação e a necessidade em se conseguir contabilizar a emissão desses poluentes, inúmeros métodos foram desenvolvidos com o objetivo de mostrar a realidade dessas emissões através de números, o que facilita o desenvolvimento de métodos para minimizar essas emissões e, ao mesmo tempo, conseguir encontrar formas de mitigar os problemas que estas causam.

Fiorese et al. (2019) desenvolveram um estudo relacionando ao desenvolvimento urbano com o aumento nas emissões de gases do efeito estufa na cidade de Castelo/ES. Em seu estudo foi utilizado uma série de equações matemáticas, valores tabelados e baseada no método utilizado pela Agência Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Para a realização do inventário, foram necessários o levantamento do número de veículos em circulação no município, os fatores de emissão dos veículos novos conforme o ano de fabricação e a quilometragem média rodada de acordo com o ano de fabricação. Esses dados foram obtidos, respectivamente, junto ao Departamento Nacional de Trânsito-DENATRAN (BRASIL, 2016), a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo- CETESB (SÃO PAULO, 2015) e ao Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2006) (FIORESE et al., 2019).

Sendo que Fioresi et al. (2019) determinaram as emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos na atmosfera de Castelo/ES a partir da Equação 1:

$$E = Fe \cdot Km \cdot N \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

Onde:

E - Taxa de emissão do poluente x (t/ano);

Fe - Fator de emissão do poluente x (g/km);

Km - Quilometragem média rodada por veículo (km/ano);

N - Número de veículos.

Em resumo, os autores inicialmente determinaram o número de veículos e o ano de fabricação, seguidamente foi definida a quilometragem média percorrida (km/veículo/ano), a quilometragem acumulada (km), os fatores de emissão e o fator de deterioração, de acordo com cada tipo de combustível utilizado, tomando como base os dados tabelados da CETESB (g/Km). Com esses dados foi possível quantificar o fator de emissão corrigido e, por fim, determinou-se a taxa de emissão total (PINTO et al., 2016).

De posse de todos esses dados os autores conseguiram determinar que no ano de 2015 na Cidade de Castelo/ES houve uma emissão de 802,187 toneladas de monóxido de carbono (CO) e 128,857 toneladas de Hidrocarbonetos (HC), o que foi considerado um índice alto de gases emitidos. Como solução para este problema foi indicado construções que promovam uma maior circulação do ar e projetos que gerem uma maior mobilidade urbana (FIORESE et al., 2019)

Brandão, Albuquerque e Fialho (2020) desenvolveram um estudo sobre o inventário de emissões de gases pelos veículos automotores em Salvador/BA comparando metodologia utilizadas pela CETESB (2016) e pelo Ministério do Meio Ambiente (2013). Para a aquisição dos resultados, os autores utilizaram dados referentes ao ano de cada veículo, o tipo de combustível e a intensidade de uso. Já para o processamento de dado foi utilizada o 2º método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (BRANDÃO; ALBUQUERQUE; FILHO, 2020).

Sendo que Brandão, Albuquerque e Fialho (2020) na construção do inventário do ano de 2018 sobre emissões da cidade de Salvador/BA utilizou o 2º método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (AEA) como mostra a Equação 2:

$$E_{p,t} = \sum_k \sum_i \sum_c (F_{k,t,c} \cdot FC_{p,k,t,c} \cdot Kma_{k,t}) \quad (2)$$

Onde,

$E_{p,t}$ - Emissão total de um poluente p em um ano t;

$F_{k, t, c}$ - Frota de veículos de uma categoria K, fabricadas em uma no t e que usam um combustível c;

$FC_{p, k, t, c}$ - Fator de emissão corrigido de um poluente p , para veículos de uma categoria k , fabricados em um ano t e que processam um combustível c ;

$Km_{k, t}$ - Quilometragem média anual desenvolvida por veículos de uma categoria k , fabricados em um ano t .

Ao final da comparação desses dados os autores conseguiram verificar que os poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais não-mecânicos (NMHC) e aldeídos (RCHO) não tiveram diferenças significativas em ambos os relatórios. Entretanto, os óxidos de nitrogênio (NOx), no relatório da CETESB (2016), apresentaram uma diferença duas vezes menor que o inventário construído com dados de BRASIL (2013), já para o material particulado (MP) essa diferença chegou a treze vezes (BRANDÃO, ALBUQUERQUE; FIALHO, 2020).

Segundo Leite e Almeida (2019), quando se deseja calcular as emissões totais de gases em um território, região ou país, os métodos mais aconselháveis são os “*Top-down*” e “*Bottom-up*”, sendo que cada um deles tem uma abordagem particular que vai depender do tipo de dado disponível para a análise.

Castro (2011) realizou um inventário sobre as emissões de CO₂ no estado da Paraíba no período de 2000 a 2010. Para tanto o autor optou em utilizar o método “*top - down*” que consiste em contabilizar essas emissões a partir da quantidade e do tipo de combustível queimado, além do seu teor de carbono. Em seus resultados, Castro (2011) conseguiu determinar que nesse período de estudo as fontes móveis de emissão no estado da Paraíba conseguiram lançar cerca de 18.817.622,405 toneladas de dióxido de carbono, seja sua fonte energética a gasolina, o diesel ou o etanol.

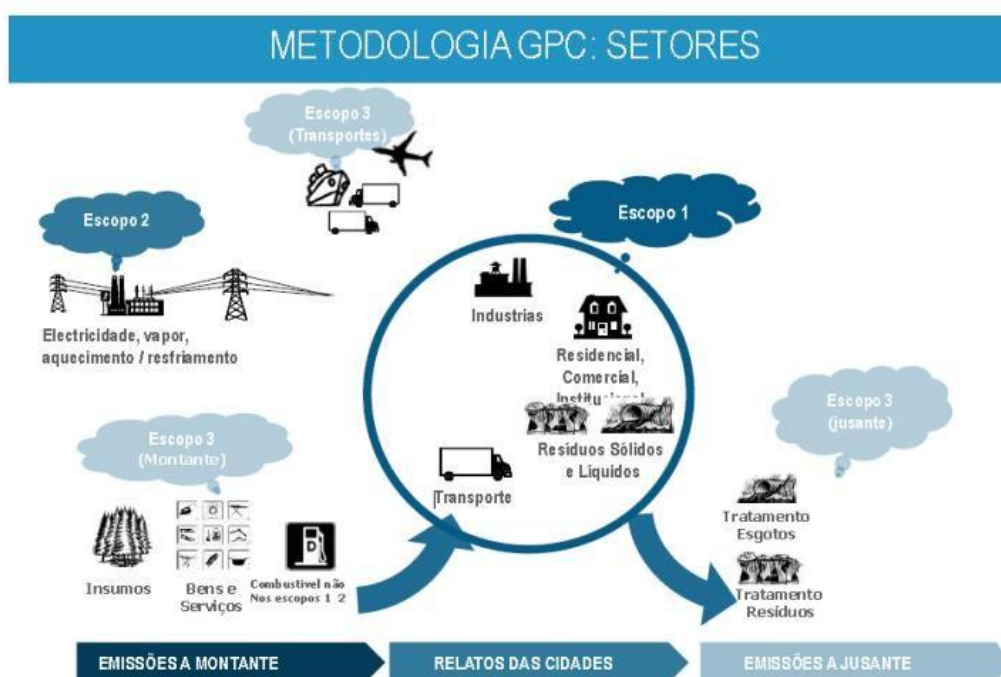
De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC), ao se utilizar a metodologia “*Top - down*” para calcular, principalmente do dióxido de carbono, é possível afirmar que a incerteza gira em torno de 5%, porcentagem essa devido a operação em si. Entretanto, quando se tenta calcular as emissões de CH₄ e N₂O essas incertezas podem chegar a 50% e 40% respectivamente, consequência dos fatores de emissão (IPCC, 2006).

Meotti (2019) utilizou-se do método “*Bottom-up*” para calcular as emissões gasosas veiculares em municípios da região metropolitana de Florianópolis. O autor verificou que a utilização do método “*Bottom-up*” requer um maior refino nos dados, necessitando do fluxo veicular via por via o que nem sempre é encontrado nas cidades brasileiras, o que acaba dificultando a aplicação do método. Ainda no estudo foi possível perceber que o autor desenvolveu uma comparação entre os dois métodos aconselhados pelo IPCC, “*Bottom-up*” e

“*Top-down*”, chegando a observar que em se tratando de alguns gases existe uma certa diferença ao quantificar a depender do método utilizado.

Logo, os modelos “*Top-down*” e “*Bottom-up*” são metodologias indicadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC) onde é necessário observar os dados existentes para saber qual modelo utilizar. Esses dados estão relacionados com o tipo de fonte emissora, ou seja, o escopo 1 refere-se as emissões diretas, o escopo 2 inclui as emissões indiretas relacionadas com a distribuição de energia e o escopo 3 decorrente das atividades que estão nas fronteiras das cidades (TOLEDO, 2019), como mostra a Figura 1:

Figura 01- Escopo para cálculo das emissões de GEE.



Fonte: Londrina (2017).

Roewer et al. (2015) realizaram estudos sobre a emissão de dióxido de carbono comparando a fonte de energia para veículos elétricos e os movidos a etanol. Para seu estudo os autores utilizaram a metodologia descritiva de Análise de Ciclo de Vida (ACV) que, segundo Ferreira (2014) “consiste em analisar os impactos ambientais de um determinado produto, desde a extração da matéria prima até os seus rejeitos”.

A avaliação do ciclo de vida pode ser compreendida em quatro principais etapas: 1- definição de objetivos e escopo; 2 – avaliação do inventário (LCI – life-cycle inventory); 3 – avaliação dos impactos do ciclo de vida (LCIA – life-cycle impact assessment); e 4 – interpretação dos resultados (FERREIRA, p. 71, 2014).

Basicamente essa metodologia se resume em tratar dados de forma observacionais e se utiliza dos métodos citados anteriormente para memória de cálculos. Onde, segundo o autor, necessita primeiramente delimitar os limites de estudo e depois calcular o consumo médio do combustível a partir do método “*Top-down*”.

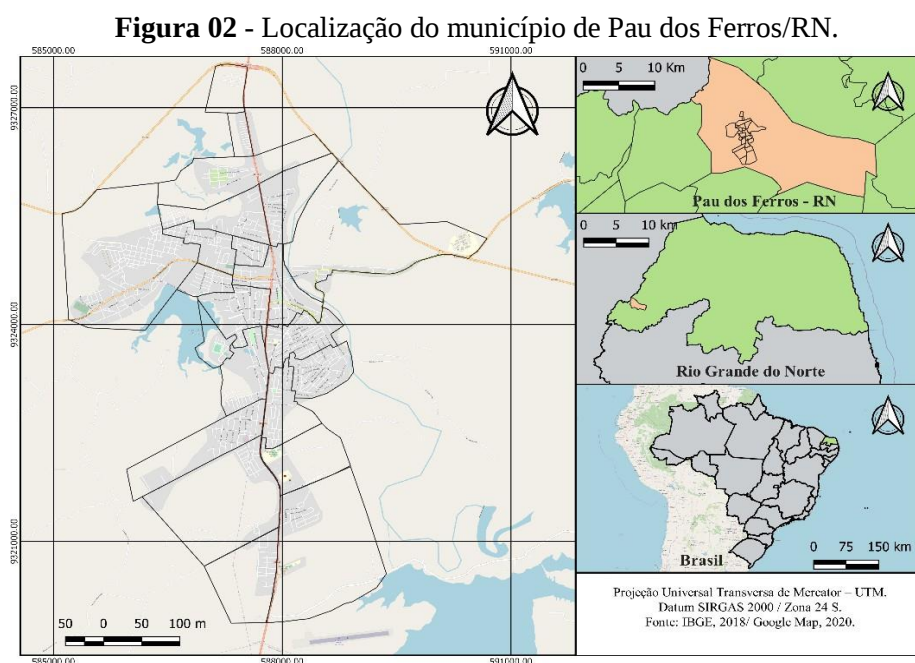
3 METODOLOGIA

Segundo Gil (2010), essa pesquisa pode ser classificada, quanto ao tipo, como aplicada, tendo em vista que objetiva resolver algo concreto, ou seja, detém uma finalidade prática. Quanto ao método optou-se por utilizar o método indutivo, tendo em vista que a análise parte de um problema particular até o geral.

Em termos de natureza esse estudo caracteriza por ser quali-quantitativo devido a dubiedade da pesquisa: onde uma etapa se preocupa em qualificar o fenômeno a ser estudo e a outra se detém em quantificar tal fenômeno. Já quanto aos níveis a pesquisa se encaixa como sendo explicativa pois, possui por natureza o objetivo de determinar os fatores ou causas que influenciam o acontecimento de determinados problemas (SILVA, 2014).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Pau dos Ferros está localizado no interior do Estado do Rio Grande do Norte, na mesorregião do Oeste Potiguar. Segundo o IBGE (2010), no último censo, a região contava com 27.745 habitantes e uma densidade demográfica de 106,7 hab/km², fazendo fronteira com os municípios de São Francisco do Oeste e Francisco Dantas a norte, Serrinha dos Pintos, Antônio Martins e Francisco Dantas a Leste, Encanto e Estado do Ceará a oeste (BEZERRA, 2016), como demonstrado na Figura 02.

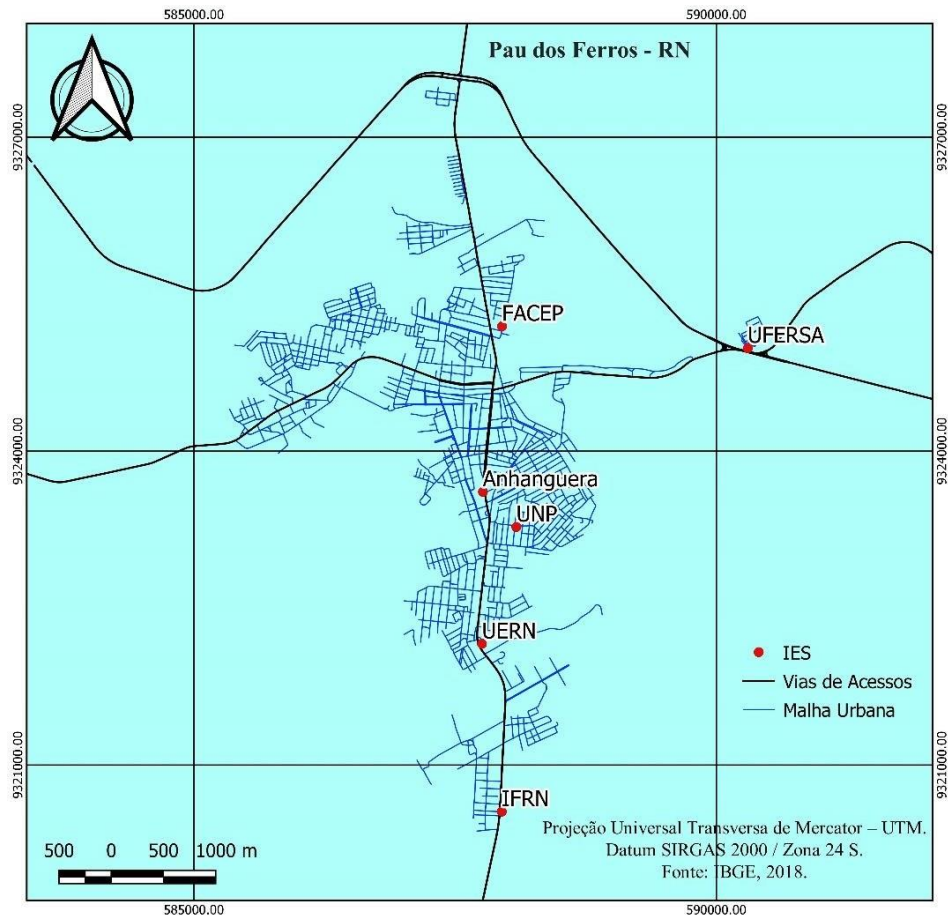


Fonte: Autor (2020).

Devido sua localização privilegiada, fronteiriça e no cruzamento das BR-405 com a BR-226, acaba tendo grande influência no desenvolvimento regional com grande expansão, principalmente, na educação de nível superior, possuindo grandes entidades como a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), o Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), a Faculdade Evolução Alto Oeste Potiguar (FACEP), Anhanguera, Universidade Potiguar (UNP), dentre outras, reforçando sua influência além das fronteiras do Rio Grande do Norte (DANTAS et. al., 2015; SOUTO et al., 2019).

A região em estudo tem crescido de maneira desordenada e sem observar os preceitos legais vigentes na Lei Federal 6766/1979 que versa sobre regras para o uso e a ocupação do solo onde é determinado o tipo de uso predominante a que um determinado loteamento se destina e as zonas de uso em uma referida área com as indicações dos tipos de utilização que são compatíveis (BRASIL, 1979). Todo esse desenvolvimento caótico acaba gerando um fluxo ainda maior de transportes nas avenidas principais da cidade (PEREIRA, 2018), principalmente no que diz respeito à prestação de serviço no setor educacional, como mostra a Figura 03.

Figura 03 - Localização das principais Instituições de Ensino Superior de Pau dos Ferros/RN .



Fonte: Autor (2020).

Logo, é possível perceber que as Instituições de Ensino citadas ficam nas regiões periféricas da cidade, porém, em locais distintos. Essa localização acaba gerando uma necessidade de locomoção, por parte dos transportes públicos educacionais, principalmente, os quais tem que se deslocar por toda a cidade para que os alunos advindos de outras cidades possam chegar as suas referidas instituições. Todo esse processo acaba resultando numa grande dispersão de poluentes na atmosfera comprometendo, assim, a qualidade do ar.

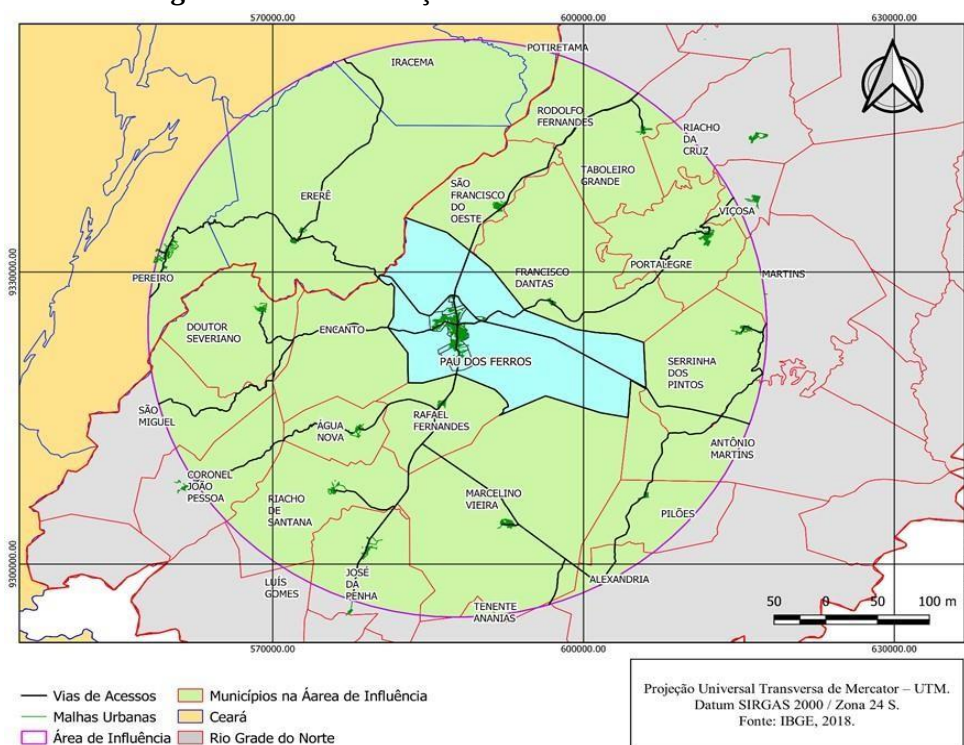
3.2 ÁREA DE INFLUÊNCIA

Por se tratar de uma cidade polo, como já mencionado anteriormente, a cidade de Pau dos Ferros é referência regional no que diz respeito a oferta de ensino superior público e privado. Dessa forma, inúmeros municípios da região disponibilizam transporte escolar para que os estudantes possam se deslocar de suas cidades até as instituições de ensino, em todos os horários nos dias úteis. Logo, o fluxo de traslado de tais veículos pelas cidades influencia na qualidade do ar da região.

Para esse estudo buscou-se verificar o quantitativo de transportes escolares que circulam em Pau dos Ferros e, também, os horários e rotas que esses automóveis transitam dentro do município. Dessa forma, optou-se por selecionar as cidades que estão distantes do centro de Pau dos Ferros em um raio de 30 km (em linha reta). Esse raio foi calculado de forma que abrange-se as cidades com maior influência no município e, também, englobar cidades pertencentes ao Estado do Ceará.

Nesses termos, as cidades que se situam em tal distância englobam: Água Nova, Coronel João Pessoa, Dr. Severiano, Encanto, José da Penha, Marcelino Vieira, Pilões, Portalegre, Riacho de Santana, São Francisco do Oeste, São Miguel, Serrinha dos Pintos, Tabuleiro Grande, Rodolfo Fernandes, Riacho da Cruz, Viçosa, Martins, Antônio Martins, Alexandria, Luiz Gomes, Rafael Fernandes e Tenente Ananias, sendo todas pertencentes ao Estado do Rio Grande do Norte, além de Ererê, Iracema, Potiretama e Pereiro que são pertencentes ao Estado do Ceará, como mostra a Figura 04.

Figura 04 – Determinação da área de influência do estudo.



Fonte: Autores (2020).

Vale frisar que todos os dados necessários para a realização da pesquisa foram coletados junto as Secretarias Municipais de Educação e Secretarias Municipais de Transportes dos respectivos municípios através de *e-mail* e, ainda, que esses dados foram coletados durante os meses de fevereiro a abril do ano de 2020.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

São inúmeras as metodologias que objetivam a quantificação de emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, sejam estas por meio de modelos matemáticos ou não. Desse modo, a metodologia a ser empregada vai depender do tipo de dados e qual análise o pesquisador tem interesse em produzir. Para fins de desenvolvimento do presente estudo optou-se por utilizar o método “*Top-down*” tendo em vista que esse é o método mais indicado para o desenvolvimento de estudos quantitativos referente às emissões de dióxido de carbono na atmosfera.

No estudo desenvolvido por Castro (2011) sobre as emissões de gases do efeito estufa entre 2000 e 2010 no estado da Paraíba, foram utilizadas as equações 3 (para converter as unidades em Joule) e 4 (para determinar o CO₂), ambas pertencentes ao método “*top-down*”, descritas a seguir:

$$C_E = C_C \cdot F_{\text{conv}} \cdot 45,87 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Onde,

C_E - Consumo de energia em TJ;

C_C - Consumo de combustível em m³;

F_{conv} - Fator de conversão de unidade física de medida do combustível para tEP (tonelada equivalente de petróleo).

$$E_{\text{CO}_2} = C_E \cdot F_{\text{emissCO}_2} \quad (4)$$

Onde,

E_{CO_2} - Emissão de dióxido de carbono em toneladas;

C_E - Consumo de energia em TJ;

F_{emiss} - Fator de emissão do carbono em tCO₂/TJ.

3.4 MÉTODO TOP-DOWN

Para contabilização da emissão de gases necessitou-se fazer uso de dados secundários disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2020) em uma escala macrorregional e, ainda, de valores de referências internacionais disponibilizados no banco de dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006). Ambos os dados nortearam o cálculo das emissões de CO₂ para o período compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2019 através da modelagem matemática. Assim, utilizou-se o *software Excel* para aplicar a equação da metodologia *Top-down* apresentada na Equação (5), como determina Leite e Almeida (2019).

$$CC = CA \cdot F_{\text{conv}} \cdot 45,2 \cdot 10^{-3} \cdot F_{\text{corr}} \quad (5)$$

Onde:

CC - Consumo de energia em TJ (Tera Joule)

CA - Consumo de combustível (m³, l, Kg)

F_{conv} - Fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP

F_{corr} - Fator de correção de PCS (poder calorífico superior) para PCI (poder calorífico inferior)

1 tEP - 45,2 x 10⁻³ TJ (Tera-Joule = 10¹² J)

Essa equação se torna necessário devido ao fato de que cada combustível utilizado detém um conteúdo energético diferente, por isso, é necessário transformar o Consumo Aparente (CA) de cada combustível a ser estudado para uma única unidade de medida que nesse caso é a Tera-Joule (TJ). Para tanto é necessário determinar o fator de conversão (F_{conv}) sendo que este é baseado no poder calorífico superior do combustível podendo ocorrer variações a cada ano o que vai depender do consumo de cada energia que é utilizada.

De acordo com os dados obtidos, os transportes escolares utilizam somente dois tipos de combustíveis, sendo eles, óleo diesel comum (S500) e o óleo diesel S10 (mistura de óleo diesel com 8% de biodiesel). Para determinar o fator de conversão do diesel comum utilizou-se o Balanço Energético Nacional do ano de 2020, ano base 2019, e para o diesel S10 foi determinado através de uma média ponderada entre os componentes principais de sua mistura,

onde os pesos foram suas devidas proporções (LIRA; VASCONCELOS, 2016), como mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Fatores de Conversão.

Combustível	Fator de Conversão tabelado BEM (F_{conv}) – tEP/m ³
Óleo Diesel Comum (S500)	0,848
Óleo Diesel S10	0,707

Fonte: Adaptado do Ministério de Minas e Energia (2020).

É importante frisar o que define o tipo de combustível utilizado é o ano de fabricação do motor. Dessa forma, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016), os motores até 2011 são abastecidos com o óleo diesel comum (S500), já aqueles produzidos a partir de 2012 utilizam o óleo diesel S10.

De acordo com o IPCC, o poder calorífico mais indicado para o cálculo de emissões de CO₂ é o inferior tendo em vista que as quantidades de carbono por unidade de energia são definidas levando em conta a energia efetivamente aproveitada pelo combustível. No Balanço Energético Nacional, o conteúdo energético teve como base o poder calorífico superior (PCS), porém para o IPCC, a conversão deve ser feita com base no poder calorífico inferior (PCI), logo a necessidade de incluir o fator de correção (F_{corr}) (LEITE; ALMEIDA, 2019).

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia, os fatores de correção são subdivididos a depender do estado físico que o combustível apresenta. Dessa forma, para combustíveis líquidos e sólidos o $F_{corr} = 0,95$ e para os gasosos o $F_{corr} = 0,90$. Para efeitos de cálculos, nesse estudo foi utilizado o $F_{corr} = 0,95$ devido as características físicas do combustível utilizado.

Por fim, o Consumo de Combustível (CA) foi determinado levando em consideração a quantidade de combustível necessária para o transporte realizar determinado trajeto em unidade de m³. Dessa maneira, utilizando o *Software Google Maps*, calculou-se o tempo gasto pelos transportes escolares para fazerem os seus respectivos percursos como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Rotas dos transportes públicos escolares no município de Pau dos Ferros/RN.

Nº Sequência	Rota	Distância (km)	Tempo
01	Divisa Pau dos Ferros/Encanto – FACEP – UFERSA – ANHANGUERA – UNP - UERN – IFRN	18,6	39 min.
02	Divisa Francisco Dantas/Pau dos Ferros – UFERSA – FACEP – ANHANGUERA – UNP - UERN – IFRN	10,3	26 min.
03	Divisa Ererê-CE/Pau dos Feros – UFERSA – FACEP – ANHANGUERA – UNP - UERN – IFRN	23,1	36 min.
04	Divisa Rafael Fernandes/Pau dos Ferros – IFRN – UERN – UNP – ANHANGUERA – UFERSA - FACEP	12,8	27 min.
05	Divisa São Francisco do Oeste/Pau dos Ferros – FACEP – UFERSA – ANHANGUERA - UNP – UERN - IFRN	15,6	36 min

Fonte: Autor (2020).

Após todas as transformações necessárias o resultado do produto entre esses valores foi determinado o consumo de energia (TJ) para cada um dos combustíveis utilizados, como as unidades são as mesmas prossegue-se o cálculo com a equação 6.

$$CC_{\text{Diesel comum}} + CC_{\text{Diesel S10}} = CC_{\text{Total}} \quad (6)$$

Agora, de posse do Consumo de Energia total foi necessário demonstrar esse dado em forma de conteúdo de carbono (QC), em toneladas de carbono (tC), o que é necessário devido a quantidade diferenciada de carbono que cada combustível detém (LIRA;

VASCONCELOS, 2016). Logo, para se determinar a quantidade de carbono emitida na queima do combustível, aplicou-se o resultado da equação (6) na equação (7) a seguir:

$$QC = CC_{\text{Total}} \cdot F_{\text{emiss}} \quad (7)$$

Da equação (7) o único termo desconhecido é o F_{emiss} que representa o fator de emissão de carbono. Esses fatores de emissão, segundo Leite e Almeida (2019), caso não haja dados locais, os fatores existentes no banco de dados do IPCC (2006) podem ser utilizados. Como ocorre com o fator de conversão, o fator de emissão deve ser calculado separadamente para cada tipo de combustível utilizado no estudo. Logo, como efetuado anteriormente, para o óleo diesel S10 adotou-se uma média ponderada devido a sua composição. Após determinar o valor de QC para cada um dos combustíveis utilizados foi necessário somá-los para obter o QC_{total} . Os valores estão dispostos na Tabela 3 em seguida.

Tabela 3: Fatores de Emissão.

Combustível	Fator de Emissão tabelado (F_{emiss}) – tC/TJ
Óleo Diesel Comum (S500)	20,2
Óleo Diesel S10	17,01

Fonte: Adaptado do IPCC (2006)

Leite e Almeida (2019) citam que ao utilizar a equação (7) se estar considerando que 100% do carbono foi liberado no momento da combustão. Logo, a quantidade de carbono (QC) corresponde ao lançamento do carbono total na atmosfera, sem haver nenhuma fração de carbono armazenada.

Por fim, as emissões de CO_2 foram determinadas a partir do produto entre o QC e 44/12. Essa multiplicação é necessária devido aos pesos moleculares do carbono e do dióxido de carbono, ou seja, 1tCO_2 equivale a 0,2727 tC (LIRA; VASCONCELOS, 2016). Assim, as emissões reais de dióxido de carbono foram ser determinadas a partir da equação (8).

$$ECO_2 = (QC \cdot \frac{44}{12}) \quad (7)$$

Onde,

ECO_2 – Emissões de CO_2

QC – Quantidade de carbono

3.5 ESTIMATIVA DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL PARA EMISSÕES DE CO₂

O método para determinar o poder de retenção de uma espécie arbórea deve-se levar em consideração a área basal da árvore, sua altura, densidade, o fator arbóreo de cada espécie a ser utilizada e o teor de carbono na biomassa (TANIZAK, 2004). Esse número pode ser expresso matematicamente através da Equação (8).

$$\text{Carbono na árvore} = AB \cdot H \cdot DB \cdot TC \cdot FFA \quad (8)$$

Onde,

AB – Área basal da árvore (m²)

H – Altura total da árvore (m)

DB – Densidade básica (kg/m³)

TC – Teor de carbono considerando em 50% da biomassa seca

FFA – Fator de forma arbórea

Para o cálculo da área basal necessitou-se, principalmente, determinar o diâmetro (m) da espécie que será utilizada para a compensação. Segundo Leite e De Almeida (2019), de posse desse dado aplica-o na Equação (9) a seguir.

$$AB = [(d^2) \times 2] \times \pi \quad (9)$$

Agora, na determinação da densidade básica é preciso levar em consideração a massa da madeira seca por volume da madeira fresca em quilograma por metro cúbico. Segundo Leite e De Almeida (2019), as árvores apresentam cerca de 50% de sua composição atribuída ao teor de carbono o que leva a considerar, para efeitos de cálculos, um coeficiente de 0,5 para a densidade.

Na determinação do fator de forma arbórea, segundo Nunnemkamp e Corte (2017), pelo fato das árvores não serem totalmente cilíndricas assemelhando-se a um cone, pode-se determinar o fator de forma como sendo constante assumindo o valor de 0,72. Seguidamente, após calculado a capacidade de absorção de carbono, basta efetuar o produto do resultado com 3,66 (relação molecular entre o carbono e o dióxido de carbono) para então determinar o total de CO₂ absorvido. Por fim, basta dividir o total de CO₂ emitido pelo absorvido e se terar a quantidade de árvores, conforme a Equação (10).

$$N = \frac{E_t}{F_f} \quad (9)$$

Onde,

N – Número de árvores;

E_t – Emissão total;

F_f – Fator de fixação.

3.6 MEDIDAS MITIGADORAS PARA CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES

No ano de 1986, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes na atmosfera por fontes móveis criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) que estabeleceu diretrizes, padrões e prazos legais de emissões veiculares (RODRIGUES, 2019).

Com o PROCONVE houve uma limitação de emissões de gases por veículos automotores fazendo com que esse poluentes fossem lançados cada vez mais na atmosfera com o passar dos anos. Logo, as montadoras tiveram de desenvolver novas tecnologias afim de cumprirem como a referida legislação. Como forma de controle o Programa está dividido em fases, fazendo com que os veículos mais novos emitam uma quantidade menor de poluentes (IBAMA, 2016).

Como novas tecnologias é possível mencionar o Sistema SCR que pode ser utilizado em motores a diesel, indústria, barcos e trens. Esse sistema funciona convertendo o Óxido de Nitrogênio (NO_x) em água e em nitrogênio sem óxidos permitindo, assim, que essa reação ocorra em um ambiente oxidante o que pode gerar uma redução de Óxido de Nitrogênio de até 90%. Essa reação ocorre a partir da injeção de um agente redutor líquido (ARLA – 32) no catalisador fazendo com que no final do processo seja encontrado poucas quantidades de nitrogênio, água e dióxido de carbono (GREENCHEM, 2017).

A utilização de biocombustíveis também é uma saída para a redução de poluentes atmosféricos. Como forma de promover a utilização desse tipo de combustível, o governo brasileiro criou a Lei Federal nº 13.263/2016 que estabelece metas para a utilização da mistura do biodiesel com o diesel comercial vendido no país. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2017) o óleo de soja é a matéria-prima mais utilizada no biodiesel brasileiro, representando cerca de 76% de sua produção em 2016.

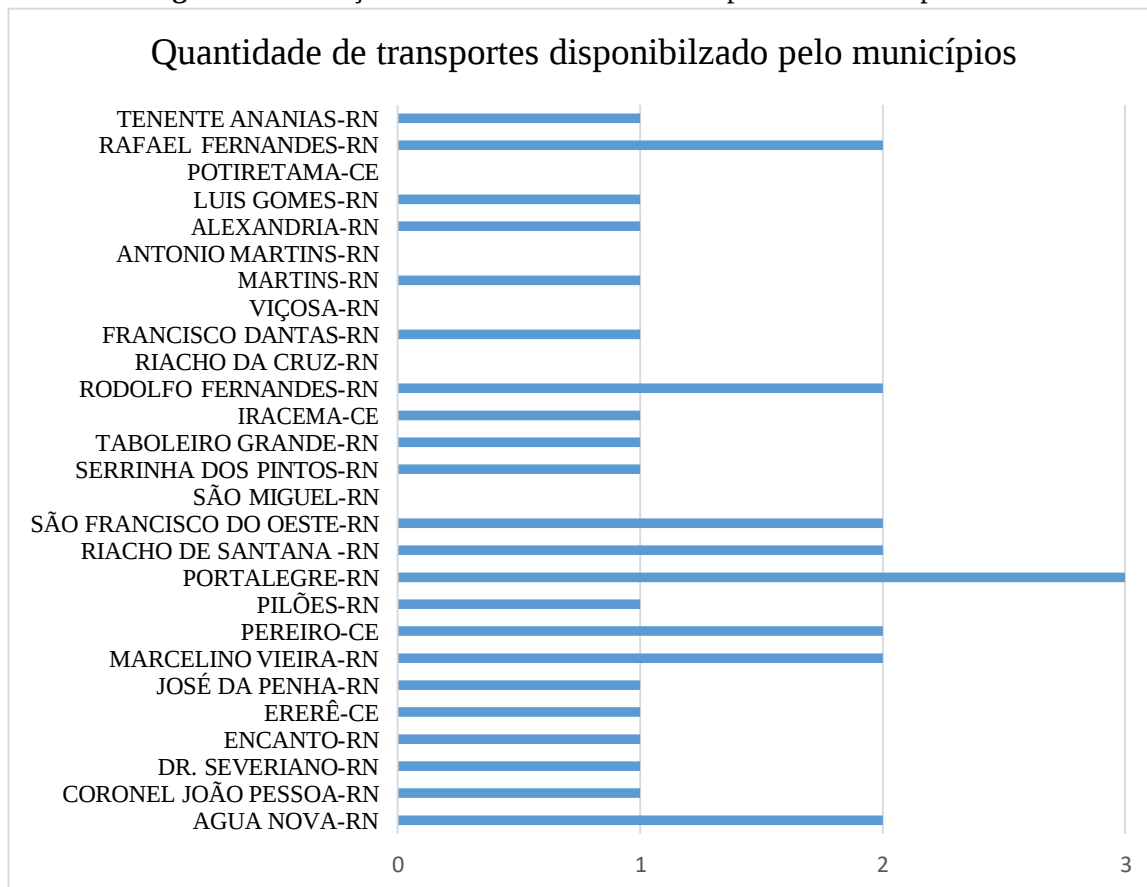
Outra forma de mitigação na fonte da emissão é a utilização do acionamento elétrico de emissão zero, sendo possível apenas em transportes elétricos que funcionam a partir de bateria. Esse tipo de ônibus oferece um grande potencial para uma redução considerada de poluentes atmosféricos, tendo em vista que não geram emissões no escapamento de dióxido de carbono fóssil, materiais particulados e óxido de nitrogênio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No município de Pau dos Ferros tem-se concentrado uma grande diversidade de serviços que atendem, praticamente, a todo a região do Alto Oeste Potiguar, inclusive cidades de outros estados como, por exemplo, Paraíba e Ceará. Dentre todos os serviços ofertados no município, a educação se torna um dos mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social da região o que é consequência da existência de inúmeras Instituições de Ensino Superior.

Devido essa disponibilidade de Instituições o município acaba recebendo uma grande quantidade de alunos de diversas cidades da região. Esse deslocamento, em sua grande maioria, é feito através de transporte público disponibilizado pelos municípios vizinhos a Pau dos Ferros. Logo, observou-se que a quantidade de transportes disponibilizados pelos municípios que estão dentro da área de estudo varia de 0 (zero) até 3 (três) ônibus e/ou micro-ônibus. A Figura 05 mostra a quantidade de ônibus/micro-ônibus que trafegam na cidade em estudo.

Figura 05 – Relação de cidade e número de transportes escolares públicos.



Fonte: Autor (2020).

É importante frisar que todos esses transportes são públicos o que acaba não gerando gastos para esses estudantes. Esse investimento tem grande importância social para essas pessoas tendo em vista que a maioria são de famílias de baixa renda e que frequentam o ensino superior público. Entretanto, percebe-se que alguns municípios não disponibiliza esse transporte.

Tendo em vista que as instituições de ensino superior funcionam os três turnos diariamente (manhã, tarde e noite), alguns municípios disponibilizam seus transportes de forma a atender todos esses turnos o que acaba resultando em um número diferenciado de rotas por cada transporte. Essa quantidade de turnos acaba aumentando, ainda mais, o fluxo desses transportes no município o que gera uma maior dispersão de poluentes e, também, um número maior de veículos trafegando nas vias.

Como forma de analisar esses impactos negativos ao meio ambiente, com ênfase na emissão de dióxido de carbono, foi necessária a determinação de alguns parâmetros particulares a cada um dos transportes escolares utilizados pelas cidades, tais como, o ano de fabricação de cada veículo, a quantidade de rotas que estes fazem de sua cidade de origem até as IES's, a quantidade de transporte utilizado e, ainda, o tipo de combustível utilizado. Todos esses dados foram compilados na Tabela 04 a seguir:

Tabela 04: Dados dos transportes escolares públicos dos municípios circunvizinhos a Pau dos Ferros/RN, em 2020.

Quant. de Transp.	Ano de Fabricação	Total de Rotas	Tipo de Combustível
01	2011	02	Óleo Diesel Comum
07	2012	10	Óleo Diesel S10
10	2014	15	Óleo Diesel S10
11	2018	15	Óleo Diesel S10
02	2019	01	Óleo Diesel S10

Fonte: Autor (2020).

Diante desses dados, percebe-se que a frota utilizada para o transporte dos estudantes é relativamente nova tendo em vista que dos 30 ônibus que fazem as rotas cerca de 36,7% são transportes fabricados no ano de 2018 e que já usam um combustível menos nocivo ao meio

ambiente, Diesel S10. Notou-se, ainda, que todos esses transportes realizam um total de 43 rotas diariamente sendo estas subdivididas entre os três turnos diários.

Para a determinação das emissões de CO₂, além dos dados retratados na Tabela 04, deve-se determinar o total de quilômetros percorridos pelos transportes em todas as rotas e, conseqüentemente, calcular a quantidade de combustível utilizado por estes para a realização desses percursos. Para determinar a quantidade de combustível utilizado foi preciso considerar que os ônibus utilizam 01 litro do combustível para percorrer aproximadamente 03 km, cerca de 2,66 km/l, já os micro-ônibus rodam cerca de 4,7 km/l (CADERNO TÉCNICO-ORE, 2017), como todos os municípios em estudo disponibilizam apenas ônibus para o transporte foi utilizado para efeito de cálculos o valor de 2,66 km/l. A Tabela 05 traz esses dados calculados necessários para a determinação das emissões.

Tabela 05: Dados dos transportes escolares públicos (quantidade de rotas, quilometragem, combustível utilizado) nas cidades circunvizinhas de Pau dos Ferros/RN.

Rota	Quant. de Transp./Rotas	Km Rodados (ida/volta)	Combustível utilizado (litros)	Combustível utilizado (m³)
01	07	260,4	97,89	0,09
02	09	185,4	69,70	0,07
03	03	138,6	52,10	0,05
04	16	409,6	153,98	0,15
05	08	249,6	93,83	0,09

Fonte: Autor (2020).

De posse de todos esses dados foi possível estimar as emissões de CO₂ feitas pelos transportes escolares na cidade de Pau dos Ferros. Para tanto, utilizou-se a equação (05) para efeitos de cálculos de acordo com Leite e Almeida (2019). Como metodologia de estudo foi calculada a emissão de acordo com cada rota e, ainda, com o ano de fabricação do veículo, tendo em vista que este é fator primordial para determinar o tipo de combustível utilizado.

Devido haver diferença no tipo de combustível usado, a Equação (5) foi utilizada duas vezes pois, de acordo com a Tabela 04, existe 01 ônibus com data de fabricação de 2011 que faz a rota pela cidade de São Francisco do Oeste duas vezes, abastecido com óleo diesel comum, e o restante dos transportes utilizados tem fabricação entre 2012 e 2019 que utilizam como combustível o óleo diesel S10. Logo, a Tabela 06 traz a quantidade de energia consumida em cada uma das rotas e combustíveis utilizados.

Tabela 06: Quantidades de energia consumida transportes escolares públicos (Tera Joule).

Rota	Tipo de Combustível	Valor do Consumo de Energia (Tj)
01	Óleo Diesel Comum	$7,28 \times 10^{-3}$ Tj
01	Óleo Diesel S10	$2,73 \times 10^{-3}$ Tj
02	Óleo Diesel S10	$2,12 \times 10^{-3}$ Tj
03	Óleo Diesel S10	$1,52 \times 10^{-3}$ Tj
04	Óleo Diesel S10	$4,55 \times 10^{-3}$ Tj
05	Óleo Diesel S10	$2,73 \times 10^{-3}$ Tj
Consumo de Energia Total		$20,93 \times 10^{-3}$ Tj

Fonte: Autor (2020).

Agora, com o consumo de energia dos combustíveis determinado, precisa-se calcular o conteúdo de carbono. Esse cálculo foi feito de acordo com cada combustível devido as emissões de CO₂ serem diferentes para cada um deles. Logo, esse conteúdo de carbono nada mais é do que o produto entre o consumo de energia total e o fator de emissão de carbono de cada um dos combustíveis. A Tabela 07 mostra os valores que foram encontrados.

Tabela 07: Determinação do conteúdo de carbono em cada combustível (tC).

Tipo de Combustível	Conteúdo de Carbono (tC)
Óleo Diesel Comum	$422,79 \times 10^{-3}$ tC
Óleo Diesel S10	$356,02 \times 10^{-3}$ tC
Conteúdo de Carbono Total	$778,81 \times 10^{-3}$ tC

Fonte: Autor (2020).

A determinação do conteúdo de carbono em cada combustível é fator indispensável para se delimitar a quantidade de dióxido de carbono que estar sendo emitida na atmosfera. Para isso, basta calcular o produto do QC_{Total} com o cociente entre o peso molecular do Carbono (12 g/mol) e o do Dióxido de Carbono (44 g/mol). Logo, chegou-se ao valor total de 2,85 tCO₂ emitidos, diariamente, pelos transportes escolares no município de estudo.

Levando em conta que esses transportes realizam suas rotas durante todos os dias do ano, considerando o mês com 20 (vinte) dias úteis e o ano com 12 (doze) meses, é possível

determinar as quantidades de dióxido de carbono que são emitidas mensalmente e anualmente, como mostra a Tabela 08 a seguir.

Tabela 08: Emissões total de dióxido de carbono proveniente dos transportes públicos.

DIA	MÊS	ANO
2,85 tCO ₂	57 tCO ₂	684 tCO ₂

Fonte: Autor (2020).

Dessa maneira, percebe-se que há uma quantidade de Dióxido de Carbono considerada sendo emitida na atmosfera do município em estudo, valendo ressaltar que aqui contabilizou-se apenas os transportes escolares vindo das cidades vizinhas. Esse resultado abre espaço para inúmeros debates sobre meios e formas de se amenizar os efeitos de tais emissões.

Logo, a redução efetiva das emissões de dióxido de carbono sempre são projetadas para um futuro distante devido a complexidade na implantação de projetos e, ainda, a resistência do setor produto e de serviços em tomar algumas precauções, tais como, reduzir a utilização de determinados produtos, fazer a manutenção periodicamente das frotas de veículos, dentre outras soluções.

Por esse fato é que muitas vezes não se consegue haver uma redução na emissão mas, procura-se compensar essas emissões através de outras formas como, por exemplo, a partir de projetos que envolvem o plantio de mudas de espécies que, futuramente, irão fazer o consumo de todo esse dióxido de carbono que está sendo emitido na atmosfera, processo este que também leva o nome de Carboneutralização (MMA, 2017).

Assim, como forma de compensação optou-se por utilizar uma simulação de plantio de árvores de espécies nativas da região objetivando equilibrar a quantidade de CO₂ emitida a partir dos transportes escolares durante um ano no município de estudo e o poder de fixação por essas plantas.

Para efeitos de cálculos considerou-se que todo o acumulado de emissões do ano será totalmente consumido pelas plantas durante o seu desenvolvimento, já que este é o período em que há uma maior fixação do dióxido de carbono (LEITE; DE ALMEIDA, 2019). Dessa forma, o quantitativo de árvores será determinada a partir do total de tCO₂ emitido e o seu consumo durante o desenvolvimento da biomassa.

Optou-se por utilizar na simulação a planta nativa da região semiárida *Schinus terebinthifolius* Raddi, mais conhecida como Aroeira. Essa planta foi escolhida pelo seu

potencial de arborização tendo em vista seus frutos e flores avermelhadas, o que atrai animais, além de seu aroma agradável (COSTA, 2020). A Tabela 09 mostra as características da espécie escolhida em sua fase de desenvolvimento.

Tabela 09: Características da *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira).

Densidade (g/cm ³)	Altura (m)	Diâmetro (cm)	AB	DB (kg/m ³)	TC	FFA	Total de C.	Absorção tCO ₂
1,11	13	43	1,35	1100	0,5	0,72	6.949,80	25,44

Fonte: Adaptado de Leite e De Almeida (2019).

Agora, aplicando o valor encontrado para a absorção total de toneladas de CO₂ na equação (9) pode-se afirmar que seriam necessário cerca de 27 mudas de plantas, já com um desenvolvimento considerável, para conseguir consumir o todo o dióxido de carbono emitido em um ano pelos transportes públicos no município de Pau dos Ferros. Como, considera-se uma perda no desenvolvimento dessas plantas de 20% (LEITE & DE ALMEIDA, 2019), para alcançar o objetivo seria necessário o plantio de 33 mudas.

Como o crescimento dessas plantas ocorre de forma lenta e as emissões com o passar dos anos só aumentam, ocorre a necessidade de tentar reduzir essas emissões diretamente na fonte. Uma das saídas é o investimento em ônibus mais novos que utilizem biocombustíveis, já que estes poluem menos devido à mistura que há no óleo diesel comum e, ainda, o Governo Federal incentiva os municípios a adquirirem esses transportes.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se uma estimativa das emissões de dióxido de carbono por transportes públicos escolares no município de Pau dos Ferros. Para a contabilização foi utilizado método *Top-down* devido as características do poluente que se estudou. Na contabilização dos transportes levou-se em consideração a frota de ônibus e micro-ônibus que viajavam todos os dias, das cidades englobadas em um raio de 30 km, para o município de Pau dos Ferros.

Logo, foi possível perceber que a maioria dos transportes utilizam biocombustíveis o que reduz as emissões de poluentes na atmosfera. Essa utilização de combustível estar diretamente ligada ao ano de fabricação dos ônibus, no estudo observou-se que dos 31 transportes apenas 01 tem fabricação anterior a 2012, o que caracteriza a utilização de óleo diesel comum.

Assim, notou-se que todos esses ônibus percorrem 86 vezes as rotas, desde a saída de suas cidades até passar por todas as instituições de ensino da cidade de Pau dos Ferros, o que acaba gerando uma emissão anual de 684 toneladas de dióxido de carbono no ar da cidade.

Como forma de mitigação, a longo prazo, determinou-se a implantação de projetos voltados para a plantação de árvores que sejam nativas da região. Como exemplo utilizou-se a Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) pois, além de ter uma boa fixação ainda serve como planta ornamental para a cidade. Assim, verificou-se que seria necessário cerca de 33 plantas em fase de desenvolvimento para fazer a captura de todo esse poluente emitido.

Além disso, observou-se a necessidade de redução da emissão na fonte e para isso a implementação de novas tecnologias são a saída mais rápida, porém onerosa, pois há necessidade da troca da frota veicular por automóveis mais novos, quando não possível essa substituição a saída está em investir na implantação de tecnologias no sistema mecânico nos ônibus.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Anderson Soares de et al. Hidrogênio, o combustível do futuro. **Diversitas Journal**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 356-366, 2 jun. 2019. Galoa Events Proceedings. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i2.593>

BARBOSA, Henrique Cesar Gallina. **Fluxos de Dióxido de Carbono em Região de Cerrado na Baixada Cuiabana**. Múltiplos olhares sobre o meio ambiente e sustentabilidade. Volume 1 / Jonathan Willian Zangeski, Osvaldo Borges Pinto Junior (organizadores). – Londrina: UNOPAR Editora, 2019.

BEZERRA, Josué Alencar. **A CIDADE E REGIÃO DE PAU DOS FERROS**: por uma geografia da distância em uma rede urbana interiorizada. 2016. 429 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: http://www.uece.br/mag/dmdocuments/josue_alencar_bezerra.pdf. Acesso em: 25 abr. 2020.

BRASIL. **1º Inventário Nacional De Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários**. Disponível em: http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/5632/1_Inventario_Nacional_de_Emissoes_Atmosfericas_por_Veiculos_Automotores_Rodoviaros.html. Acesso em 20/02/2018. 2.

_____. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. . **Informações sobre o diesel S10**. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/acesso-a-gasodutos/2-uncategorised/688-informacoes-sobre-o-diesel-s10>. Acesso em: 11 jun. 2020.

_____. Lei Nº 6.766, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1979. Parcelamento do Solo Urbano.

_____. Decreto n. 6.768 de 10 de fevereiro de 2009. **Disciplina o Programa caminho da Escola**. Brasília, DF, fevereiro de 2009.

_____. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 18 maio 2020.

_____. **Sistemas & Gestão**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 483-491, 20 jan. 2020. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n4.1596>.

BRANDÃO, Paulo Victor Rocha; ALBUQUERQUE, Édler Lins de; FIALHO, Rosana Lopes Lima. Estudo comparativo entre as metodologias para realização de inventários de emissão de gases poluentes por fontes automotoras: CETESB x Ministério do Meio Ambiente. **Braz. J. Of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 25544-25554, maio 2020. Disponível em: <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/9717>. Acesso em: 06 maio 2020.

CAMPOS, Layla Marcella Barsanuf. **EFICIÊNCIA DO PROGRAMA CAMINHO DA ESCOLA NA REDUÇÃO DA TAXA DE ABANDONO ESCOLAR NOS MUNICÍPIOS**

RURAIS DO BRASIL. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CARNEIRO JÚNIOR, João Bosco Arbués; EDUARDO, Antonio Sérgio; SOUZA, Celso Correia. ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO² E O NÚMERO DE INTERNAÇÕES EM FUNÇÃO DE PROBLEMAS RESPIRATÓRIOS: um estudo aplicado ao município de campo grande - ms. : UM ESTUDO APLICADO AO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE - MS. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 2019, Campo Grande. **Anais**. Campo Grande: Kroton, 2019. p. 1-5. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/24492/1/UNIDERP%20-%20Jo%C3%A3o%20Bosco%20Arbu%C3%A9s%20Carneiro%20Junior.pdf>. Acesso em: 24 maio 2020.

CARVALHO, Willer Luciano; LEITE, Poliana de Sousa; NASCIMENTO, Heitor Pereira. O PROCESSO EVOLUTIVO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL BRASILEIRO NO MODO RODOVIÁRIO. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 118-127, 17 nov. 2016. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i1.42400>.

CASTRO, Hérculys Pessoa e. **Inventário de emissões de dióxido de carbono produzido por veículos automotivos no estado da Paraíba durante os últimos 11 anos**. 2011. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2011, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.

CONAMA. Resolução nº 18, de 06 de maio de 1986. **Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 07 de maio de 1986. Seção 1, p. 8792-8795.

DAPPER, Steffani Nikoli; SPOHR, Caroline; ZANINI, Roselaine Ruviaro. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 83-97, 2016.

DA SILVA, Fernanda Marques; DE AGUIAR, Mariana Mostardeiro; FARIAS, Maria Eloísa. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUAS IMPLICAÇÕES: TRABALHANDO EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM ALUNOS DO 6º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 11, n. 2, p. 173-189, 2020.

DE QUEIROZ DANTAS, Joseney Rodrigues; CLEMENTINO, Maria do Livramento Miranda; DE FRANÇA, Rosana Silva. A cidade média interiorizada: Pau dos Ferros no desenvolvimento regional. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 11, n. 23, p. 129-148, 2015.

DENATRAM. **Frota de Veículos**. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/duvidas-gerais/115-portal-denatran/9484-frota-de-ve%C3%ADculos-2020.html>. Acesso em: 09 maio 2020.

DERÍSIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017, 230 p.

DRUMM, Fernanda Caroline et al. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PROVENIENTE DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DO PETRÓLEO EM VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 66-78, 7 abr. 2014. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010537>.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**: Relatório Síntese, ano base 2017. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018. 62 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 23 maio 2020.

ESTEVES, Rafael Alves; PEREIRA, Roberto Guimarães. Análise sobre a Evolução do Biodiesel no Brasil. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 02) Ano 2016**, 2016.

EULER, Ana Margarida Castro. O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil. **Embrapa Amapá-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2016.

FEIGIN, Valery L. et al. Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. **The Lancet Neurology**, v. 15, n. 9, p. 913-924, 2016.

FERREIRA, Fabiano de Jesus; BRANDÃO, Elias Canuto. FECHAMENTO DE ESCOLAS DO CAMPO NO BRASIL E O TRANSPORTE ESCOLAR ENTRE 1990 E 2010: na contramão da educação do campo. **Imagens da Educação**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 76-86, 2017. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/imagenseduc.v7i2.36910>. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ImagensEduc/article/view/36910/pdf>. Acesso em: 24 maio 2020.

FIALHO, R. C. (2016). Gases de efeito estufa, dinâmica de raízes finas e de carbono em solos de florestas plantadas de eucalipto. (Tese de doutorado) – Univerdidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

FIORESE, Caio Henrique Ungarato et al. Desenvolvimento urbano como ferramenta de dissipação de gases poluentes da atmosfera emitidos por veículos automotores em 2015 no município de Castelo, ES. **Braz. J. Of Develop**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1402-14011, fev. 2019. Disponível em: <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1116/964>. Acesso em: 25 maio 2020.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco; FERREIRA, Renata Marques. A TUTELA JURÍDICA DA SAÚDE AMBIENTAL EM FACE DOS RUÍDOS NO ÂMBITO DO MEIO AMBIENTE ARTIFICIAL. **Rjbl**, Sl, v. 6, n. 1, p. 831-861, jan. 2020. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2020/1/2020_01_0831_0861.pdf. Acesso em: 15 maio 2020. FNDE. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Sobre o Caminho da Escola**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/>. Acesso em: 11 maio 2020.

_____. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Portal FNDE**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/pnate> . Acesso em: 12 maio 2020.

FURTADO, Maria Inês Vasconcellos; FURTADO, Rafaela Campos. Estudo avaliativo da emissão de CO₂ a partir de combustíveis fósseis utilizando Redes Neurais. **Conhecimento & Diversidade**, v. 11, n. 25, 2020.

GENTIL, Rafaelli Freire Costa. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO TRANSPORTE ESCOLAR PARA ALUNOS DE UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO**. 2016. 266 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25288>. Acesso em: 20 maio 2020.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDEMBERG, José. Energia e Sustentabilidade. **Revista de Cultura e Extensão USP**, v. 14, p. 33-43, 2015.

GREENCHEM. **What is an SCR system?**, 2017 . Disponível em: <https://www.greenchemadblue.com/scr-system/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

IBAMA. **Programa de controle de déficit veicular (proconve)**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoesveiculares-proconve>. Acesso em: 18 nov. 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2020.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate. 2007 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.html>, 2006. Acesso em 11 jun. 2020.

_____. - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Climatic Change 2019: Synthesis Report.

KOYTSOUMPA, Efthymia Ioanna; BERGINS, Christian; KAKARAS, Emmanouil. The CO₂ economy: Review of CO₂ capture and reuse technologies. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 132, p. 3-16, 2018.

LATTANZI, Iasmim Esteves. **Modelagem da geração de biogás aplicando metodologia CDM para redução de emissões de gases de efeito estufa**—estudo de caso do aterro MTR Santa Maria Madalena, RJ, Brasil. 2019.

LEITE, Adriana de Oliveira Sousa; DE ALMEIDA, Nícolas Gonçalves Paes. Modelagem do potencial das emissões atmosféricas em relação a combustão proveniente da frota veicular de Fortaleza. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 14, n. 8, 2019.

LIMA, Émile Rocha de. **Consórcio de cártamo e feijão caupi: alternativa para a produção de biodiesel na agricultura familiar**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LIRA, Walleci Gabeu; VASCONCELOS, Claudio Ruy Portela de. ESTIMATIVA E ANÁLISE DA COMPENSAÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂ DA FROTA DE VEÍCULOS OFICIAL DA UFPB ATRAVÉS DO PLANTIO DE MUDAS DE ESPÉCIES NATIVAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: Abepro, 2016. p. 1-8. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_316_30864.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

LOPES, André Inacio Silva. OS PARÂMETROS DO TRANSPORTE ESCOLAR NO RIO GRANDE DO SUL, UMA ANÁLISE DOS JULGADOS PELO TRIBUNAL DE JUSTIÇA. **Seminário Internacional Demandas Sociais e Políticas Públicas na Sociedade Contemporânea**, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Energia. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim dos Biocombustíveis, nº 110, jul./ ago. 2017**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/Boletim+DBio+n%C2%BA+110+jul-ago+de+2017.pdf/e85a585c-10c7-4efc-bb8e1779604f7487>. Acesso em 12 nov. 2020.

NARDINO, Maicon; RIBES, Jorge; CORREA, Elisia R.; QUADROS, Régis S.; BARROS, Willian S.; BUSKE, Daniela. **Caracterização de Modelos para a Predição de Poluentes Atmosféricos**. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 7., 2016, Porto Alegre. Anais do VII Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, jan. 2020. p. 11-19. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2016.9544>.

NAVARRO, Anna Carolina; CONSONI, Flavia. As Zonas de Baixa Emissão nas Cidades. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 50-63, 20 dez. 2019. Revista Políticas Publicas e Cidades. <http://dx.doi.org/10.23900/2359-1552v8n4-5-1-2019>.

NEVES, Lana Karla Duques; MESQUITA, Maria Cristina das Graças Dutra. Política de Financiamento do Transporte Escolar na Educação Básica:: um estudo do custo/aluno/transporte escolar em goiás. : um estudo do custo/aluno/transporte escolar em Goiás. **Revista de Financiamento da Educação**, Goiania, v. 10, n. 12, p. 1-18, 20 maio 2020.

UNNENKAMP, Christian Horst; CORTE, Ana Paula dalla. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E PROPOSTA DE PROJETO PARA COMPENSAÇÃO: um estudo de caso e-commerce. **Biofix Scientific Journal**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 69-77, 31 maio 2017. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i1.51086>.

OLIVEIRA, Aline Macedo de. **Caracterização de profundidade óptica de aerossóis atmosféricos no nordeste brasileiro**: um estudo através do sistema de modelagem EURAD-IM com assimilação de dados. 2019.

OLIVEIRA, Vivian Tomaz de; SOUZA, Fernando Machado de. **Efetivação das políticas públicas no Brasil como meio de universalização do direito fundamental à educação básica**. 2016. Disponível em:<

<https://periodicosonline.uems.br/index.php/RJDSJ/article/download/969/892> >. Acesso em 20 de maio de 2020.

PINTO, W. de P. et. al. Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos geradas por veículos leves em Santa Maria de Jetibá, ES. **Revista Ciência e Natura**, vol. 38, s.n., p.337-341, 2016.

POMPELLI, Marcelo Francisco et al. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2011.

ROCHEDO, Pedro RR et al. The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 695-698, 2018.

ROEWER, Daniele et al. Estudo comparativo da emissão de CO2 equivalente das fontes de energia de veículos elétricos e movidos a etanol. In: **Trabalho apresentado no XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Ouro Preto**.

RODRIGUES, Fabiana Passos. DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES GERADOS A PARTIR DA COMBUSTÃO DO GÁS NATURAL. **Revista Científica UMC**, v. 4, n. 3, 2019.

RODRIGUES, Glauco Oliveira et al. DINÂMICA DE SISTEMAS PARA AVALIAR O IMPACTO AMBIENTAL DOS QUATRO VEÍCULOS MAIS COMERCIALIZADOS, EM 2018, NO BRASIL. **Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, [s.l.], v. 8, n. 13, p. 103-113, dez. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina.
<http://dx.doi.org/10.5965/2316419008112019103>.

RODRIGUES, Robson Pereira; SOUZA, José Eduardo Silva; TAMBOR, José Humberto Machado. AS CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO: SUAS APLICAÇÕES NO SISTEMA ENERGÉTICO GLOBAL EM EQUILÍBRIO COM O MEIO AMBIENTE. **Brasil Para Todos-Revista Internacional**, v. 7, n. 1, p. 21-34, 2019.

RODRIGUES, Eduardo. **MANUTENÇÃO E EFICÁCIA DO SISTEMA SCR PARA REDUZIR OS NÍVEIS DE EMISSÃO DE POLUENTES, PROVENIENTES DE MOTORES A DIESEL**. 2019. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2019

SANTOS, Guilherme Cancelier dos; AQUINO, Thiago Fernandes de; WATZKO, Elise Sommer. CONFIGURAÇÃO INDICADA PARA UMA PLANTA DE CAPTURA DE CO2 PARA UNIDADES TERMOELÉTRICAS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 9, p. 387, 21 fev. 2020. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL.
<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020387-402>.

SANTOS, Antonio Carlos; ALVES, Larissa da Silva Ferreira. PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS - RN: análise da tendência de valorização fundiária do bairro são geraldo: ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE VALORIZAÇÃO FUNDIÁRIA DO BAIRRO SÃO GERALDO. **Boletim de Geografia**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 73, 16 dez. 2015. Universidade Estadual de Maringa.
<http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i2.20349>.

SERENO, Luiz Gustavo Fernandes; ANDRADE, Daniel Caixeta. PERFIL REGIONAL E SETORIAL DAS EMISSÕES BRASILEIRAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA ENTRE 1990 E 2017. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 1, p. 22-46, 22 fev. 2020. Disponível em: <https://redibec.org/ojs/index.php/revibec/issue/view/32>. Acesso em: 09 jun. 2020.

SHI, Kaifang et al. Spatiotemporal variations of CO₂ emissions and their impact factors in China : A comparative analysis between the provincial and prefectural levels. **Applied Energy**, v. 233 –234, n. March 2018, p. 170 –181, 2019

SILVA, Raimunda Adlany Dias et al. O semiárido no contexto energético: mitigação da emissão de gases do efeito estufa: mitigação da emissão de gases do efeito estufa. **Brazilian Journal Of Development**, [s.l.], v. 5, n. 12, p. 32725-32739, dez. 2019. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n12-332>.

SILVA, Alan Ricardo da; YAMASHITA, Yaeko. **Modelo de distribuição de recursos para o transporte escolar rural a partir dos princípios da igualdade e da equidade**. Transportes, São Carlos, v. XVIII, n. 3, p. 88-96, set. 2013. Disponível em: <https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/455/362> . Acesso em: 22 maio 2020

SILVA, Antônio João Hocayen da. **Metodologia de pesquisa**: conceitos gerais. 2014.

SOUSA, Francisco Santana; ZUCCO, Alba. Indicador de desenvolvimento de ecoeficiência das empresas listadas no índice de carbono eficiente da bolsa de valores, mercadorias e futuros de São Paulo. **Brazilian Journal Of Business**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 1115-1139, 2020. Brazilian Journal of Business. <http://dx.doi.org/10.34140/bjbv2n2-020>.

SOUTO, Lucas Valente; DE SOUSA JÚNIOR, Almir Mariano; DO O'DE LIMA JÚNIOR, Francisco. ECONOMIA E ASPECTOS DA URBANIZAÇÃO NA MICRORREGIÃO DE PAU DOS FERROS, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 5, n. 2, p. 182-198, 2019.

TANIZAKI, K. F. **Reducing Uncertainties of Carbon Stock in Tropical Forest**. In: **4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries, 2004**, Búzios. Anais do 4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries, 2004.

TAVARES, Joana Marina Silveira. **Política de transporte escolar e nucleação de escolas do campo**: determinações gerais e especificidades na educação do município de Inhapi - al (2010 - 2017). 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

TESTA, J. F. A poluição atmosférica por veículos automotores na Região Metropolitana de São Paulo: causas e impactos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1209–1221, 2015

VITAL, Marcos Henrique Figueiredo. **Aquecimento global**: acordos internacionais, emissões de CO₂ e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. BNDES Set., Rio de Janeiro, vol. 24, n. 48, p. 167-244, set. 2018.

XAVIER, Jordana dos Anjos; BECEGATO, Valter Antonio; BAUM, Camila Angélica; ROSINI, Daniely Neckel; DALALIBERA, Amanda; DUMINELLI, Eduardo; HENKES, Jairo Afonso; FACCIONI FILHO, Mauro. AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR ORIGINADA POR VEÍCULOS AUTOMOTORES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE LAGES-SC. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 149, 4 abr. 2019. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL.
<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019149-182>. Disponível em:
http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7399. Acesso em: 18 maio 2020.