UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE MALEGNE DE MENEZES

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO SOBRE AS LOCOMOTIVAS DO EXPRESSO TURÍSTICO DA COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS.

CURITIBA

2020

FELIPE MALEGNE DE MENEZES

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa: um estudo sobre as locomotivas do Expresso Turístico da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos.

Relatório Técnico apresentado como requisito parcial à conclusão do MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis do PECCA – Programa de Educação Continuada, Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Bruna Nascimento de Vasconcellos

CURITIBA

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Universo, que me deu forças para concluir esta etapa de forma satisfatória, me fornecendo energia para que eu pudesse conciliar as rotinas acadêmicas com as profissionais e pessoais, me proporcionando condições para dar continuidade à minha jornada.

Ao corpo docente e funcionários da Universidade Federal do Paraná, que foram fundamentais no processo de aprendizado, sendo notória sua dedicação, comprometimento e disponibilidade, com valiosos ensinamentos, ricos materiais e sobretudo atenção aos alunos que, no geral, encontravam-se fisicamente distantes.

Agradeço especialmente a minha orientadora Bruna, cuja dedicação e paciência serviram como pilares de sustentação para a conclusão deste projeto.

Aos meus pais Eduardo e Luciane, meus maiores e melhores orientadores na vida, aos meus irmãos, Eduardo e Lucas, minhas sobrinhas Lara e Luna, e demais familiares.

À Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, em especial aos funcionários do Departamento de Operação e Circulação, sendo, engenheiros, supervisores de tração e maquinistas, pois poder contar com a boa vontade e o conhecimento destas pessoas foi essencial para o êxito deste projeto.

Agradeço também aos meus amigos, grandes companheiros de jornada, em especial, Luís Fernando Pinheiro, Athos Teodoro e Rafael Fabre, pelo excepcional apoio e incentivo que me deram durante a pesquisa.

Por fim, agradeço a minha amiga, companheira e parceira de jornada Francielly Yamamoto, pelo apoio incondicional oferecido em todos os aspectos, que foi capaz de suportar meus momentos de drama e estresse durante o processo, por me incentivar todos os dias, me motivar a manter o foco. Grato pela sua compreensão com a minha ausência. Muito obrigado por fazer parte da minha vida.

“Estamos irrevogavelmente em um caminho que nos levará às estrelas. A não ser que, por uma monstruosa capitulação ao egoísmo e à estupidez, acabemos nos destruindo” (CARL SAGAN).

Inventário de Emissões de GEE: um estudo sobre as locomotivas do Expresso Turístico da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi elaborar um inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE), da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), provenientes da queima de combustível dos motores das locomotivas *diesel*-elétricas do tipo ALCO RS-3, nos serviços prestados do Expresso Turístico, para o ano de 2019. Para isto, foi realizado um levantamento de dados de consumo de *diesel* destes veículos, através de uma estimativa baseada em medições, que permitiu a realização de cálculos, de modo a obter o consumo total deste combustível, para esta finalidade, no ano em questão. Através destes dados, foi possível confrontar os valores calculados de tCO_{2e} baseados no IPCC, com os dados aferidos através das ferramentas de cálculo GHG *Protocol* v2019.3 e IPCC *Inventory Software*. O trabalho propõe ainda, alternativas de compensação de modo a mitigar os impactos causados pela emissão de GEE, sendo as alternativas analisadas, o plantio de árvores nativas e a compra de créditos de carbono. O inventário de emissões está limitado ao escopo 1 do GHG *Protocol*, para combustão móvel, e contabiliza somente o *diesel* utilizado nas locomotivas prestando os serviços turísticos, excluindo-se o consumo destas em outras atividades, bem como outros veículos.

Palavras-chave: Inventário de Emissões de gases de efeito estufa. Medidas de Compensação. Locomotivas *diesel*-elétrica. Turismo Ferroviário.

ABSTRACT

The objective of this work was to elaborate an inventory of greenhouse gas emissions (GHG), of the Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), from the engine fuel burning from diesel-electric locomotives of type ALCO RS-3, in the services Expresso Turístico, for the year 2019. For this, a survey of diesel consumption data of these vehicles was made, through an estimate based on measurements, which allowed to perform calculations in order to obtain the total consumption of this vehicle fuel for this purpose in the year in question. Through these data, it was possible to compare the calculated values of tCO_{2e} based on the IPCC with the data measured by the GHG Protocol v2019.3 calculation tool and IPCC *Inventory Software*. The work also proposes offset alternatives in order to mitigate the impacts caused by GHG emissions, being the alternatives analyzed, the planting of native trees and the purchase of carbon credits. Emissions inventory is limited to scope 1 of the GHG Protocol for mobile combustion and includes only diesel used in locomotives providing tourist services, excluding their consumption in other activities as well as other vehicles.

Keywords: Inventory of greenhouse gas emissions. Compensation Measures. Diesel-electric locomotives. Rail tourism.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – HISTÓRICO DA FERROVIA EM SÃO PAULO 14
FIGURA 2 - COMPONENTES DE UMA LOCOMOTIVA *DIESEL*-ELÉTRICA 17
FIGURA 3 - LOCOMOTIVA ALCO RS-3 NO EXPRESSO TURÍSTICO 18
FIGURA 4 - DETALHAMENTO DOS ESCOPOS DO GHG *PROTOCOL* 21
FIGURA 5 – FERRAMENTA GHG *PROTOCOL* V.2019.3 33
FIGURA 6 – FERRAMENTA IPCC *INVENTORY SOFTWARE* 34
FIGURA 7 – COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO *DIESEL* AO CONSUMIDOR 37
FIGURA 8 – SIMULAÇÃO DE CUSTO NO PLANTIO DE MUDAS 38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VIAGENS DO EXPRESSO TURÍSTICO EM 2019 30
TABELA 2 - FATORES DE EMISSÕES DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL - GHG 32
TABELA 3 - INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE - GHG..... 32
TABELA 4 - FATORES DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA - IPCC 34
TABELA 5 - INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE - IPCC 34
TABELA 6 – COMPARATIVO ENTRE FERRAMENTAS 35

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABPF	- Associação Brasileira de Preservação Ferroviária
ALCO	- *American Locomotive Company*
ANP	- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN	- Balanço Energético Nacional
BM&F BOVESPA	- Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo
CBTU	- Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CFCs	- Clorofluorcarbonos
CH_4	- Metano
CO_2	- Dióxido de Carbono
CRE	- Certificado de Redução de Emissões
CPTM	- Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
EFSJ	- Estrada de Ferro Santos-Jundiaí
FEPASA	- Ferrovia Paulista S/A
Ff	- Fator de Fixação de Carbono em Biomassa
GE	- *General Electric*
GEE	- Gases de Efeito Estufa
GgC	- Giga Grama de Carbono
GHG *Protocol*	- *Greenhouse Gas Protocol*
ha	- Hectare
HFCs	- Hexafluoreto de Enxofre
IMA	- Incremento Médio Anual
IPCC	- *Intergovernmental Panel on Climate Changes*
IPHAN	- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LULUCF	- *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MLW	- *Montreal Locomotive Works*
MME	- Ministério de Minas e Energia
N_2O	- Óxido Nitroso
PCI	- Poder Calorífico Inferior
PCS	- Poder Calorífico Superior
PFCs	- Perfluorcarbonos

RFFSA	- Rede Ferroviária Federal S/A
RS	- *Road-Switch*
SMA	- Secretaria do Meio Ambiente
SPR	- São Paulo *Railway*
tC	- Tonelada de Carbono
tCO_{2e}	- Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente
tep	- Tonelada Equivalente de Petróleo
TJ	- Tera Joule
UNEP	- *United Environment Programme*
UTFPR	- Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VEH	- Veículos Elétricos Híbridos
WBCSD	- *World Business Council for Sustainable Development*
WMO	- *World Meteorological Organization*
WRI	- *World Resources Institute*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 JUSTIFICATIVA 11
1.2 OBJETIVOS 11
1.2.1 Objetivo geral 11
1.2.2 Objetivos específicos 11
2 REVISÃO DE LITERATURA 12
2.1 PANORAMA DA FERROVIA NO ESTADO DE SÃO PAULO 12
2.1.1 Breve histórico desde a São Paulo *Railway* à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos 12
2.1.2 Turismo ferroviário 15
2.2 EXPRESSO TURÍSTICO 15
2.2.1 O serviço turístico da CPTM 15
2.2.2 Funcionamento de uma locomotiva *diesel*-elétrica 16
2.2.3 Locomotiva ALCO RS-3 17
2.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA 18
2.3.1 Gases de Efeito Estufa 18
2.3.2 Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa 19
2.3.3 GHG *Protocol* 20
2.3.4 IPCC 22
2.3.5 Controle de emissões e medidas de compensação 22
3 MATERIAL E MÉTODOS 25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
4.1 CÁLCULOS MÉTODO '*TOP-DOWN*' DO IPCC 30
4.2 FERRAMENTA GHG *PROTOCOL* 32
4.3 FERRAMENTA IPCC 33
4.4 COMPARATIVO ENTRE AS FERRAMENTAS 35
4.5 MITIGAÇÃO DE EMISSÕES E COMPENSAÇÃO DE GEE 35
4.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA 36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39
REFERÊNCIAS 41

1 INTRODUÇÃO

A emissão dos chamados gases de efeito estufa (GEE), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e clorofluorcarbonos (CFCs) aumenta a quantidade de energia que é mantida na atmosfera em decorrência da absorção do calor refletido ou emitido pela superfície do planeta, o que provoca a elevação da temperatura da atmosfera. Admite-se que, além de provocar modificações climáticas, o aquecimento da Terra possa causar a elevação do nível médio dos mares, ter impactos na agricultura e na silvicultura, afetando todas as formas de vida do planeta (BRAGA, 2005 *apud* YABUSHITA, 2013).

Para Leite (2017), devido a utilização de combustíveis fósseis, o setor de transportes é o que mais contribui com as emissões de gases causadores do efeito estufa, em especial, o gás carbônico (CO_2), cuja emissão aumenta em média 5,6% por ano, e metade dessas emissões é de responsabilidade do transporte de cargas. O transporte ferroviário é um dos modais de transportes mais eficientes, se comparado a outros como rodoviário ou aéreo, entretanto, faz-se necessário realizar estudos para reduzir ainda mais o consumo de *diesel* e consequentemente, as emissões de GEE. Neste cenário, encontram-se as locomotivas, que consomem um grande volume de combustível, para gerar energia para se movimentarem, emitindo assim, uma enorme quantidade de GEE, estimado em 4,00 kg de CO_2 por litro de *diesel* consumido.

Segundo Flizikowski (2012), com o crescente impacto das mudanças climáticas no mundo, e pesquisas indicando o efeito estufa como principal causa dessas alterações, houve a necessidade de se adotar medidas preventivas contra a emissão de alguns gases no meio ambiente. Em busca de alternativas mais sustentáveis, foram desenvolvidas metodologias específicas de quantificação de emissões de GEE, criando assim, os chamados inventários de emissões de gases de efeito estufa, cuja principal função é quantificar as emissões de GEE nos processos ou atividades desenvolvidas por uma empresa, órgão, município, estado ou país.

Ainda de acordo com a autora, o inventário de emissões de GEE viabiliza identificar os processos, e as fontes de emissão, observar estratégias de redução de emissões de GEE e definir formas de mitigação. Sendo assim, compensar as emissões, representa, além de redução de gastos com atividades que resultam nas emissões de gases de efeito estufa, uma atitude proativa, que, agregada aos interesses do poder público, da sociedade e empresas, implica na efetividade dos

princípios de desenvolvimento sustentável. E a inclusão de projetos de compensação fornece benefícios atrativos, como a geração de programas de redução de emissões em países sem regulamentação, oportunidades de expansão de emissão de conformidade para entidades regulamentadas.

A história das ferrovias no Brasil remete ao início do século XX, cuja expansão estava diretamente relacionada aos ciclos econômicos agroexportadores que o país vivia, como exemplo, as linhas férreas do Estado de São Paulo, idealizadas durante o ciclo do café. Nesta época, as ferrovias serviam de escoamento de *commodities*, até os principais portos (ANTT, 2012).

As ferrovias possuem muita ligação com a história e o desenvolvimento do Estado. Para resgatar um pouco desta memória e fazer pessoas de qualquer idade voltar no tempo, a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) lançou em abril de 2009 o serviço do Expresso Turístico, que parte da estação da Luz para os seguintes destinos: Jundiaí, Mogi e Paranapiacaba (CPTM, 2010).

1.1 JUSTIFICATIVA

Este estudo se faz necessário, tendo em vista que os dados de consumo de *Diesel* das locomotivas bem como as medidas para mitigar os impactos das emissões de gases de efeito estufa, não encontram-se disponíveis nos dados públicos da empresa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar um inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) das locomotivas da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) nas viagens do Expresso Turístico, no ano de 2019, propondo alternativas de compensação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a coleta de dados para a elaboração do inventário de GEE;

- Realizar um levantamento quantitativo dos gases de efeito estufa emitidos anualmente, pela queima de *Diesel*, das locomotivas da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, no serviço denominado Expresso Turístico;
- Utilizar as ferramentas GHG *Protocol* v 2019.3 e IPCC *Inventory Software*, para calcular a quantidade de GEE emitidos, confrontando com os valores calculados de acordo com o IPCC;
- Realizar um estudo sobre as estratégias de controle das emissões, e alternativas de compensação de gases de efeito estufa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PANORAMA DA FERROVIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

2.1.1 Breve histórico desde a São Paulo *Railway* à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos

De acordo com Allis (2006), a consolidação econômica do eixo Rio-São Paulo em meados do século XIX decorre por uma conjunção de fatores políticos e econômicos, observada através dos avanços notáveis da estrutura logística destas províncias, se comparados ao restante do país.

O café foi o grande animador econômico de várias regiões do país desde o início do século XIX, em especial nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. As primeiras lavouras foram estabelecidas no Vale do Paraíba fluminense, migrando posteriormente para o interior paulista, em direção ao Oeste Paulista, cuja topografia e solos eram mais propícios para o cultivo desta cultura. Por demandas externas, a produção brasileira de café cresceu exponencialmente, o que contribuiu para a melhora significativa da logística, através da introdução da ferrovia. Em um esquema de codependência, as ferrovias e as cidades do interior se desenvolveram em torno da empresa do café, cada qual com suas atribuições na viabilidade do negócio (ALLIS, 2006, p.138).

Em 1867, com a produção cafeeira em expansão, foi inaugurada a São Paulo *Railway* (SPR), a primeira estrada de ferro da então província de São Paulo, com 139 quilômetros, ligando as cidades de Santos e Jundiaí. A SPR revolucionou a forma de

transporte do café, fazendo com que a cadeia produtiva do produto fosse mais dinâmica. A ferrovia idealizada e construída por Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá, com aportes de capital inglês, impressionou com a tecnologia inédita empregada, o sistema funicular da Serra do Mar, entre a Raiz da Serra e o Alto da Serra – atual Paranapiacaba - vencendo um desnível de 800 metros, com eficiência incomparável ao rústico trânsito de mulas e carroças (BEM, 1998).

No final do século XIX e início do século XX, inúmeras empresas ferroviárias foram organizadas, como a Cia Paulista de Estradas de Ferro, interligando Jundiaí a Campinas, a Companhia Sorocabana de Estradas de Ferro, interligando São Paulo a Sorocaba, Tietê, entre outras. Diante do alto potencial de investimento e a urgência pelo transporte eficiente, o Estado de São Paulo, que em 1870 possuía 139 quilômetros de ferrovia, chegou na década de 1940 com 8.622 quilômetros de vias férreas instaladas. (ALLIS, 2006). De acordo com Azevedo (s/d) *apud* Stefani (2007), em 1945, das 23 estradas de ferro de São Paulo, 11 eram exploradas pelo Estado (sendo 5 da União e 6 do Governo Estadual) e 12 eram particulares.

A concessão da SPR perdurou por 90 anos, e em 1946 a *The São Paulo Railway* foi encampada pelo Governo Federal, passando a denominar-se Estrada de Ferro Santos-Jundiaí (EFSJ) sob administração direta do Ministério da Viação e Obras Públicas. No ano de 1952, diante da precarização da situação das estradas de ferro pertencentes à União, provocada pela falta de interesse e, portanto, de investimentos no setor, o Governo acena com a possibilidade de integração das ferrovias, centralizando seu gerenciamento e administração. Essa incorporação de 18 ferrovias ocorre em 1957 através da Lei 3.115, determinando a transformação das estradas de ferro pertencentes à União em Sociedade por Ações, surgindo assim a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), visando unificar e modernizar os mais de 30.000 km de linhas férreas, reduzidas à 23.000 km em 1975, devido à erradicação de linhas e ramais que se tornaram antieconômicos (STEFANI, 2007).

Em relação às ferrovias pertencentes ao Estado de São Paulo, Stefani (2007) ainda afirma que os estudos de viabilidade da unificação destas em um só sistema foram iniciados no início da década de 60, e somente concretizados, após aprovação do projeto em Assembleia Legislativa, pelo Decreto 10.410 de 10 de novembro de 1971, com a fusão de cinco ferrovias paulistas: a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, a Estrada de Ferro Araraquara, a Estrada de Ferro Sorocabana, a Companhia Mogiana de Estradas de Ferro e a Estrada de Ferro São Paulo-Minas. A empresa

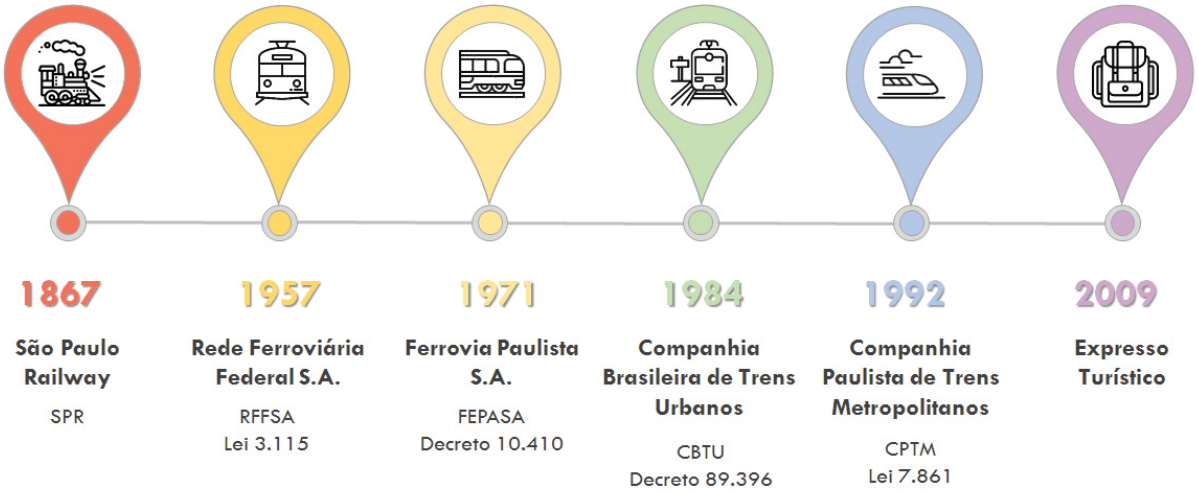
unificadora foi denominada de Ferrovia Paulista S.A. – FEPASA, possuía regime estatal e economia mista, contabilizando 5.300 km de trilhos, quantidade correspondente, na época da fusão, a quase um quarto das linhas férreas em tráfego existentes no Brasil.

As primeiras transformações no sistema ferroviário começaram a partir da recuperação da malha para o transporte de cargas, porém, com o intuito de repassar à iniciativa privada seus custos operacionais. Para poder realizar esta transição, contudo, o Poder Público deveria em primeiro lugar, deter o sistema de forma integral e em segundo lugar, segmentar e separar do restante da linha o trecho urbano e suburbano, deficitário devido à sua missão social. Em 1984, o sistema da RFFSA em São Paulo é segmentado, originando a Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU, por meio do Decreto 89.396, herdando 170 quilômetros de linhas férreas (STEFANI, 2007).

A Constituição de 1988 estabeleceu que o poder local seria responsável pelo transporte de passageiros, impondo assim, a descentralização dos serviços de transporte urbano de passageiros da União para os Estados e municípios. Quatro anos mais tarde, em maio de 1992, o Governo de São Paulo criou a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), através da Lei 7.861, que incorporou os sistemas de trens de passageiros da Região Metropolitana de São Paulo, operados pela CBTU e pela FEPASA (CPTM, 2017).

A Figura 1 ilustra a evolução da ferrovia no Estado de São Paulo:

FIGURA 1 – HISTÓRICO DA FERROVIA EM SÃO PAULO



FONTE: Elaborado pelo autor (2020)

2.1.2 Turismo ferroviário

Segundo Allis (2006), a complexificação teórica e estrutural do turismo, a diversificação da oferta emerge como uma estratégia e competitividade, uma vez que, em muitos casos, os atrativos originais e tradicionais completam seu ciclo de vida e entram em declínio. Nesse contexto, o transporte ferroviário recebe atenções mais específicas no sentido de adequá-los como atrativos turísticos. As chamadas 'ferrovias turísticas' passam a produtos turísticos harmonizados com as peculiaridades regionais, cujo desenvolvimento as ferrovias foram historicamente determinantes.

Pelo pressuposto da diferencialidade dos transportes turísticos, as ferrovias, por uma série de razões, podem ser atreladas à atividade turística por sua capacidade de materializar momentos históricos das regiões onde se instalou. Até pela quase inexistência de trens de passageiros, o tom de nostalgia e a curiosidade são os fatores motivadores para a demanda das ferrovias turísticas (ALLIS, 2002).

Portanto, para Allis (2006), a operação de ferrovias pode ser entendida como um elemento integrador das relações sociais proporcionados pela memória da ferrovia e seu remanescente material, em especial, estações e material rodante. Acrescido a isso a expansão das atividades do setor terciário, de forma que, em casos específicos, o desenvolvimento do lazer e do turismo serem motes para a reorganização espacial.

Neste contexto, e devido à vocação ao turismo de negócios, na cidade de São Paulo, considerada o maior mercado consumidor de turismo no Brasil, é idealizado o Expresso Turístico, operado pela CPTM, um programa de estímulo ao turismo na Região Metropolitana de São Paulo, cuja viagem de trem é o atrativo principal, fortalecendo a imagem da ferrovia junto à população, sobretudo aqueles que nunca tiveram a oportunidade de escolher o trem como alternativa de transporte em momentos de lazer (CPTM, 2010).

2.2 EXPRESSO TURÍSTICO

2.2.1 O serviço turístico da CPTM

O Expresso Turístico é um serviço desenvolvido pela Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos por meio da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, com apoio da Secretaria de Estado Esporte, Lazer e Turismo,

contando ainda com apoio da Associação Brasileira de Preservação Ferroviária – ABPF, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN e das prefeituras dos destinos turísticos, atualmente, Jundiaí, Mogi das Cruzes e Santo André (CPTM, 2010).

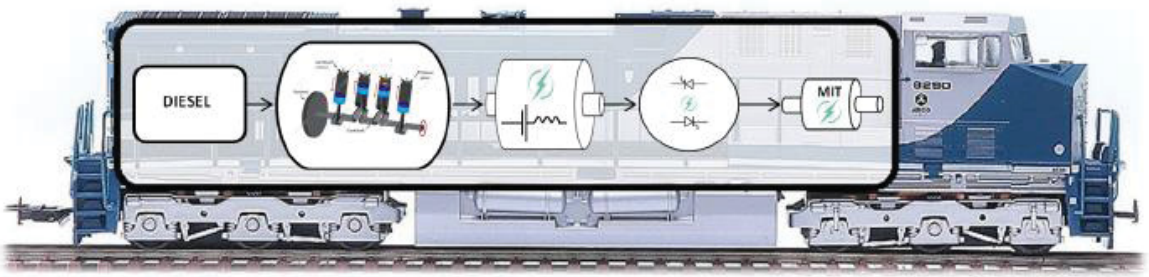
O primeiro roteiro a entrar em operação foi o Expresso Turístico São Paulo – Jundiaí, iniciado em 25 de abril de 2009, abrangendo municípios limítrofes a Jundiaí, pertencentes ao Polo Turístico Circuito das Frutas. Na sequência, entrou em operação o Expresso Turístico São Paulo – Mogi das Cruzes, no dia 14 de junho de 2009, tendo como novidade a inclusão do vagão bicicletário com capacidade de transportar 45 bicicletas, criando assim um novo serviço turístico complementar para os ciclistas. Por fim, o último roteiro a entrar em operação foi o Expresso Turístico São Paulo – Paranapiacaba, cuja primeira viagem ocorreu em 19 de setembro de 2010 (CPTM, 2010).

2.2.2 Funcionamento de uma locomotiva *diesel*-elétrica

De acordo com Resende (2018), as locomotivas *diesel*-elétricas são veículos elétricos híbridos (VEH) que tem seu próprio sistema de potência elétrico. Sua fonte de energia primária, o *diesel*, é o combustível que alimenta um grande motor à combustão. Esse motor é acoplado a um gerador elétrico e a energia gerada flui por um sistema eletrônico de potência que é responsável por alimentar motores elétricos. Esses, tem como objetivo entregar potência aos eixos do carro motor da locomotiva, fazendo com que toda composição se movimente. Portanto, locomotivas *diesel*-elétricas são veículos elétricos híbridos, que têm um sistema de geração de energia elétrico próprio que se adequa às suas necessidades energéticas.

Os principais componentes de uma locomotiva *diesel*-elétrica podem ser observados na Figura 2 abaixo:

FIGURA 2 - COMPONENTES DE UMA LOCOMOTIVA *DIESEL*-ELÉTRICA



FONTE: Resende (2018).

O funcionamento do motor a *diesel* das locomotivas é explanado por Figueiredo (2015), que considera que:

> *Na tração diesel-elétrica um motor diesel gera energia mecânica através do calor gerado pela queima da mistura ar e combustível dentro dos cilindros do motor. A energia mecânica é transferida a um alternador/gerador acoplado a este motor transformando-a em energia elétrica que é transferida para os motores de tração acoplados aos rodeiros, conjunto formado por eixo rodas e rolamentos, a fim de tracionar as locomotivas*

2.2.3 Locomotiva ALCO RS-3

As locomotivas *diesel*-elétrica utilizadas no Expresso Turístico foram fabricadas pela *American Locomotive Company* – ALCO e pela *Montreal Locomotive Works* - MLW, do modelo *Road Switch* sendo conhecidas como ALCO RS-3. No total, foram fabricadas 1.418 unidades entre maio de 1950 e agosto de 1956, e destas, 48 tiveram o Brasil como destino. O motor a combustão utilizado também foi produzido pela ALCO, modelo chamado ALCO 244 V-12, sendo um motor de quatro tempos, com 12 cilindros capaz de gerar 1600 HP de potência, ou 1190 kW e esforço de tração de 61.775 lb, ou 28.021 kg. O modelo do gerador acoplado no eixo do motor, é o GE GT-581, por fim, os quatro motores de tração são do modelo GE 752, ambos produzidos pela *General Electric* – GE (CPTM, 2010).

As locomotivas ALCO RS-3 que operam nos roteiros do Expresso Turístico, possuem um padrão de identidade visual específico, como é possível verificar na Figura 3, cujo registro detalha o embarque dos passageiros na Estação da Luz:

FIGURA 3 - LOCOMOTIVA ALCO RS-3 NO EXPRESSO TURÍSTICO

FONTE: CPTM (2010).

2.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

2.3.1 Gases de Efeito Estufa

No ano de 1997, ocorreu na cidade de Quioto no Japão uma reunião entre alguns países, com a finalidade de criarem ações que reduzissem a emissão de gases poluentes na atmosfera. O acordo entre os Estados assinado neste evento, chamado ‘Anexo 01’, registrava o comprometimento destas nações na redução de emissão de gases causadores de efeito estufa em 5,2%, quando comparado aos níveis de 1990, no período compreendido entre 2008 e 2012. Entretanto, a necessidade global de proteção do meio ambiente iniciou anos antes, com a Convenção-Quadro nas Nações Unidas sobre Mudança de Clima, no ano de 1992, ficando estabelecido um processo permanente de revisão, discussão e troca de informações a respeito da implementação de projetos que buscassem a redução da emissão de GEE na atmosfera, além de políticas de incentivo adotadas pelos países com o objetivo de atingir os níveis buscados pelo Protocolo (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Oliveira (2018), a principal missão do Protocolo de Quioto é estabelecer ações que visem reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Os gases citados no acordo são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hexafluoreto de enxofre (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Porém, para alcançar a redução dos poluentes, foram criados alguns mecanismos para auxiliar os países a cumprir suas metas ambientais, como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que prevê a redução certificada da emissão ambiental, negociada

dentro do Mercado de Crédito de Carbono, através de certificados de redução de emissões, gerados a partir de ações que reduzam ou capturem os citados gases lançados na atmosfera. Assim, os créditos de carbono são certificados, e são emitidos documentos aos projetos que, comprovadamente, reduzem a emissão de gases que causam o efeito estufa. Esses créditos podem ser negociados no mercado internacional aos países desenvolvidos que têm a obrigatoriedade de reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera.

2.3.2 Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

O inventário de emissões de GEE pode ser considerado um 'raio-X' que se faz em uma empresa, grupo de empresas, setor econômico, cidade, estado ou país, e sua elaboração é a primeira etapa para que se contribua com o combate às mudanças do clima, pois determina a quantidade e a origem das emissões a serem reduzidas. Fazer a contabilidade em GEE significa quantificar e organizar dados sobre emissões baseado em padrões e protocolos e atribuir essas emissões corretamente a uma unidade de negócio, empresa, país ou outra entidade (YABUSHITA, 2013).

Ainda para o autor, o gerenciamento de GEE representa uma nova modalidade de gestão dentro das corporações na medida em que introduz uma nova cultura organizacional e demanda a implementação de novas rotinas operacionais que visam o controle eficaz dessas emissões. O gerenciamento inicia a partir dos inventários de emissões GEE (ou *carbon footprints*), que fornecem informações gerenciais para que sejam tomadas ações visando à redução de emissões, o que destaca tais empresas como líderes em desempenho climático. Em relação aos custos com o gerenciamento de GEE, estes são mais do que compensados pelos benefícios e pelas oportunidades criadas pelo novo conceito de gestão, que além de mitigar seus impactos ambientais ainda agregam valor a imagem corporativa da empresa.

De acordo com Yabushita (2013), um inventário de emissões deve ser estabelecido como um processo contínuo, que permita identificar a evolução dos esforços de mitigação de uma instituição ou região e aprimorar essas medidas progressivamente. Para colocar em prática um inventário de emissões, é importante adotar metodologias ou protocolos reconhecidos, como é o caso do GHG *Protocol (Greenhouse Gas Emissions*).

2.3.3 GHG *Protocol*

O *Greenhouse Gas Protocol* é uma ferramenta de contabilidade internacional idealizada pelo *World Resources Institute* (WRI) em conjunto com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), com intuito de auxiliar lideranças governamentais e empresariais na compreensão, quantificação, gerenciamento e redução de emissões. A iniciativa foi trazida ao Brasil em 2008 com apoio do Ministério de Meio Ambiente e da Fundação Getúlio Vargas. Entre os diferenciais nacionais, podem ser citadas a contínua capacitação das organizações participantes por meio de treinamentos e palestras, além da existência de uma plataforma *online* de divulgação de inventários (SILVA, 2015).

O Programa Brasileiro GHG *Protocol* tem como objetivo estimular a cultura corporativa para a elaboração e publicação de inventários de emissões de GEE, proporcionando aos participantes o acesso a instrumentos e padrões de qualidade internacional. De acordo com Pinho (2009) *apud* Yabushita (2013), as vantagens de se investir no gerenciamento de GEE inserindo-o, ou não, no já implementado sistema de gestão ambiental das empresas são:

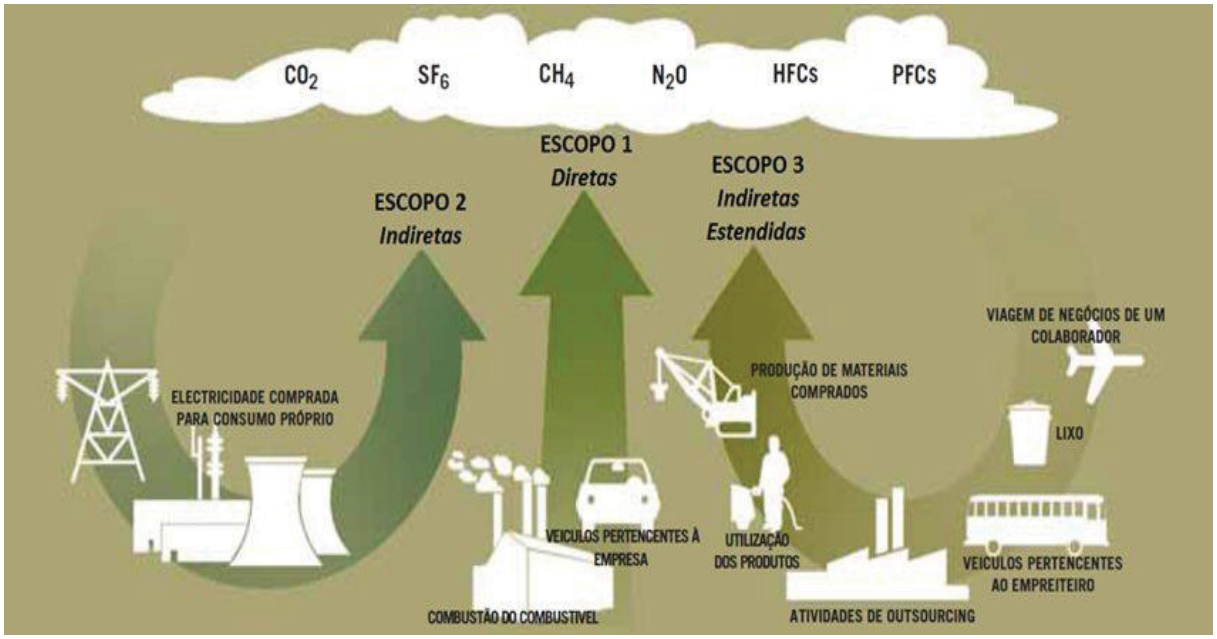
- Fazer negócios da maneira correta – priorizar a questão climática necessária para continuidade das atividades econômicas num mundo onde a questão ambiental ocupa cada vez mais espaço na agenda internacional, propiciando o desenvolvimento sustentável com respeito ao atendimento das necessidades de futuras gerações;
- Redução de custos – tornar os processos produtivos mais eficientes e climaticamente mais amigáveis, diminuindo o consumo de insumos e combustíveis, reduzindo, assim seus custos operacionais e agregando valor ao seu negócio;
- Ganhos de imagem corporativa – o ganho de imagem que uma empresa tem é recorrente no mercado internacional, com a divulgação de seus êxitos na redução das emissões de GEE. A reputação e a credibilidade da empresa são favorecidas na medida em que os consumidores finais a associam a um negócio que respeita o meio ambiente. Assim, com a empresa exposta, o ganho de imagem favorece a escolha por parte destes consumidores finais que praticam o consumo consciente, cada vez mais crescente no mundo.

O programa brasileiro *GHG Protocol (s/d)* aborda três escopos:

- Escopo 1: emissões diretas de GEE – emissões provenientes que pertencem ou são controladas pela organização, como por exemplo, emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa. As emissões devem ser subdivididas em cinco categorias: combustão estacionária, combustão móvel, emissões de processos físicos e químicos, emissões fugitivas e emissões agrícolas.
- Escopo 2: emissões indiretas de GEE de energia – emissões provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa, as emissões ocorrem fisicamente onde a energia é produzida, quando a produção ocorre fora do limite organizacional. Tecnologias e processos alinhados com a eficiência energética e conservação de energia podem reduzir o consumo de energia.
- Escopo 3: outras emissões indiretas de GEE – emissões que são consequência das atividades da empresa, porém, que ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa, como por exemplo, a extração e produção de matérias primas, realizados por outra empresa, mas utilizados no processo da empresa que está elaborando o inventário, transporte de colaboradores em meios não controlados por esta.

A Figura 4 engloba os três escopos do GHG *Protocol*, de modo a facilitar o entendimento sobre o alcance de cada um destes.

FIGURA 4 - DETALHAMENTO DOS ESCOPOS DO GHG *PROTOCOL*



FONTE: Flizikowski (2012)

2.3.4 IPCC

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC estabelecido pela *World Meteorological Organization* – WMO e pelo *United Environment Programme* – UNEP, publicou no ano de 2006 as Diretrizes para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006). O documento possui cinco volumes, sendo que o volume dois, intitulado Energia, apresenta um capítulo específico para Combustão Móvel, que inclui uma seção exclusiva para ferrovias (SILVA, 2015).

Álvares Jr e Linke (2001) recomendam os métodos de cálculos de inventários propostos pelo IPCC a partir dos dados locais disponíveis de fatores de emissão e composição dos combustíveis comerciais. Para os autores, o cálculo do inventário dos GEE pela quilometragem anual e pelo consumo teórico de combustível, em litros por quilômetro - ou a partir dos fatores de emissão - (método *bottom-up*), tende a ser mais impreciso que pelo consumo global anual de combustível (*top-down*), no entanto, a escolha da metodologia está vinculada à qualidade dos dados existentes. O IPCC incentiva o desenvolvimento fatores de emissões locais por especialistas, para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, visando a melhoria da qualidade da informação.

2.3.5 Controle de emissões e medidas de compensação

Os combustíveis fósseis, derivados do petróleo e os biocombustíveis são moléculas orgânicas que possuem como primeiro elo da cadeia a fotossíntese. Do ponto de vista de emissões, a principal diferença entre eles é que os combustíveis fósseis utilizam para a combustão o carbono das moléculas, estocado há milhões de anos, emitindo para a atmosfera dióxido de carbono em um ciclo de carbono semiaberto, ou seja, apenas parte do carbono lançado à atmosfera é reabsorvida na fotossíntese. Os biocombustíveis, por sua vez, possuem o ciclo de carbono fechado, pois todo o carbono emitido para a atmosfera durante a combustão é reabsorvido no ciclo seguinte, produzindo a mesma quantidade de biocombustível. Sendo assim, a própria produção de biocombustíveis, utilizando matérias primas renováveis, é uma forma de reduzir o impacto da emissão de CO_2 na atmosfera (LIMA, 2011).

Conforme Carvalho (2012), quando a matéria-prima para a produção do biocombustível tem origem renovável, como é o caso do etanol ou do biodiesel produzido a partir de plantas, as emissões de dióxido de carbono da combustão do biocombustível podem ser consideradas nulas, visto que o carbono liberado durante a combustão foi fixado pela planta através do processo de fotossíntese, meses ou anos antes. Sendo assim, ao substituir um combustível fóssil por um biocombustível, considera-se que a queima deste no motor, deixou de emitir uma quantidade de carbono para a atmosfera, porém, se for considerada também a produção deste biocombustível, a redução pode não ser tão efetiva, ou até mesmo negativa, emitindo mais GEE do que utilizando um combustível fóssil.

Todavia, devido a impossibilidade de redução plena das emissões, faz-se necessário buscar alternativas de compensação. No âmbito das mudanças climáticas, o termo compensação significa definir uma quantidade de emissões de GEE que um indivíduo ou organização tenha provocado, e evitar ou reduzir na mesma proporção em um local diferente. Através deste objetivo, as empresas têm implementado projetos de reflorestamento que visam a remoção de CO_2 da atmosfera através da fixação de carbono na biomassa (FLIZIKOWSKI, 2012).

Em diversas literaturas que abordam a compensação de GEE, o termo neutralização é citado, contudo, os processos adotados não extinguem as emissões, mas sim, compensam as emissões. De acordo com Ramseur (2008) *apud* Flizikowski (2012), as emissões são descritas como uma base em um projeto, com o objetivo principal de reduzir, evitar ou sequestrar emissões de GEE, essa compensação pode ser devolvida por quatro categorias:

- Sequestro Biológico: acontece através de árvores, plantas, solo, que detêm o carbono, removendo-o da atmosfera da Terra. Os projetos englobam atividades que aumentam o potencial de fixação de carbono ou mantêm os existentes, possuindo aplicabilidade na agricultura e silvicultura;
- Energia Renovável: projetos relacionados à energia, envolvendo o vento, energia solar e biomassa. Essas energias geram menos emissões de GEE que os combustíveis fósseis, como exemplo, a construção de parques eólicos, painéis solares, instalação de biodigestores;
- Eficiência Energética: projetos que buscam um produto mais eficiente da energia ou um sistema que requer menos energia. Em geral, melhorias na eficiência energética

demandam um investimento financeiro, na aquisição ou atualização de máquinas e equipamentos;

- Redução de Emissões Não-CO_2: projetos de múltiplas fontes de CO_2 não GEEs, geralmente fontes agrícolas, industriais e de resíduos, que emitem GEE como subprodutos durante as operações normais. Por exemplo, projetos de redução de emissão de metano (CH_4), por meio de aterros, agropecuária, minas de carvão, óxido nitroso (N_2O) através da exploração agrícola.

Para Gallo Junior et al. (2018), muito tem sido discutido sobre formas de compensação das emissões dos GEE e da mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, dentre as alternativas, o reflorestamento para fixação do carbono atmosférico e geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis. O sequestro de carbono consiste na capacidade fotossintética que os vegetais possuem de fixar o CO_2 da atmosfera, que é sintetizado na forma de carboidratos através da luz, e depositados na parede celular do vegetal. A Resolução da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) 30, de 15 de maio de 2009 do Estado de São Paulo orienta projetos voluntários de reflorestamento para compensação de emissões de GEE, particularmente ao plantio de espécies nativas de ocorrência regional, com potencial de regeneração natural.

Outra alternativa viável para compensar as emissões de GEE, é utilizar o Mercado de Carbono, que de acordo com Oliveira (p.97, 2018):

> "...condiz com o campo de trocas, regulado pelo Conselho Executivo do MDL, que permite a países com alta emissão de carbono comprar o excedente das cotas de países que produzem menos CO2, mas tal comércio pode ser voluntário, ou seja, quando a empresa não é obrigada a comprar, mas, mesmo assim, participa do Mercado de Créditos de Carbono".

Oliveira (2018), ainda define Crédito de Carbono como sendo uma unidade comercial com objetivos monetários, que representa uma tonelada de CO_2 equivalente (tCO_{2e}). O valor desse crédito varia diariamente, pois sua atribuição de valor é dada por vários fatores externos, sendo sua variação semelhante a uma bolsa de valores. Ressaltando ainda que, no Brasil, a cessão dos créditos de carbonos é promovida pela Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&F-BOVESPA), devido às regras sobre valores mobiliários, e as transações ocorrem em ambiente

eletrônico, via internet, cujos leilões são modelados de acordo com as características específicas da oferta.

O certificado de redução de emissões (CRE) é uma forma de comercialização de carbono retido, ou evitado, através dos projetos de MDL. O CRE é uma unidade publicada, emitida pelo Comitê Executivo de acordo com as definições do Protocolo de Quioto. O valor pago pelo certificado de um projeto de MDL está relacionado às incertezas que este apresenta, ou seja, quanto maior a incerteza, menor o valor, para exemplificar, em um projeto florestal, as incertezas quanto à permanência do carbono são maiores, por isto, os projetos florestais tendem a ser mais baratos que os não-florestais (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho é apresentado baseado em metodologias descritiva e explorativa. Em um primeiro momento é realizado uma revisão de literatura, baseada em artigos, livros e documentos técnicos sobre os conceitos inerentes a ferrovia, bem como aqueles voltados a realização dos inventários de emissões de gases de efeito estufa. No intuito de validar o estudo de caso realizado na empresa, foi necessário obter dados do serviço prestado, intitulado ‘Expresso Turístico’ através de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, de modo a confrontar os dados com o referencial analisado.

Em síntese, o estudo proposto prevê a quantificação de Gases de Efeito Estufa emitidos pelas locomotivas da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, somente no serviço turístico ofertado, excluindo os demais serviços prestados pelas locomotivas e outros veículos ferroviários, ao longo do ano de 2019, utilizando para tal as metodologias GHG *Protocol* e IPCC, limitando ao tópico combustão móvel a nível de escopo 1. Além disso, pretende-se realizar um estudo sobre as estratégias de controle das emissões, propondo medidas para mitigar os danos, bem como, realizar um levantamento sobre as medidas de compensação de gases de efeito estufa.

A frota do Expresso Turístico, analisada neste estudo é composta por locomotivas *diesel*-elétrica fabricadas pela *American Locomotive Company* – ALCO, do modelo *Road Switcher*, conhecida como ALCO RS-3, além de dois carros em aço inox de longo percurso, fabricados na década de 1960 pela Mafersa e cedidos pela

Associação Brasileira de Preservação Ferroviária – ABPF, e com capacidade de transportar 173 passageiros, incluindo um lugar para pessoas com deficiência (cadeirante). A frota também conta com um vagão bicicletário, adaptado para transportar até 45 bicicletas, em operação inicial no trecho Luz-Mogi das Cruzes O Expresso Turístico é um serviço oferecido pela CPTM, contendo três destinos, Jundiaí, Mogi das Cruzes e Paranapiacaba, todos partindo da histórica estação Luz, localizada na região central da cidade de São Paulo. As viagens são realizadas aos finais de semana, totalizando a expressiva marca de 104 viagens no ano de 2019. (CPTM, 2010).

Para obter os dados necessários, foram utilizados os programas: Ferramenta_GHG_Protocol_v2019.3 e IPCC *Inventory Software*, ambas gratuitas e encontradas nos respectivos *sites*. Além disto, foram realizados os cálculos, baseados na literatura para confrontar com os dados obtidos nas ferramentas citadas.

Os cálculos de estimativa de emissões de GEE propostos pelo IPCC, utilizando o método '*top-down*', consistem de um modelo prático para obter valores mais próximos da realidade, quanto a emissão de dióxido de carbono (CO_2) sendo, até mesmo adotado pelo governo brasileiro na elaboração do inventário nacional de gases poluentes. A metodologia '*top-down*' é fundamentada nas emissões de CO_2, utilizando para o cálculo, os dados de produção e consumo de energia, independente da forma com que a energia é consumida. (RODRIGUES; SILVA FILHO, 2016).

O método '*top-down*' para o cálculo de emissões é composto por três etapas, que serão abordadas a seguir:

a) Conversão para Unidade Comum: Através da Equação (1), todas as medidas de consumo de combustível devem ser convertidas para uma unidade comum.

$$CC = CA * Fconv * 41{,}868 * 10^{-3} * Fcorr \quad (1)$$

Onde:

i. CC = consumo de energia em Tera-Joule (TJ);
ii. CA = consumo de combustível (m^3, l, kg);
iii. Fconv = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tonelada equivalente de petróleo (tep), com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (podendo variar de ano para ano, de

acordo com a publicação anual do Balanço Energético Nacional (BEN) pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Os valores do ano 2018 para o Fconv de *diesel* é de 0,848 tep/m^3;

iv. Tonelada Equivalente de Petróleo (tep) = Unidade de energia utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão. 1 tep = 41,868 x 10^{-3} TJ (Tera-Joule =10^{12} J);

v. 10^{-3} = tC/GgC (tonelada de Carbono/Giga grama de Carbono)

vi. Fcorr = fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o Fcorr = 0,95 e para combustíveis gasosos, o Fcorr = 0,90, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

b) Conteúdo de Carbono: A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada de acordo com a Equação (2):

$$QC = CC * Femiss * 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

i. QC = conteúdo de carbono expresso em Giga grama de Carbono (GgC);

ii. CC = consumo de energia em TJ;

iii. Femiss = fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do MCT (2010) dos Femiss para o *diesel* são de 20,2 tC/TJ;

iv. 10^{-3} = tC/GgC

c) Emissões de CO_2: Sabendo que o peso molecular do Carbono é 12 e do Oxigênio é 16, o peso molecular do dióxido de carbono (CO_2) é 44. Os cálculos até aqui descritos resultam nas emissões em termos da quantidade de carbono liberada na queima do combustível. A sua conversão para emissões de CO_2 é obtida, multiplicando as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO_2 e do carbono, isto é 44/12. Logo, 44 CO_2 corresponde a 12 tC,

ou 1 t de CO_2 = 0,2727 tC. Por fim, as emissões de CO_2 são calculadas de acordo com a Equação (3).

$$ECO_2 = EC * 44/12 \quad (3)$$

Onde:

i. ECO_2 = emissão de CO_2;
ii. EC = emissão de C.

Para compensar as emissões de CO_2, um modelo bastante abordado na literatura abrange o plantio de espécimes arbóreas nativas. Para estipular a quantidade de árvores a serem plantadas para a compensação de CO_2, emitido durante o ano, são necessários os dados de emissão de GEE em tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}), bem como o fator de fixação em biomassa.

De acordo com Yabushita (2013), o fator de fixação de carbono sequestrado da atmosfera pelas plantas, depende das diferenças das espécies, solo, clima e tipo de vegetação. A determinação do fator de fixação de carbono em biomassa para o plantio de árvores nativas, foi realizada com base nos dados apresentados em *Goods Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry* (LULUCF) publicado pelo IPCC no ano de 2003, o Incremento Médio Anual (IMA) de biomassa para florestas tropicais e subtropicais em processo de regeneração natural.

Segundo o IPCC (2003) *apud* Yabushita (2013), o valor por omissão do IMA da biomassa viva acima do solo em processo de regeneração natural das florestas situadas em regiões da América que possuem clima tropical ou subtropical úmido com uma estação seca curta, com precipitação (P) anual de 200 > P > 1000mm, é 7 toneladas de matéria seca.ha^{-1} ano^{-1} para florestas com idade ≤ 20 anos e 2 toneladas de matéria seca.ha^{-1} ano^{-1} para florestas com idade > 20 anos. O valor por omissão do IMA da biomassa abaixo do solo pode ser considerado igual a 0. A incerteza por omissão do IMA da biomassa viva acima do solo é de ± 43% em torno da média do IMA, devido as diferentes espécies escolhidas para o plantio, visto que diferentes espécies possuem diferentes fatores de fixação, dessa forma adota-se esse valor de incerteza. A fração de carbono na matéria seca por omissão é igual a 50% ou 0,5.

Considerando estas informações, o cálculo do fator de fixação de carbono por árvore foi realizado por meio da equação 4:

$$tCO_{2e}(árvore.ano)^{-1} = \frac{IMA*\left(\frac{tC}{tseca}\right)*(44/12)}{nº\ árvore\ /\ ha} \quad (4)$$

Onde:

i. tCO_{2e} (árvore.ano)$^{-1}$ = toneladas de CO_{2e} sequestrado por árvore em um ano;
ii. IMA = Incremento Médio Anual da biomassa viva acima do solo mais o IMA da biomassa viva abaixo do solo (toneladas de matéria seca. (ha.ano)$^{-1}$);
iii. 44/12 = Conversão de C para CO_2;
iv. nº árvore / ha = Número de árvores por hectare em fase de crescimento.

Prosseguindo conforme estudo de Yabushita (2013), é possível, enfim, calcular o número de árvores a serem plantadas, conforme a equação 5:

$$N = \left[\left(\frac{Et}{Ff}\right) * 1{,}2\right] \quad (5)$$

Onde:

i. N = Número de árvores a serem plantadas;
ii. Et = Emissão total de GEE no cálculo de emissão (tCO_{2e});
iii. Ff = Fator de fixação de carbono em biomassa no local de plantio (tCO_{2e}/árvore);
iv. 1,2 = Fator de compensação para eventuais perdas com mudas, como morte natural ou problemas no plantio.

O autor considera ainda, que o número de árvores para cada hectare utilizado para realizar o cálculo deve ser de 1.667 árvores.ha^{-1}, visto que, o plantio tradicional de espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas, é realizado sob espaçamento 2 x 3 metros, totalizando aproximadamente 1.667 árvores por hectare. Finalmente, para calcular a área necessária para se plantar as árvores, é utilizada a equação 6:

$$a = \left(\frac{N}{1667\ árvores\ *ha^{-1}}\right) \quad (6)$$

Onde:

i. a = área em hectare (ha);
ii. N = Número de árvores a serem plantadas;
iii. 1667 * ha^{-1} = densidade de árvores por hectare

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido a dificuldades em obter com exatidão, bem como as inúmeras variáveis presentes, foi realizada uma estimativa no consumo de *diesel*, sendo realizadas diversas medições de distância percorrida, e consumo de combustível, calculando assim, um consumo médio por quilômetro. Os resultados obtidos destas medições geraram uma estimativa, cujo consumo médio foi de 7,5 litros de *diesel* por quilômetro (l/km).

Para poder quantificar os dados de emissões de gases de efeito estufa, foi necessário confrontar o consumo médio de *diesel* pelas locomotivas com a quilometragem percorrida, como é possível visualizar na Tabela 1.

TABELA 1 - VIAGENS DO EXPRESSO TURÍSTICO EM 2019

Origem – Destino	**Extensão (km) Ida e Volta**	**Quantidade de Viagens**	**Total Percorrido (km)**	**Consumo de *diesel* (l)**
São Paulo – Jundiaí	121	26	3.146	23.595
São Paulo – Mogi das Cruzes	110	5	550	4.125
São Paulo – Paranapiacaba	96	73	7.008	52.560
Total	327	104	10.704	80.280

FONTE: Elaborado pelo autor (2019), conforme dados disponibilizados pela empresa

4.1 CÁLCULOS MÉTODO '*TOP-DOWN*' DO IPCC

Os cálculos de estimativa das emissões de GEE deste trabalho foram baseados nas obras de Álvarez Jr e Linke (2001) e de Rodrigues e Silva Filho (2016), com isto, é possível calcular o consumo de energia das locomotivas em TJ, utilizando a Equação 1:

$$CC = 80.280\ l * 0{,}848\ tEP/m^3 * 41{,}868x10^{-3}TJ * 0{,}95 \quad (1)$$
$$CC = 2.707{,}753\ TJ$$

Diante do consumo de energia em TJ, é possível aplicar a Equação 2, para calcular a quantidade de carbono emitida:

$$QC = 2.707{,}753\ TJ * 20{,}2\ tC/TJ \quad (2)$$
$$QC = 54{,}696\ tC$$

Por fim, ao transpor os dados de quantidade de carbono emitida na Equação 3, obtém-se as emissões de CO_2 pelas locomotivas *diesel*-elétricas nos serviços turísticos, para o ano de 2019:

$$ECO_2 = 54{,}696\ tC * 44\ tCO_2/12\ tC \quad (3)$$
$$ECO_2 = 200{,}554\ tCO_2$$

O intenso crescimento de biomassa viva acima do solo ocorre até os vinte anos, portanto, o número de árvores nativas estimadas para compensar a emissão de 200,554 tCO_{2e} das locomotivas do Expresso Turístico no ano de 2019, considerou o período de 20 anos, a partir do ano de plantio (YABUSHITA 2013). Sendo assim, o fator de fixação da Equação 4 foi multiplicado por 20:

$$\frac{tCO_{2e}}{árvoreem20anos} = \left(\frac{7\ (t*ha^{-1})*0{,}5*3{,}67}{1667\ árvores*ha^{-1}}\right) * 20 = 0{,}154\ tCO_2/árvoreem20anos \quad (4)$$

Por fim, para estimar a quantidade de mudas de árvores nativas a serem plantadas para compensar a emissão de 200,554 tCO_{2e} em 20 anos, foi necessário utilizar a Equação 5, atribuindo em tal, os dados de emissões total de GEE (tCO_{2e}), o fator de fixação tCO_2 / árvoreem20anos e o fator de correção:

$$N = \left(\frac{200{,}554\ tCO_{2e}}{0{,}154\ tCO_2/árvore}\right) * 1{,}2 \cong 1.563\ mudas\ de\ árvores \quad (5)$$

Considerando a densidade de 1667 árvores por hectare, é possível ainda estimar a área necessária para o plantio, considerando o espaçamento entre árvores de 3 m x 2 m, dividindo a quantidade de mudas a serem plantadas, pelo fator:

$$a = \left(\frac{1563\ árvores}{1667\ árvores * ha^{-1}}\right) = 0{,}937\ ha \quad (6)$$

4.2 FERRAMENTA GHG *PROTOCOL*

Para realizar a análise das emissões, foi utilizada a ferramenta GHG *Protocol* v2019.3 disponível para *download* na página oficial do programa. Os fatores de emissões do combustível fóssil, tanto para o *diesel* quanto para o bio*diesel*, são demonstrados na Tabela 2:

TABELA 2 - FATORES DE EMISSÕES DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL - GHG

Diesel			***Biodiesel***		
kg CO_2 / l	**kg CH_4 / l**	**kg N_2O / l**	**kg CO_2 / l**	**kg CH_4 / l**	**kg N_2O / l**
2,60	0,0001	0,0002	2,43	0,0003	0,00002

FONTE: Elaborado pelo autor (2019), baseado na Ferramenta *GHG Protocol* v2019.3

Por fim, ainda com o uso da Ferramenta GHG *Protocol* v2019.3, e levando em consideração os fatores de emissões de combustível fóssil, bem como os dados de consumo das locomotivas, foram levantados os dados de emissões de Gases de Efeito Estufa, conforme é possível visualizar na Tabela 3:

TABELA 3 - INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE - GHG

Combustível	**Emissões de CO_2 (t)**	**Emissões de CH_4 (t)**	**Emissões de N_2O (t)**	**Emissões Totais (tCO_{2e})**	**Emissões de CO2 biogênico (tCO_2)**
Diesel	208,97	0,01	0,01	212,56	-
Biodiesel - B100	-	0,03	0,00	1,14	195,16

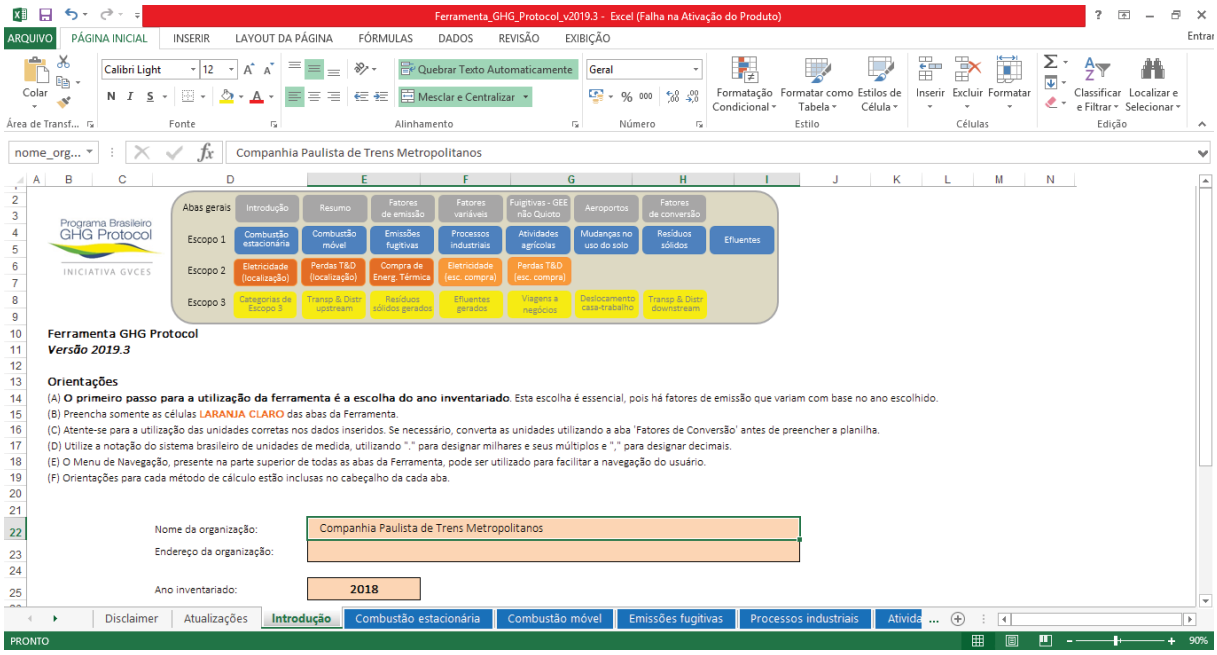
FONTE: Elaborado pelo autor (2019), baseado na Ferramenta *GHG Protocol* v2019.3

No campo de emissões de *Biodiesel* – B100 da Tabela 3, é possível verificar o termo Emissões de CO_2 biogênico, isto significa que, algumas atividades antrópicas

emitem CO_2 por conta da transformação de estoques biológicos de carbono (vegetais, animais, algas, entre outros). O carbono presente nestes estoques biológicos foi removido da atmosfera através da fotossíntese, logo estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. Por este motivo, as emissões de CO_2 biogênico devem ser contabilizadas de maneira separada em relação às outras emissões de GEE, pois possuem impacto adicional nas concentrações de GEE na atmosfera (GHG, 2016).

Na Figura 5, é possível visualizar o layout do programa GHG *Protocol* v.2019.3, que consiste de uma planilha do Microsoft Excel, no qual os dados devem ser inseridos.

FIGURA 5 – FERRAMENTA GHG *PROTOCOL* V.2019.3



FONTE: Elaborado pelo autor (2020)

4.3 FERRAMENTA IPCC

De acordo com América Latina Logística (2014), o cálculo de emissões é baseado na quantidade de gases de efeito estufa liberado por combustível durante a combustão. De acordo com as características de composição de carbono e modo de utilização, são obtidos fatores de emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE por material. A Tabela 4 apresenta os fatores de emissões utilizados no inventário:

TABELA 4 - FATORES DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA - IPCC

Modo	Combustível	Unidade	CO_2 (kg/un)	CH_4 (kg/un)	N_2O (kg/un)
Fontes Móveis	*Diesel* – Ferroviário	TJ	74.100	4,15	28,6
Fontes Móveis	Bio*diesel* – Ferroviário	TJ	70.800	4,15	28,6

FONTE: Elaborado pelo autor (2019), baseado IPCC 2006 V2_Ch3 Table 3.4.1 p.3.43

Utilizando os fatores de emissão da Tabela 4, e com o consumo de energia das locomotivas em TJ, calculado com a Equação 1, foi possível realizar a análise das emissões, através da ferramenta IPCC *Inventory Software*, disponível gratuitamente no *site* do IPCC. A Tabela 5 demonstra os fatores de emissões do combustível fóssil, tanto para o *diesel* quanto para o bio*diesel*, possibilitando traçar um paralelo entre estes combustíveis.

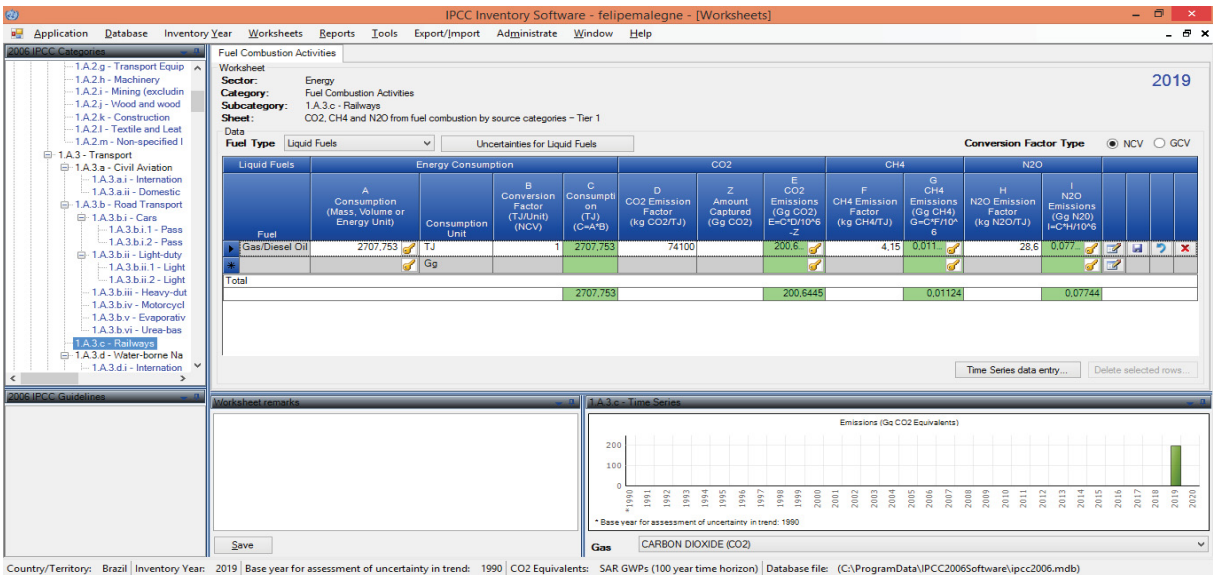
TABELA 5 - INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE - IPCC

Combustível	Emissões de CO_2 (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)
Diesel	200,64	0,01	0,08
Biodiesel - B100	191,71	0,01	0,08

FONTE: Elaborado pelo autor (2019), baseado na Ferramenta IPCC *Inventory Software*

A Figura 6 exibe a tela do IPCC *Inventory Software*, com os dados inseridos:

FIGURA 6 – FERRAMENTA IPCC *INVENTORY SOFTWARE*



FONTE: Elaborado pelo autor (2020)

4.4 COMPARATIVO ENTRE AS FERRAMENTAS

Após a análise de cada ferramenta de forma isolada, é viável realizar uma comparação entre os valores obtidos de modo a validar o inventário de emissões de GEE, principalmente para os dados de tCO_2, principal gás emitido na queima de combustíveis líquidos. A Tabela 6 contém os resultados obtidos pelo IPCC *Inventory Software*, pela ferramenta GHG *Protocol* v2019.3 e calculado de acordo com o estudo de Álvares Jr e Linke (2001):

TABELA 6 – COMPARATIVO ENTRE FERRAMENTAS

Ferramenta	**Emissões de CO_2 (t)**
IPCC *Inventory Software*	200,64
GHG *Protocol* v2019.3	208,97
Inventário de Emissões de GEE Calculado	200,55

FONTE: Elaborado pelo autor (2019)

Diante dos valores, é possível verificar que as divergências não foram significativas, tendo uma variação entre o maior e o menor valor na ordem de 4,20%, sendo o maior valor apurado pelo IPCC *Inventory Software*, de 208,97 tCO_2 e o menor, 200,55 tCO_2 pelo inventário calculado. O que demonstra que, tanto as fórmulas apresentadas para realização dos cálculos, como as duas ferramentas utilizadas, possuem um elevado índice de confiabilidade e precisão para a elaboração de um inventário de gases de efeito estufa.

4.5 MITIGAÇÃO DE EMISSÕES E COMPENSAÇÃO DE GEE

A partir dos dados de emissão total de GEE, calculou-se a quantidade de árvores nativas necessárias para compensar as emissões, sendo necessárias 1.563 mudas de árvores, que ocupariam uma área de aproximadamente 0,937 ha.

Outra alternativa de compensação seria através do mercado de crédito de carbono, no qual, compra-se créditos de carbono para compensar o CO_{2e} emitido, onde, 1 crédito de carbono corresponde a 1 tCO_{2e}, logo, seriam necessários 209 créditos para o estudo realizado. Os valores são variáveis de acordo com o mercado,

e as negociações de compra e venda desses créditos são realizadas pela BM&F BOVESPA (YABUSHITA, 2013).

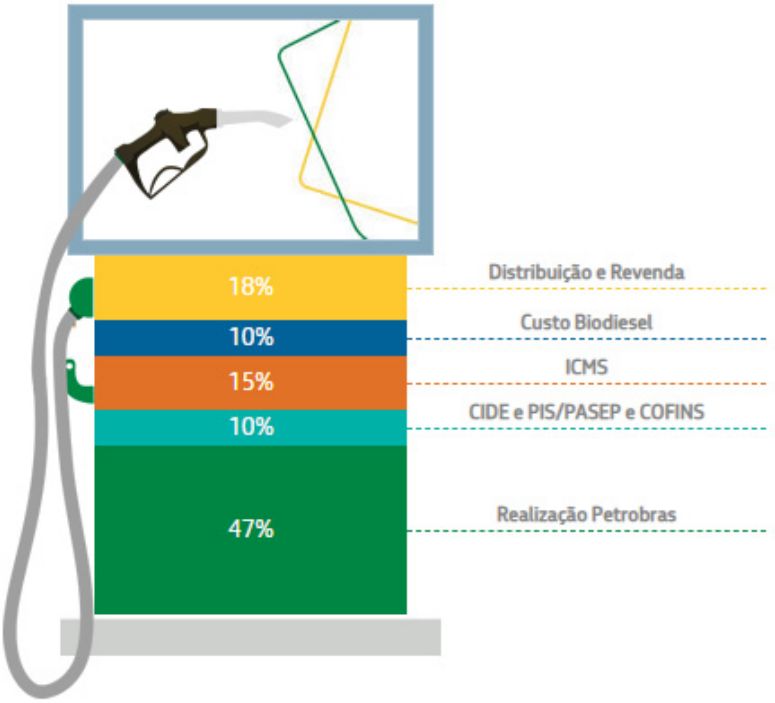
Diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo de inventários de emissões de gases de efeito estufa e alternativas para mitigar os impactos, Silva (2015) aborda as emissões de dióxido de carbono no transporte intermodal, para a soja de exportação brasileira, contendo neste estudo, os modelos de cálculos de emissão no transporte ferroviário, demonstrando o uso de diversas ferramentas, como a disponível no GHG *Protocol*, o IPCC *Inventory Software*. Yabushita (2013), demonstra um estudo no campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), fazendo um inventário através da ferramenta GHG *Protocol* e como mecanismo de compensação, o plantio de árvores nativas. Brianezi et al.(2014) por sua vez, realizam um balanço das emissões de GEE do campus-sede da Universidade Federal de Viçosa, utilizando como compensação plantio de árvores, além de levantar a possibilidade de compra de créditos de carbono. Por fim, Flizikowski (2012), aborda as emissões na construção civil através do *software* disponível na página do programa GHG *Protocol*, e para a compensação, realizou um estudo sobre sequestro de carbono, traçando um paralelo entre três tipos de florestas, *Eucalyptus, Pinus* e plantios com espécies nativas da Mata Atlântica.

4.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) através da Lei Federal 9.478/97 (Lei do Petróleo), regulamentou o mercado de óleo *diesel*, e com isso, a partir de janeiro de 2002 as importações de *diesel* foram permitidas, e seu preço começou a ser deliberado pelo mercado. A Petrobras vende o óleo *diesel* produzido pela própria empresa, por outros refinadores e importado por empresas autorizadas pela ANP, para as companhias distribuidoras em operação no país, ou para grandes consumidores, como usinas termelétricas. Desde o início 2018, passou a ser obrigatória a mistura de biodiesel no óleo *diesel* automotivo comercializado no Brasil, cuja proporção atual representa 12% do volume total do combustível, chamado de *diesel* B12. Quanto ao preço do *diesel* que chega aos consumidores nas bombas, este é composto pelo valor do produto da Petrobras, impostos, federais e estaduais, custo de aquisição de biodiesel e custos e margens de comercialização dos revendedores e distribuidores. (PETROBRAS, 2020).

A Figura 7, elaborada pela Petrobras a partir dos dados da ANP, ilustra a composição de preço do *diesel* ao consumidor, cujo período de coleta de dados compreende de 05 de julho de 2020 à 11 de julho de 2020.

FIGURA 7 – COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO *DIESEL* AO CONSUMIDOR



FONTE: PETROBRAS (2020)

Plá (2005) afirma que o biodiesel obtido através do processo de transesterificação, no qual o óleo vegetal reage com um álcool de origem etílico ou metílico, possui propriedades similares ao *diesel* de origem fóssil, podendo ser substituído em uma relação de um para um, sem que nenhuma alteração nos equipamentos seja feita. O principal atrativo do uso do biodiesel se deve às vantagens ecológicas, pois ele é renovável e biodegradável, reduzindo as emissões de gases tóxicos. Além disso, o biodiesel possui maior lubricidade que o combustível fóssil, melhorando o desempenho dos motores, e prolongando sua vida útil. No entanto, a viabilidade do seu uso depende da competitividade econômica, que tende a aumentar, na medida em que se reduza o preço da matéria-prima, como o óleo vegetal e o álcool.

Conforme consta no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, elaborado pela ANP, para o ano de 2019, o valor médio do litro do *diesel* comercializado nos postos de combustível no Brasil, já contando com os

impostos, e margem de distribuição e revenda foi de R$ 3,589, enquanto o biodiesel, somente para atender a mistura obrigatória de 12%, foi negociado no 73º Leilão de biodiesel da ANP, em junho de 2020, com o preço médio de R$ 3,537 o litro. Ou seja, o biocombustível custa mais do que o dobro do valor do combustível fóssil que chega aos distribuidores, e quase o mesmo preço do valor final do *diesel* comercializado nos postos, o que inviabiliza a substituição deste, pelo menos neste patamar.

Tendo em vista a impossibilidade de mitigar os impactos da queima do combustível fóssil, enquanto a substituição pelo biocombustível for economicamente inviável, faz-se necessário analisar a viabilidade através das medidas de compensação. O primeiro estudo realizado se baseia na fixação de carbono na biomassa, e para obter o custo do plantio de árvores nativas foi utilizada a ferramenta '#Quantoé? plantar floresta' desenvolvida pelo Instituto Escolhas. Para compensar a emissão de GEE da queima do *diesel* das locomotivas, será considerada a área calculada anteriormente de 0,937 hectare, ou 1.563 mudas, sendo utilizada como referência, mudas de Mata Atlântica Interior Estacional devido à sua localização geográfica, obtendo o custo de R$ 17.742,00 considerando todos os cuidados pelos primeiros 7 anos. A Figura 8 exibe o *layout* da ferramenta, disponível na Internet.

FIGURA 8 – SIMULAÇÃO DE CUSTO NO PLANTIO DE MUDAS

FONTE: Instituto Escolhas (2020)

Outra alternativa para compensar as emissões de gases de efeito estufa, se baseia na compra de créditos de carbono, através da bolsa de valores de São Paulo, a BM&F BOVESPA, com a nomenclatura 'Crédito de Carbono Futuros – Dez 20' com a sigla CFI2Z0, negociado em Euro, cujo valor no fechamento do mercado de 31/07/2020 foi de €26,26. O total de créditos necessários para compensar as emissões deste estudo é de 209, ou seja, seriam necessários o equivalente a €5.488,34, que convertendo para real, na cotação da mesma data no qual, um Euro foi negociado a R$ 6,15 totalizaria um montante de R$ 33.753,29.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As especificações do Programa *GHG Protocol,* forneceram uma metodologia confiável e precisa para estimar as emissões dos gases emitidos pela queima de combustível das locomotivas *diesel*-elétricas, da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, nas viagens do Expresso Turístico realizadas no ano de 2019. Sendo possível realizar um comparativo entre os cálculos baseados na metodologia IPCC e os valores obtidos através da utilização das ferramentas *GHG Protocol* e IPCC *Inventory Software*, utilizando os dados coletados na empresa, para elaborar o inventário de gases de efeito estufa, de modo a obter a quantidade de emissões de CO_2.

O inventário pode ser utilizado para a realização de atividades de conscientização ambiental dos colaboradores da empresa, principalmente se for realizado de forma contínua, anualmente, de modo a monitorar as emissões e as medidas de compensação.

Embora a forma mais comum de compensação de emissões de GEE, encontrada na literatura seja através do plantio de árvores, existem outras alternativas, que envolvem a redução de emissões por meio de alterações em equipamentos ou procedimentos, almejando uma melhor eficiência energética, ou mesmo a negociação de créditos de carbono, por meio do mercado de carbono, que irá financiar projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo.

A utilização do inventário de emissões de GEE estudado, forneceu dados para subsidiar projetos ambientais que agregariam valor a imagem do serviço turístico

oferecido, e consequentemente à empresa, fomentando ainda mais o potencial das viagens, através do turismo com a emissão de CO_2 compensada.

Quanto aos resultados aferidos neste estudo, o inventário de emissões de gases de efeito estufa, relacionado às viagens do Expresso Turístico da CPTM, obteve os valores de 200,55 tCO_2 pela metodologia IPCC, 200,64 tCO_2 com o software IPCC *Inventory Software* e 208,97 tCO_2 com o software GHG *Protocol* v2019.3. Para a mitigação do impacto ambiental causado pelo serviço, uma opção seria a substituição do *diesel* por biodiesel, tendo em vista que as emissões podem ser consideradas nulas, considerando que o carbono emitido na combustão foi fixado pela planta anteriormente pela fotossíntese, contudo, o preço praticado atualmente nos últimos leilões, inviabiliza economicamente essa opção. A alternativa mais interessante seria o plantio de 1.563 mudas de árvores nativa, que ocuparia uma área de 0,937 hectare, cujo custo estimado seria de R$ 17.742,00.

Recomenda-se para o futuro, que sejam feitos novos inventários, englobando a totalidade da empresa, sendo necessário agregar outros veículos que também emitem GEE e as próprias locomotivas na execução dos demais serviços, a título do escopo 1. Ainda recomenda-se incluir os escopos 2, tendo em vista que a quantidade de energia elétrica é extremamente expressiva, devido à principal atividade da empresa, o transporte de passageiros por trens metropolitanos elétricos, além do escopo 3.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020.** Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2020> Acesso em: 22/07/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas.** Superintendência de Estudos e Pesquisas. Núcleo de Meio Ambiente. Brasília. 2012.

ALLIS, Thiago. **Ferrovia e turismo cultural:** uma alternativa para o futuro da vila de Paranapiacaba (SP). 2002. Revista Turismo em Análise, São Paulo, v.13, nº2, nov. 2002. Escola de Comunicação e Artes. Pp 29-53. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rta/article/view/63597>. Acesso em: 18/10/2019.

ALLIS, Thiago. **Turismo, patrimônio cultural e transporte ferroviário:** um estudo sobre as ferrovias turísticas no Brasil e Argentina. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Integração da América Latina, Universidade de São Paulo, 2006. 232p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/84/84131/tde-11092007-112140/pt-br.php>. Acesso em: 16/10/2019

ÁLVARES JR, Olímpio de Melo; LINKE, Renato Ricardo Antônio. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil.** São Paulo: CETESB, 182 p, 2001. Disponível em: < https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/gases_efeito_estufa.pdf> Acesso em: 20/12/2019.

AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA (ALL) –. **Atualização do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, ano base 2013.** Curitiba: Geoklock, 2014. 34 p. Disponível em: <http://ri.rumolog.com/ptb/5258/all__inventario_2013.pdf>. Acesso em: 18/10/2019.

BEM, Sueli Ferreira de. **Contribuição para estudos das estações ferroviárias paulistas**. 1998. Dissertação (Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. doi:10.11606/D.16.2016.tde-30082016-114708. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-30082016-114708/pt-br.php>. Acesso em: 21/10/2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa – Relatórios de referência: emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – Produtos minerais (parte I)**. Brasília. 2010. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil_mcti_topdown.pdf> Acesso em: 09/07/2020.

BRIANEZI, Daniel et al. **Balanço de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa.** Floresta e Ambiente, v. 21, n. 2, p.182-191, 2014. Disponível em: <https://floram.org/doi/10.4322/floram.2014.017>. Acesso em: 20/11/2019.

CARVALHAES, Bernardo Bicalho. **Desenvolvimento de um método para medir e avaliar a eco-eficiência da operação de locomotivas.** 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_10047_Bernardo%20Bicalho.pdf>. Acesso em: 22/10/2019.

CARVALHO, Patrícia Turano de. **Balanço de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Biodiesel Produzido a Partir de Soja e Dendê no Brasil**, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/patricia_turano.pdf> Acesso em: 09/07/2019.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS (CPTM). Secretaria de Transportes Metropolitanos. **CPTM 25 Anos:** Superando desafios e eternizando conquistas. São Paulo: Bb Editora, 2017. 114 p. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/noticias/Documents/Livro%2025%20Anos%20CPTM-final.pdf>. Acesso em: 25/10/2019.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS - (CPTM). Secretaria dos Transportes Metropolitanos. **Expresso Turístico.** São Paulo, 2010. 62 p.

FIGUEIREDO, José Nelson. **Metodologia de cálculo da eficiência energética para o transporte ferroviário de carga.** 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://transportes.ime.eb.br/DISSERTA%C3%87%C3%95ES/2015%20JOS%C3%89%20NELSON%20FIGUEIREDO.pdf>. Acesso em: 24/10/2019.

FLIZIKOWSKI, L. C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais:** um estudo de caso. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. 2012. 138p. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2012/d600_0809-M.pdf>. Acesso em: 25/11/2019.

GALLO JUNIOR, Humberto et al. **Compensação de emissões de CO2 durante a 14ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Vale do Paraíba-SP**. Biofix Scientific Journal, v. 3, n. 2, p.311-318, 14 nov. 2018. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i2.61890>. Acesso em: 28/10/2019.

GHG *Protocol* Brasil. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. 75 p. Disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br> Acesso em: 30/10/2019.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. ***IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use***. v. 4. Tokyo: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf> Acesso em: 30/10/2019.

LEITE, Jussara Fernandes et al. XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2017, Joinville. **Análise do transporte ferroviário de minério de ferro:** um estudo de caso sobre a redução do consumo de *diesel* e da emissão de dióxido de carbono. Joinville: Fupac, 2017. 18 p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_248_433_34037.pdf>. Acesso em: 24/10/2019.

LIMA, Alice Medeiros de. **Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de biodiesel.** Embrapa Agroenergia. Brasília-DF, 2011. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92379/1/Alice-Documento-Custo-da-producao-de-Biodiesel-V4-final.pdf>. Acesso em 10/07/2020.

MAMEDE, Douglas; VIEIRA, Guilherme Lima; SANTOS, Ana Paula Guimarães. **Trens turísticos e patrimônio cultural: como o turismo ferroviário tem resgatado, preservado e valorizado o patrimônio cultural.** In: Caderno Virtual de Turismo, v.8, n. 2, 2008. p.81-94. Disponível em: <http://www.ivt.coppe.ufrj.br/caderno/index.php/caderno/article/view/264>. Acesso em: 22/10/2019.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). Balanço Energético Nacional – BEN-2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 25/11/2019.

OLIVEIRA, Anderson. **Mercado de Crédito de Carbono voluntário pelas empresas brasileiras:** análise sobre a (in)eficiência deste instrumento para o meio ambiente ecologicamente equilibrado. Revista Direito Ambiental e Sociedade, Caxias do Sul, 2018, p.83-105, v.8, nº1. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/download/4781/3345>. Acesso em: 23/12/2019.

PETROBRAS. **Composição de preços do diesel**: veja como funciona: petrobras. Veja como funciona: Petrobras, 2020. Disponível em:<https://petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/diesel/>. Acesso em: 22 jul. 2020.

PLÁ, Juan Algorta. Existe viabilidade econômica para o biodiesel no Brasil? Indicadores Econômicos FEE, Porto Alegre, v.32 , n.4, p. 271-294, mar. 2005. Disponível em:<https://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/download/1059/1381>. Acesso em: 22/07/2020

POMBAL, Ovídio Guilherme Correa et al. **Transporte ferroviário: avaliação do bicombustível no desempenho de locomotiva**. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2010, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 2010. p. 1 - 14. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br›anais›article› download>. Acesso em: 22/10/2019.

RESENDE, Lucas de Paula. **Simulação de Locomotiva *Diesel*-Elétrica em um Trajeto Real na Plataforma Open Modelica.** 2018. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com Habilitação em Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018. Disponível em: <http://www.ufjf.br/eletrica_energia/files/2016/11/TCC_Lucas_REVISADO.pdf>. Acesso em: 22/10/2019.

RODRIGUES, Priscila Maria Silva; SILVA FILHO, Pedro Alves da. **Quantificação das emissões de dióxido de carbono (co2) por veículos automotores na cidade de boa vista/RR – 2005 a 2015.** 7º Congresso Luso Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável. Contrastes, contradições e complexidades, 05 a 07 de Outubro de 2016, Maceió - Brasil. 2016. 12 p. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%203%20-%20Mobilidade%20e%20Transportes/Paper1612.pdf.> Acesso em: 09/07/2020.

SILVA, Rachel Jardim Medeiros da. **Metodologia de avaliação de emissões de dióxido de carbono no transporte intermodal:** um estudo de caso da soja de exportação brasileira. 2015. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-19072016-111514/publico/RachelJardimMedeirosdaSilva2015.pdf>. Acesso em: 18/10/2019.

STEFANI, Celia Regina Baider. **O sistema ferroviário paulista:** um estudo sobre a evolução do transporte de passageiros sobre trilhos. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.8.2007.tde-12022008-102649. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-12022008-102649/pt-br.php>. Acesso em: 21/10/2019.

TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** 2003. 98 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9218/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22/12/2019.

YABUSHITA, Evandro Eizo Roncaglia. **Inventário e Proposta de Gerenciamento de Gases de Efeito Estufa (GEE) na UTFPR:** estudo de caso do Campus Campo Mourão. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1631/1/CM_COEAM_2013_1_13.pdf>. Acesso em: 25/11/2019.