

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Leticia Geromel

**CUSTO DE FRETE E EMISSÃO DE GEE NA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA DE
CARRETAS POR RODOTRENS EM UMA EMPRESA DO RAMO ALIMENTÍCIO**

SOROCABA

ABRIL, 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Leticia Geromel

**CUSTO DE FRETE E EMISSÃO DE GEE NA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA DE
CARRETAS POR RODOTRENS EM UMA EMPRESA DO RAMO ALIMENTÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Florestal para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria

SOROCABA

ABRIL, 2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

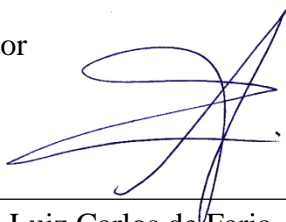
LETICIA GEROMEL

CUSTO DE FRETE E EMISSÃO DE GEE NA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA DE
CARRETAS POR RODOTRENS EM UMA EMPRESA DO RAMO ALIMENTÍCIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Florestal para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Sorocaba, 5 de abril de 2021.

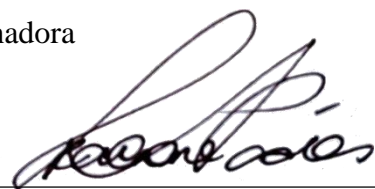
Orientador



Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *campus* Sorocaba

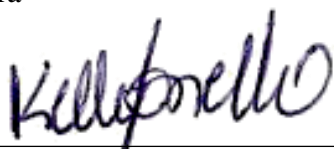
Examinadora



Profa. Dra. Franciane Andrade de Pádua

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar *campus* Sorocaba

Examinadora



Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar *campus* Sorocaba

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer à minha mãe. Uma mulher que sempre foi o exemplo para mim de profissional e de pessoa. Ela sempre me incentivou em tudo e acreditou que eu pudesse chegar até aqui. À minha irmã, pela paciência, companheirismo e ajuda, e ao resto da minha família que sempre esteve presente em todas as etapas da minha vida.

Às minhas amigas Ana Clara Moreira da Silva e Ariane Maria Brito, que desde o primeiro dia do curso estiveram comigo e passaram a dividir a vida, compartilhando e celebrando minhas conquistas até os momentos mais difíceis da graduação. Além dos meus amigos Daniel Aranha, Rafaela Batalim, Glória Leão e Mauro Baptista que foram essenciais para o meu desenvolvimento e entendimento social, sempre levantando bandeiras e defendendo seus ideais. Obrigada por me ensinarem tanto e por termos construído uma amizade tão sólida.

Às minhas amigas Karen Ouverney e Yara dos Santos, que moraram comigo durante toda a graduação. Elas me ensinaram a como pode ser divertido e confortante um lar constituído por pessoas diferentes. Obrigada por me acalmarem nas horas mais difíceis, por se preocuparem e comemorarem comigo cada conquista. Também ao Lucas Occaso, que esteve presente em grande parte de todos os momentos da minha graduação, agradeço muito pelo companheirismo e pela pessoa confiante que se tornou.

À família Ecoflorestal Jr. que desde o primeiro ano de graduação depositaram confiança em mim, confiança essa que eu cultivei durante quatro anos. A Eco foi não só uma empresa onde pude me desafiar, vencer obstáculos, bater metas e me desenvolver profissionalmente, ela foi um lugar de união, de amizades verdadeiras. Sophia Lourenço, Taís Marcondes e Felipe Risso, obrigada por fazerem parte da minha história na Eco, e pela amizade que construímos e vamos levar pra vida. Agradeço também à minha diretoria e à minha gestão, apelidada carinhosamente de “O espetáculo do crescimento”, com certeza foi o semestre mais difícil, repleto de aprendizados e alegrias que tive.

Por último e não menos importante, agradeço ao meu gestor Pedro Paulo Guedes, por disponibilizar os dados e viabilizar o este trabalho. À Profa. Dra. Franciane, que esteve comigo durante dois anos, me orientando e guiando sempre para o melhor caminho. E ao Prof. Dr. Luiz Carlos, que aceitou o desafio de me orientar e corrigir este texto, em uma época de pandemia, em que a comunicação ficou mais distante e complexa.

RESUMO

Geromel, Leticia. CUSTO DO FRETE E EMISSÃO DE GEE NA SUBSTITUIÇÃO DA FROTA DE CARRETAS POR RODOTRENS EM UMA EMPRESA DO RAMO ALIMENTÍCIO., 2021. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

RESUMO – Este estudo teve como objetivo estimar o custo do frete e as emissões de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O), provenientes da combustão do diesel, pela substituição da frota de Carretas por Rodotrens na operação entre as cidades de Novo Horizonte/SP e Alcântara/RJ de uma empresa do ramo alimentício, neste caso, o açúcar. O estudo foi implantado durante onze meses, período que pode-se calcular a diferença entre o preço dos fretes entre os dois veículos de acordo com suas respectivas capacidades de carga.. Empregou-se o método "Bottom-up", utilizando-se dados como a idade média da frota para determinação dos fatores de emissão de cada poluente e o número de viagens mensais de Carretas e Rodotrens realizadas no período de onze meses. E, ainda, os valores calculados foram convertidos para a unidade de dióxido de carbono equivalente, para que pudessem ser comparados. O Rodotrem, como embarca 60% mais carga do que a Carreta, trouxe uma economia total de R\$ 210.156,00 no período do estudo. Os valores encontrados para o veículo Carreta em todo o período foram 517.252,73kgCO_{2eq} para o CO_2 , 736,49kgCO_{2eq} para CH_4 e 5.436,03kgCO_{2eq} para o N_2O . E para o veículo Rodotrem os resultados foram de 323.338,04kgCO_{2eq} para o CO_2 , 460,39kgCO_{2eq} para CH_4 e 3.398,10kgCO_{2eq} para o N_2O . Diante dos valores de economia no custo do frete e diminuição da emissão dos GEE pelo veículo Rodotrem, sugere-se a substituição da frota da empresa de Carretas por Rodotrens.

Palavras- Chave: Logística. Transportes. Carreta. Rodotrem. Frete. Emissão de GEE.

ABSTRACT

Geromel, Leticia. COST OF FREIGHT AND GHG EMISSION IN REPLACING THE FLEET TRUCK BY ROAD TRAIN IN A FOOD COMPANY., 2021. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

ABSTRACT - This study aimed to estimate the cost of freight and emissions of greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) from diesel combustion, by replacing the Trucks fleet with Road Trains in the operation between the cities of Novo Horizonte/SP and Alcântara/RJ from a food company, in this case, sugar. The study was implemented during eleven months, a period in which the difference between the freight price between the two vehicles can be calculated according to their respective load capacities. The "Bottom-up" method was used, using data such as the average age of the fleet to determine the emission factors for each pollutant and the number of monthly trips by Trucks and Road Trains performed in the eleven month period. Furthermore, the calculated values were converted to the equivalent unit of carbon dioxide, so that they could be compared. The Road Train, as it ships 60% more cargo than the Truck, brought a total savings of R\$ 210.156,00 in the period of the study. The values found for the Truck vehicle throughout the period were 517.252,73kgCO_{2eq} for CO₂, 736.49kgCO_{2eq} for CH₄ and 5.436,03kgCO_{2eq} for N₂O. And for the Road Train vehicle the results were 323.338,04kgCO_{2eq} for CO₂, 460.39kgCO_{2eq} for CH₄ and 3.398,10kgCO_{2eq} for N₂O. In view of the savings in freight costs and the reduction in GHG emissions by the Road Train vehicle, it is suggested that the fleet of the Trucks company be replaced by Road Trains.

Keywords: Logistc. Transportation. Truck. Road Train. Freight. Greenhouse gas emission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rota da operação do estudo.....	14
Figura 2 - Carreta Convencional com capacidade de carga líquida de até 30 toneladas.....	15
Figura 3 - Carreta Convencional carregada com a capacidade de 30 toneladas.....	16
Figura 4 - Rodotrem com capacidade de carga líquida de até 48 toneladas.....	16
Figura 5 - Equipamento Dolly que auxilia na conexão dos semirreboques do Rodotrem.....	17
Figura 6 - Rodotrem carregado com a capacidade de 48 toneladas.....	17
Figura 7 - Embalagem em Big Bag onde o açúcar é ensacado para o transporte.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Quantidade de açúcar entregue na fábrica de Alcântara/RJ entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	23
Gráfico 2. Número de viagens que seriam realizadas pelo veículo Carreta em comparativo com as viagens realizadas pelo Rodotrem entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	24
Gráfico 3. Economia do frete com a utilização do veículo Rodotrem na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	25
Gráfico 4. Estimativa da emissão de CH ₄ , em quilos de CO ₂ eq, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	26
Gráfico 5. Estimativa da emissão de N ₂ O, em quilos de CO ₂ eq, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	27
Gráfico 6. Estimativa mensal da emissão de CO ₂ , em toneladas, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fator de emissão para Veículos Pesados com motores do ciclo diesel.....	20
Tabela 2. Consumo específico de Veículos Pesados movidos à diesel para o cálculo do fator de emissão	21
Tabela 3. Autonomia de Veículos Pesados movidos à diesel para o cálculo do fator de emissão.....	21
Tabela 4. Potencial de aquecimento global do CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O.....	22
Tabela 5. Valores de fretes, em reais por tonelada carregada, para Carreta e Rodotrem praticados durante o período do estudo.....	24
Tabela 6. Estimativa total da emissão dos GEE estudados durante onze meses em kg CO _{2eq}	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custos fixos e variáveis incluídos no valor do frete.....	18
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO	13
2.1. OBJETIVOS GERAIS	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. REGIÃO DE ESTUDO.....	14
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS DA OPERAÇÃO	15
3.3. CÁLCULO DO CUSTO DO FRETE NA OPERAÇÃO DE TRANSPORTE.....	18
3.3.1. O FRETE	18
3.4. CÁLCULO EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....	19
3.4.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PARA ESTIMAR AS EMISSÕES DE GEE	19
3.4.2. FATORES DE EMISSÃO DOS GEE	20
3.4.3. CÁLCULO DO DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. MAPEAMENTO E ANÁLISE DA ROTA E FRETE.....	22
4.2. ESTIMATIVA E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DE EMISSÃO DE CH ₄ e N ₂ O.....	25
4.3. ESTIMATIVA E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DE EMISSÃO DE CO ₂	27
4.4. COMPARATIVO DAS EMISSÕES GERAIS DOS GEE ESTUDADOS	28
5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6. REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

A globalização das últimas décadas levou as empresas do ramo de logística a redefinir prioridades estratégicas buscando diminuir o tempo e custo em suas operações. Isso porque a qualidade e preço não mais garantem vantagem competitiva empresarial.

O avanço tecnológico e a contínua transformação do mercado e do mundo conduziram o setor de logística a buscar soluções mais rápidas, eficientes e qualificadas para seus clientes. O objetivo das empresas é, atualmente, oferecer aos clientes um nível alto de serviço entregando o produto sem avaria, dentro do prazo e no lugar certo. O transporte é uma das atividades logísticas mais relevantes na maioria das empresas, pois o custo é, em média, um a dois terços de todas as funções que englobam a magnitude da área de logística (BALLOU, 2011).

O transporte é a operação que se refere aos muitos métodos de movimentação de produtos (BALLOU, 2011) e influencia diretamente no desempenho logístico. A escolha do melhor transporte (modal) em relação à extensão territorial e à estrutura geográfica da nação implicam diametralmente na eficiência da logística de um produto. Os modais são segmentados em ferroviário, aquaviário, aeroviário, dutoviário e rodoviário eles se diferenciam pela capacidade que cada um pode chegar a transportar, risco de acidentes ou avarias nas cargas, acessibilidade das rotas, velocidade dos veículos e impactos ambientais.

Existe uma tendência em países de grandes dimensões de concentrar sua matriz de transportes de cargas em modais de menor custo unitário (MARCHETTI e FERREIRA, 2012). A grande extensão territorial do Brasil permite a exploração de diversos modos de transporte, como o ferroviário e o hidroviário. Apesar da grande disponibilidade de rios navegáveis, o país não desfruta de maneira suprema esse potencial competitivo.

Por outro lado, quando se diz respeito a curtas distâncias e volumes pequenos, tem-se como mais eficiente o transporte rodoviário (ARNOLD, 1999). Na matriz de transportes, apresentada pelo Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS) em 2019 no Fórum Internacional de Supply Chain, o Brasil conta com uma porcentagem de 61% da produção nacional passando pelas rodovias. Isso se dá, segundo FLEURY (2000), devido a praticidade do modal, no que se refere à movimentação de diversos tipos de carga (completa ou fracionada) do ponto de origem a um destino e pelos custos, que se tornam bastante variáveis.

Com isso, uma das grandes preocupações das empresas são os preços dos fretes. Para BEULKE e BERTÓ (2001) com o passar dos anos, a maneira de elaborar os preços sofreu

alterações em função do mercado globalizado e da competitividade entre as empresas. Devido a esse contexto, muitas empresas estão procurando otimizar os custos logísticos alterando a frota vigente para uma com melhor preço e maior capacidade.

Além de procurar evitar grandes custos com o transporte, as empresas, atualmente, vêm se preocupando cada vez mais com as questões relacionadas ao meio ambiente e sustentabilidade no negócio. Neste sentido, o setor dos transportes representa uma parte significativa do consumo mundial de energia e emissão de gases de efeito estufa, estimado em 23% pela Agência Internacional de energia (IEA) e pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) (IEA, 2017; IPCC, 2014).

O aquecimento global é uma consequência da intensificação do efeito estufa, que está relacionado ao aumento da concentração de gases específicos na atmosfera terrestre. Esses gases permitem a entrada da luz solar, mas impedem que parte do calor em que a luz se transforma volte para o espaço. Por isso, com o aumento insustentável das emissões antrópicas desses gases a mudança climática é promovida, aumentando a temperatura terrestre global.

Os principais gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa são: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs) e ozônio (O_3) (EMBRAPA, 2015). Destes, o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são emitidos pela queima dos combustíveis fósseis, provenientes do petróleo (fonte não renovável), dos veículos, como o óleo diesel no transporte de carga rodoviário. Estes veículos correspondem uma parcela dos deslocamentos diários urbanos, mas são responsáveis por grande parte das emissões de GEE (CARVALHO, 2011).

Nesse contexto, este trabalho teve o objetivo de analisar o custo de frete e as emissões de gases de efeito estufa devido a substituição de Carretas por Rodotrens na operação de uma empresa líder em soluções em ingredientes de origem natural, o açúcar, entre os municípios de Novo Horizonte/SP e Alcântara/RJ.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Analisar efeito no custo de frete e nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) no devido à substituição de Carretas por Rodotrens para o transporte de açúcar, de uma empresa de ingredientes naturais, no trajeto entre os municípios de Novo Horizonte/SP e Alcântara/RJ.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o total de viagens realizadas durante o período analisado para os dois tipos de veículos no trajeto especificado.
- Coletar e analisar o custo de frete para os dois tipos de veículos no trajeto especificado.
- Estimar e analisar as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso para os dois tipos de veículos no trajeto especificado.

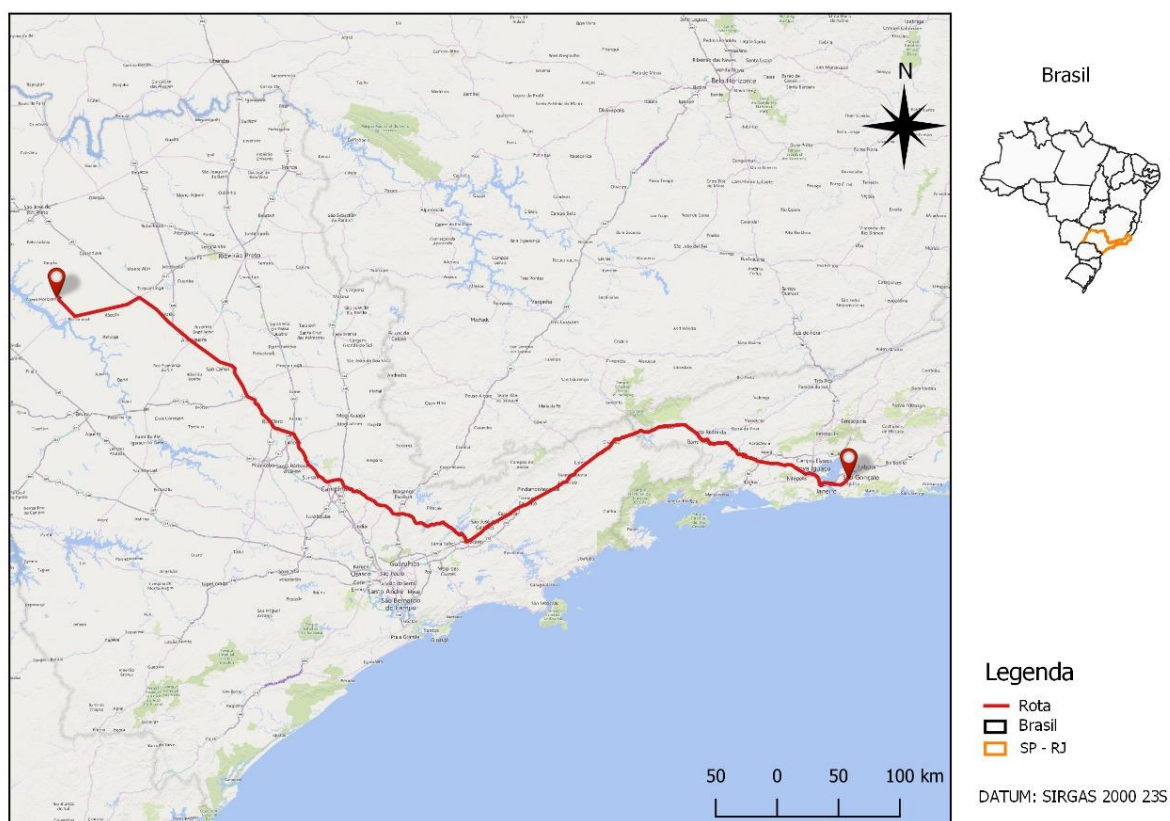
3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi baseado em um estudo de caso, que consiste na substituição da frota de veículos Carreta por Rodotrem de uma empresa global líder em soluções em ingredientes de origem natural, açúcar, localizada no município de Alcântara/RJ. Por questões de confidencialidade o nome da empresa será omitido.

3.1. REGIÃO DE ESTUDO

As análises de custo de frete e de emissões de GEE se baseiam na rota de transporte a partir da região de São José do Rio Preto, mais especificamente entre os municípios de Novo Horizonte/SP a Alcântara/RJ (Figura 1). A rota operacional estudada possui extensão de 830 km e passa pelas rodovias federais: BR-456, BR-364, BR-050, BR-116, e a estadual: RJ-104, no estado do Rio de Janeiro. A malha viária percorrida é, na maioria, rodovias já duplicadas (GOOGLE MAPS, 2020).

Figura 1 - Rota da operação do estudo.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2020).

A região de São José do Rio Preto, originalmente, consolidou-se como um importante polo econômico do Estado de São Paulo devido ao aumento da produção cafeeira. Com a produção de café em declínio na região, a cana de açúcar começou a ocupar grande parte das áreas destinadas ao agronegócio, ocupando em 2014 um terço de todo esse território (CHIARAVALLOTI, 2014). Na região está localizado também o município de Novo Horizonte que, segundo o IBGE, produziu, em 2018, 3.187.000 toneladas de cana de açúcar em 42.500 hectares de área plantada (IBGE, 2018).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS DA OPERAÇÃO

Para os cálculos operacionais referentes aos veículos Carreta e Rodotrem, foram utilizadas informações dos documentos informativos disponibilizados pela página oficial do site da DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, e homologados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO (DNIT, 2020).

A operação estudada usualmente era realizada pelo veículo pesado mais utilizado no Brasil, a Carreta Convencional. Este tipo de veículo é composto por um caminhão trator trucado com um semirreboque acoplado. No total, possui 6 eixos que possibilitam o transporte de um peso bruto total combinado (PBTC) de 48,5 toneladas. Porém, a capacidade cargueira é de até 30 toneladas (Figura 2).

Figura 2 - Carreta Convencional com capacidade de carga líquida de até 30 toneladas



Fonte: Adaptado de DNIT (2020).

O outro veículo do estudo comparativo é o Rodotrem (Figura 3), que se trata de uma combinação de dois semirreboques acoplados em um caminhão trator trucado com um total de 9 eixos que permite o transporte de um peso bruto total combinado (PBTC) de 74 toneladas.

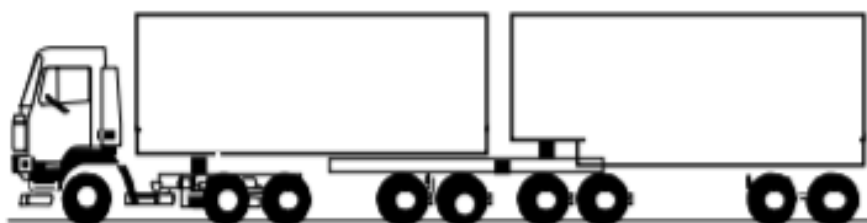
Figura 3 - Carreta Convencional carregada com a capacidade de 30 toneladas



Fonte: O Autor.

Os dois semirreboques dessa combinação são interligados por um veículo denominado *dolly* (Figuras 4, 5 e 6), o qual é responsável por auxiliar na distribuição do peso do veículo, permitindo maior transporte de carga (SERGOMEL, 2020). Assim, a capacidade de carregamento desse tipo de veículo pode chegar à 48 toneladas. Este veículo necessita de um trajeto definido para obter de autorização especial de trânsito (AET) para rodar durante o dia.

Figura 4 - Rodotrem com capacidade de carga líquida de até 48 toneladas



Fonte: DNIT, 2020.

Figura 5 - Equipamento Dolly que auxilia na conexão dos semirreboques do Rodotrem



Fonte: SERGOMEL, 2020.

Figura 6 - Rodotrem carregado com a capacidade de 48 toneladas.



Fonte: O Autor.

A frota dos dois veículos descritos é movida a óleo diesel e foram adquiridas em 2013 com o objetivo de transportar o mesmo produto, açúcar, com o mesmo tipo de embalagem. O açúcar nessa operação é carregado em embalagens de *big bags*, do inglês bolsas grandes, elas têm diversos tamanhos, mas o modelo utilizado é o que comporta 1.200kg (Figura 7). São embalagens de fácil manuseio, transporte e armazenagem e são utilizados desde os setores do agronegócio até os petroquímicos (CONTEFLEX, 2018).

Figura 7 - Embalagem em Big Bag onde o açúcar é ensacado para o transporte



Fonte: Adaptado de RAFITEC (2020)

3.3. CÁLCULO DO CUSTO DO FRETE NA OPERAÇÃO DE TRANSPORTE

O custo de frete para os dois veículos foi coletado diariamente durante onze meses, no período de outubro de 2018 a agosto de 2019. Para isso realizou-se um levantamento diário da quantidade de açúcar real entregue à fábrica de Alcântara/RJ, juntamente à equipe de logística operacional da fábrica. Assim, todos os valores de custo de frete e quantidade de açúcar foram compilados de forma mensal para apresentação neste estudo.

Diante desses volumes mensais, foi possível estimar o número de viagens realizadas para cada tipo de veículo, ou seja, calculou-se quantas vezes cada veículo percorria a quilometragem da rota (830km) ante a quantidade de açúcar recebido.

3.3.1. O FRETE

A operação de transporte de açúcar de Novo Horizonte/SP com destino a Alcântara/RJ para a fábrica é realizada por uma transportadora terceirizada. Por questões de confidencialidade, a empresa não é identificada.

O valor do frete cobrado é somente para a rota de ida da operação, por tonelada carregada, e é negociado com a transportadora juntamente com equipe de logística da empresa contratante. No valor do custo de frete estão inclusos os itens de custos descritos no quadro abaixo:

Quadro 1 – Custos fixos e variáveis inclusos no valor do frete

FIXOS	VARIÁVEIS
Salário do motorista	Combustível

Depreciação do veículo	Pneus
Financiamentos (quando houver)	Lubrificantes
Custos administrativos	Manutenção
	Lavagens e Graxas

Fonte: Empresa prestadora de serviços (2018)

Estão inclusos no valor final negociado também os impostos como PIS (Programa de Integração Social) e CONFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), e os pedágios da rota.

3.4. CÁLCULO EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Este item apresenta o embasamento teórico necessário para elaboração das estimativas de cálculo dos gases de efeito estufa, abordando os aspectos relacionados aos métodos de obtenção dos fatores de emissão e suas aplicações na modelagem da emissão de poluentes.

3.4.1. MÉTODO PARA ESTIMAR AS EMISSÕES DE GEE

No presente trabalho foi empregado o método "Bottom-up", descrito por ÁLVARES JR. e LINKE (2001), o qual é adotado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) nos Relatórios Anuais de Emissão Veicular no Estado de São Paulo e nos Inventários Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2014).

Essa metodologia permite estimar a emissão de gases de efeito estufa a partir da distância percorrida e dos fatores de emissão dos veículos (CETESB, 2014). Assim, pode-se estimar a concentração de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄), por exemplo, empregando os dados sobre a tecnologia de motorização dos veículos em questão, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão e estado de manutenção da frota (IPCC, 1996).

Para calcular a emissão dos referidos poluentes, utilizou-se a Equação 1.

$$Emiss_i = \sum FE_{iabc} \times Atividade_{abc} \quad (1)$$

Onde:

- ❖ $Emiss_i$ = emissões de um gás i (g poluente/mês);
- ❖ FE_i = fator de emissão do gás i (g poluente/km);
- ❖ Atividade = distância percorrida (km/mês);
- ❖ $i = CO_2, CH_4, N_2O$;
- ❖ a = tipo de combustível;
- ❖ b = tipo de veículo;
- ❖ c = tecnologias de controle de emissões.

Os fatores da fórmula: tipo de combustível, tipo de veículo e tecnologias de controle de emissão são tabelados pelo IPCC.

3.4.2. FATORES DE EMISSÃO DOS GEE

A variável “fator de emissão” da fórmula utilizada neste estudo é a massa de poluente emitida pelos veículos ao percorrerem a distância determinada (CETESB, 2016), que, neste estudo se refere à quilometragem de 830 multiplicada às viagens realizadas por cada veículo.

Todo ano, a CETESB publica esses valores a partir dos dados recebidos dos fabricantes ou importadores de veículos ou motores por meio dos Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) e dos Relatórios de Vendas, quando existentes. Na ausência desses, são utilizados fatores de emissão homologados ou descritos na literatura.

Baseado nesse relatório, tem-se os valores dos fatores de emissão do CH_4 e N_2O , os quais são disponibilizados em gramas por quilômetro rodado (Tabela 1).

Tabela 1. Fator de emissão para Veículos Pesados com motores do ciclo diesel

Ano	Categoria	CH ₄	N ₂ O
		(g/km)	(g/km)
2013	Caminhões Pesados	0,06	0,03

Fonte: Adaptado de CETESB (2016)

Porém, para o poluente CO_2 , o valor do fator de emissão é dado, originalmente, em g/kWh que deve ser convertido para a mesma unidade exigida na fórmula (g/km). Para essa

conversão foram utilizadas as Equações 2 e 3, as quais dependiam do consumo específico apresentado na Tabela 2 e dos valores da autonomia do veículo apresentados na Tabela 3.

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} \times \frac{g_{diesel}}{L_{diesel}} \div \frac{km}{L_{diesel}} \quad (2)$$

Onde,

$$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} = \frac{g_{poluente}}{kWh} \div \frac{g_{diesel}}{Kwh} \quad (3)$$

Tabela 2. Consumo específico de Veículos Pesados movidos à diesel para o cálculo do fator de emissão

Ano	Categoria	CO ₂	Consumo
		(g/kWh)	(gdiesel/kWh)
2013	Caminhões Pesados	669	210

Fonte: Adaptado de CETESB (2016)

Tabela 3. Autonomia de Veículos Pesados movidos à diesel para o cálculo do fator de emissão

Ano	Categoria	Autonomia
		(km/l)
2013	Caminhões Pesados	3,60

Fonte: Adaptado de CETESB (2016)

Assim, substituindo os valores das Tabelas 2 e 3 nas equações 2 e 3, foi possível calcular o fator de emissão do dióxido de carbono. Dessa forma, a fórmula ficou conforme abaixo:

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{669 \text{ g/kWh}}{210 \text{ g/kWh}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ L}} \div \frac{3,6 \text{ km}}{L}$$

Assim,

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{669 \text{ g/kWh}}{210 \text{ g/kWh}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ L}} \times \frac{L}{3,6 \text{ km}}$$

Portanto,

$$\frac{g_{poluente}}{km} = 884,92 \text{ g/km}$$

3.4.3. CÁLCULO DO DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

Para fins de comparação, o metano e o óxido nitroso devem ser analisados em dióxido de carbono equivalente, que é uma medida mundial, a qual expressa a quantidade de gases de efeito estufa em termos equivalentes à quantidade de dióxido de carbono.

Esse cálculo da estimativa total da emissão, que é apresentado pela unidade de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), utiliza a metodologia Potencial de Aquecimento Global (GWP) em horizonte de 100 anos, prevista pelo IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2015 (Tabela 4).

Tabela 4. Potencial de aquecimento global do CO₂, CH₄ e N₂O

GEE	CO ₂ eq
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Fonte: Adaptado de IPCC (2015)

Portanto, o resultado do cálculo da estimativa de emissão dos gases CH₄ e N₂O deverão ser multiplicados pelo potencial de aquecimento global, resultando na estimativa equivalente ao do gás CO₂. Assim, se permite a comparação entre eles, e as respectivas equivalências.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MAPEAMENTO E ANÁLISE DA ROTA E FRETE

O levantamento da quantidade de açúcar entregue na fábrica de Alcântara/RJ, em *big bag*, variou durante o período analisado de acordo com o Gráfico 1. Em sua totalidade, a fábrica recebeu 21.015,60 toneladas de açúcar, teve uma média de 1.910,51t mensais com desvio padrão de 329,57t no período analisado. A variação de recebimento mensal apresentada no gráfico 1 é impactada pela demanda dos produtos pelos clientes.

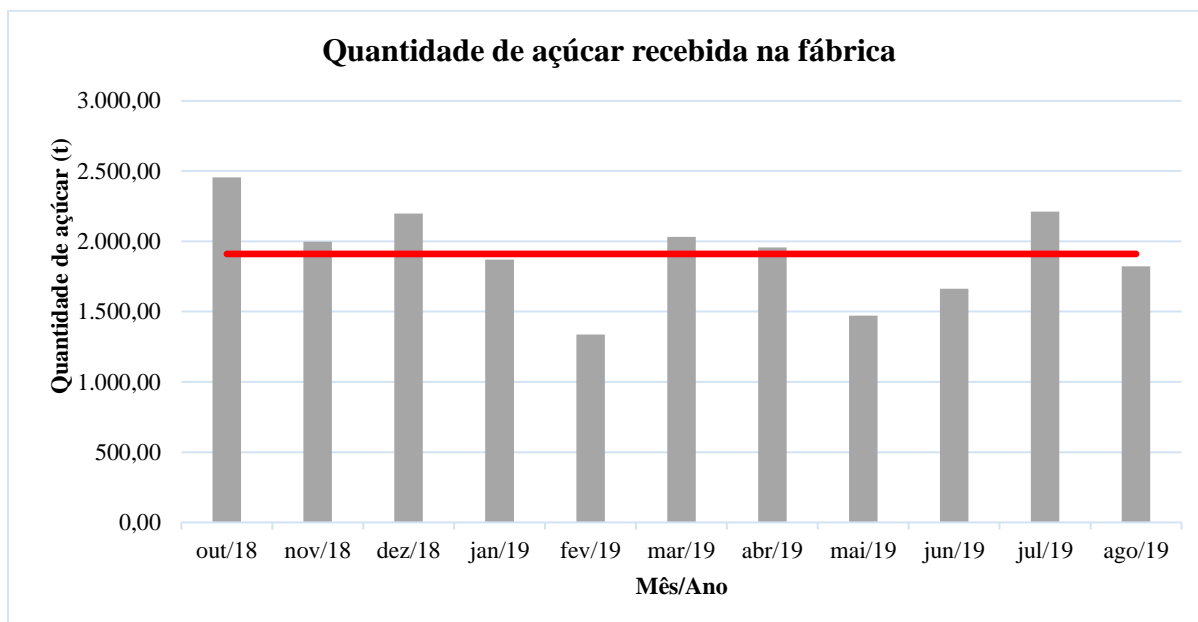


Gráfico 1. Quantidade de açúcar entregue na fábrica de Alcântara/RJ entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019. A linha vermelha representa a média do período. Fonte: O Autor.

Com a quantidade real entregue, foi possível calcular o número de viagens realizadas com os dois tipos de veículos analisados (Gráfico 2). Para a Carreta, cuja capacidade de carregamento atinge 30 toneladas, obteve-se um número de 704 viagens para o período e média mensal de 64, sendo rodados um total de 584.519 quilômetros no período. E, para o Rodotrem, que consegue carregar até 48 toneladas, obteve-se o total de 440 viagens e média mensal de 40, sendo percorridos 365.387 quilômetros no período.

Dados apresentados pela UOL (2012) mostram que, com a utilização de combinações de veículos de carga, como o Rodotrem, proporciona o transporte de 48% a 85% mais cargas do que em uma Carreta convencional. Neste caso, o Rodotrem transportou 60% mais carga que a Carreta.

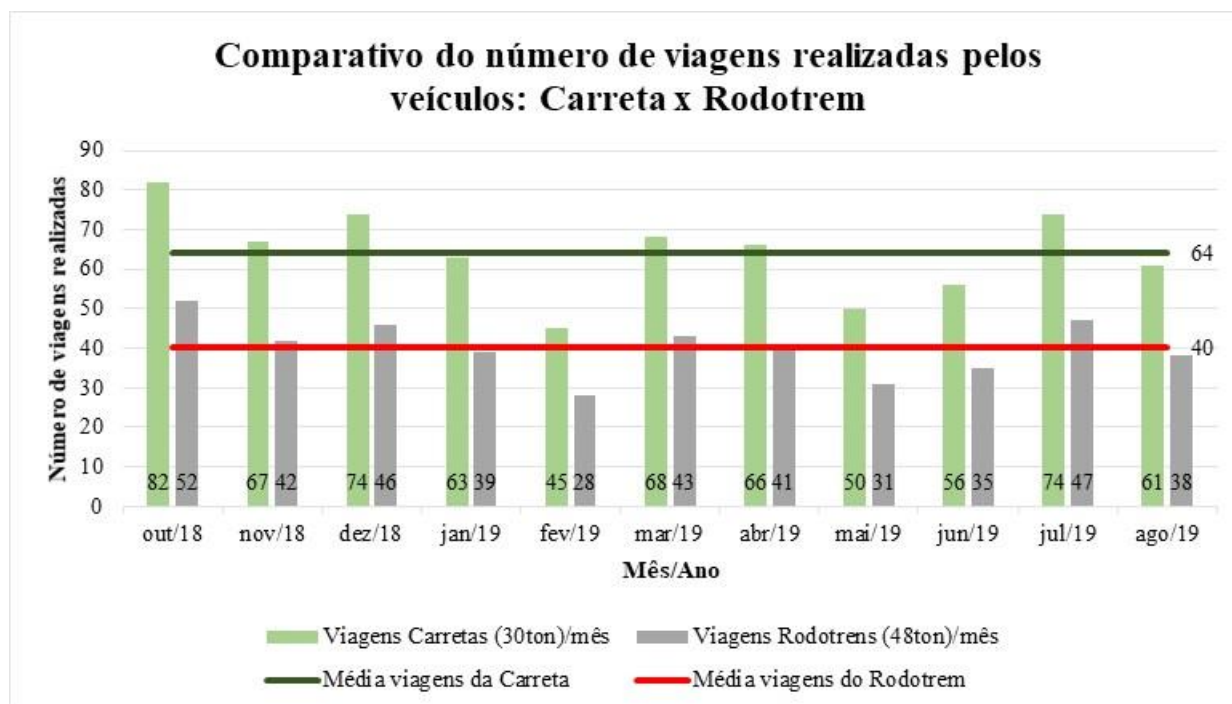


Gráfico 2. Número de viagens que seriam realizadas pelo veículo Carreta, com sua respectiva linha média em verde escuro, em comparativo com as viagens realizadas pelo Rodotrem, com respectiva linha média em vermelho, entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019. Fonte: O Autor

Com isso, foi possível verificar que, com a utilização do veículo Rodotrem, a porcentagem de viagens foi, no período analisado, de 60% a menos do que se utilizado o veículo Carreta. Portanto, quanto maior o veículo, a consolidação da carga seguem na mesma proporcionalidade, conseqüentemente, maior será ganho de escala no transporte dos produtos.

De acordo com BALLOU (2006), existem diversos fatores determinantes que influenciam na decisão do valor de um frete, como a quilometragem rodada e o volume transportado. Como esses fatores são condições equivalentes neste estudo, VALENTE et al (2013) cita demais componentes que devem variar no valor, como o porte do veículo. Este, transportando maior volume de carga em uma mesma viagem, o preço do frete se torna proporcionalmente menor (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de fretes, em reais por tonelada carregada, para Carreta e Rodotrem praticados durante o período do estudo.

Tipo de Veículo	Valor do frete (R\$/tonelada)
Carreta	180,00
Rodotrem	170,00

Fonte: O Autor

Desse modo, o valor negociado com a transportadora para realização da operação tem uma diferença de R\$10,00 por tonelada entre os veículos, resultando numa diferença de 5,88% (Gráfico 3). Assim, para o período, a empresa teve um gasto total, com o veículo Carreta, de R\$ 3.782.808,00 com média mensal de custo de R\$ 343.891,64. Enquanto o Rodotrem somou de R\$ 3.572.652,00 de custos com o frete no período e média mensal de R\$ 324.786,55.

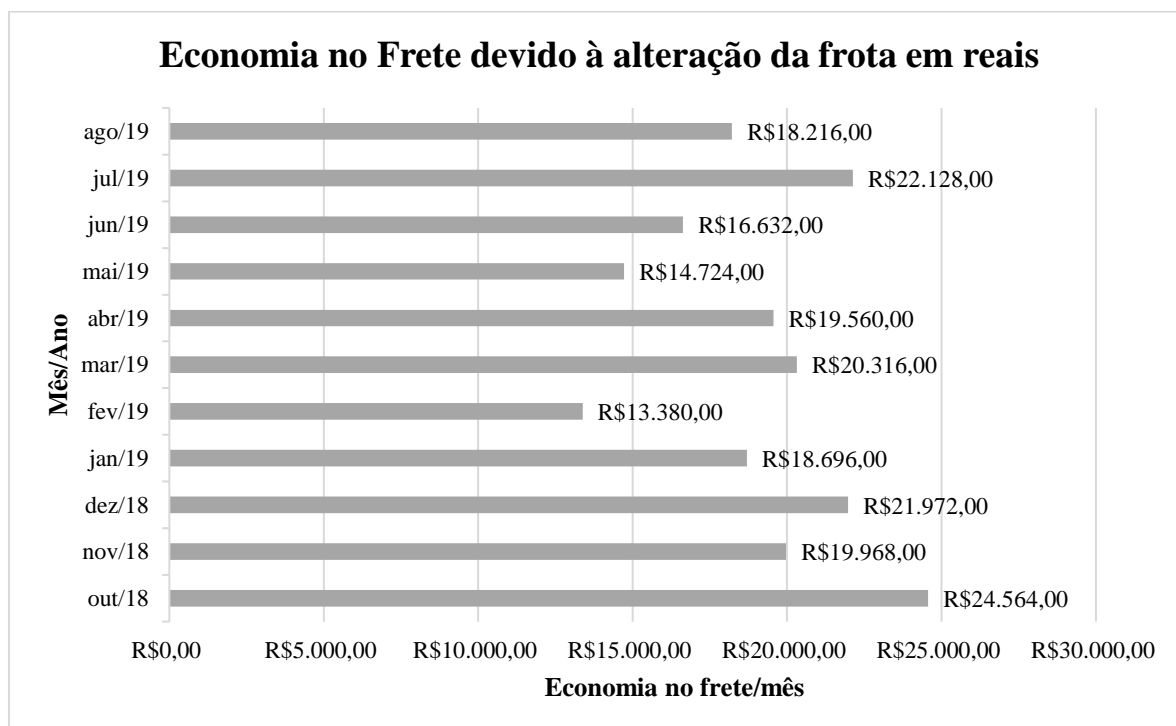


Gráfico 3. Economia do frete com a utilização do veículo Rodotrem na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019. Fonte: O Autor.

Diante disso, a utilização do Rodotrem possibilitou uma economia total de R\$ 210.156,00 no período estudado. A economia foi possível devido ao aumento da eficiência na operação devido a melhoria contínua no processo logístico, como já previa SANTOS NETO e SANTANA (2015).

4.2. ESTIMATIVA E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DE EMISSÃO DE CH₄ e N₂O

Com a rota de 830 km da operação e o número de viagens realizadas mensalmente, durante todo o período, foi possível completar a equação 1, juntamente com o valor do fator de emissão do gás em questão.

O resultado se deu na unidade gramas, porém foi transformado em quilos e multiplicado pelo potencial de aquecimento global de cada gás. O metano tem o potencial de aquecimento global igual a 21 e o óxido nitroso de 310, com isso, foi possível estimar em $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (Gráfico 4 e 5).

Para a operação em questão do CH_4 , o veículo Carreta emitiu um total de 736,49 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$, já o veículo Rodotrem, devido a sua maior eficiência de carga, apresentou menor emissão no período com um total de 460,39 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ (Gráfico 4). Como as variáveis da equação são todas iguais, diferenciando somente a capacidade dos veículos, o Rodotrem emitiu um total de 62,51% a menos do poluente.

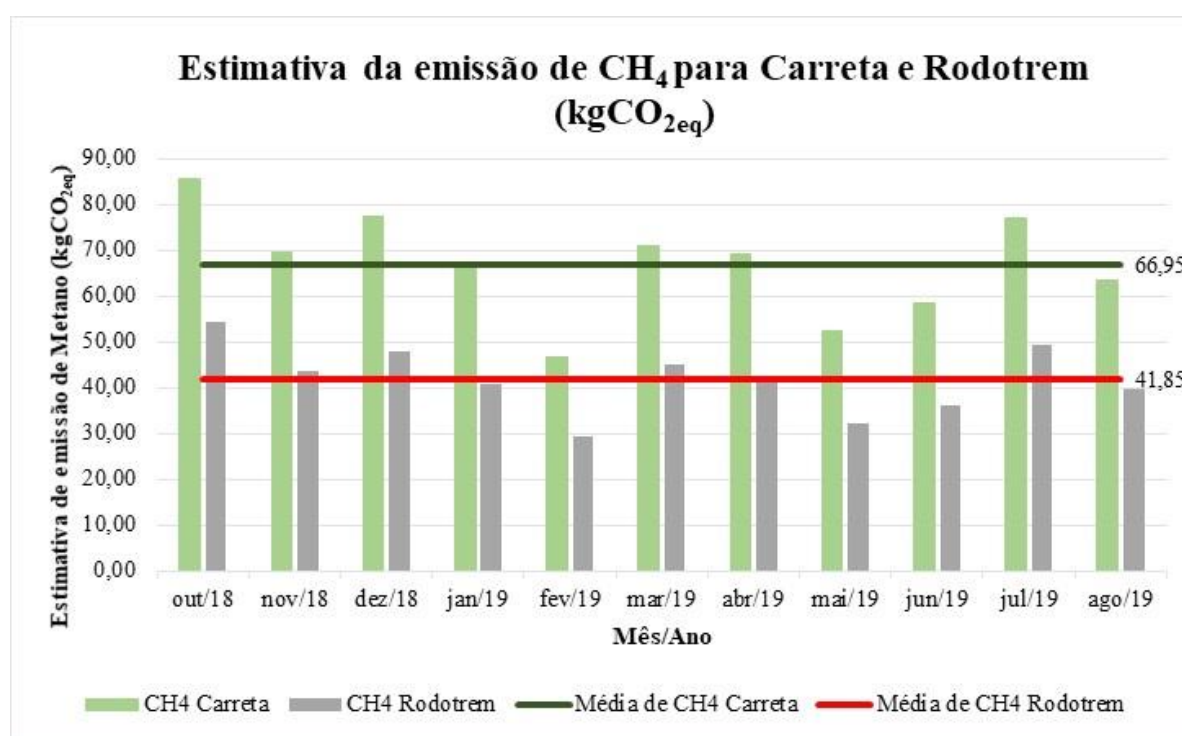


Gráfico 4. Estimativa da emissão de CH_4 , em quilos de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019, com as linhas médias de emissão de Carreta (em verde escuro) e Rodotrem (em vermelho). Fonte: O Autor.

Também para o gás N_2O , o Rodotrem teve uma ecoeficiência maior, ou seja, poluiu menos que a Carreta. Este emitiu 3.398,10 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$, comparado com a Carreta, a qual atingiu 5.436,03 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ no decorrer dos onze meses de estudo (Gráfico 5).

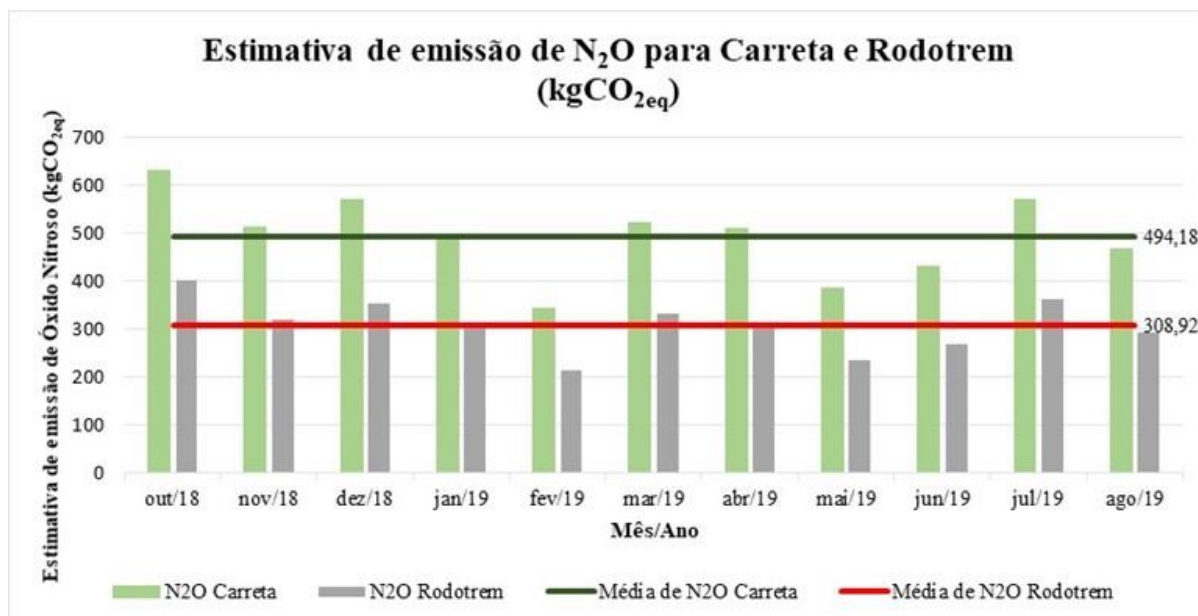


Gráfico 5. Estimativa da emissão de N₂O, em quilos de CO_{2eq}, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019, com as linhas médias de emissão de Carreta (em verde escuro) e Rodotrem (em vermelho). Fonte: O Autor.

4.3. ESTIMATIVA E ANÁLISE DOS CÁLCULOS DE EMISSÃO DE CO₂

Como no Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo o fator de emissão do CO₂ não estava na unidade requerida, realizou-se a conversão da unidade g/kWh para g/km encontrando o valor de 884,92 g/km.

Com o fator de emissão do CO₂ calculado, obteve-se as estimativas de emissão de CO₂, mensalmente e durante o ciclo do projeto (Gráfico 6). Para o veículo Carreta, a estimativa da emissão resultou em 517,25 toneladas para a operação durante todo o período, já para o veículo Rodotrem, a emissão foi igual a 323,34 toneladas de CO₂, sendo uma diferença de 193,91 toneladas do gás de um veículo para o outro.

Outro meio de comparação é o índice por meio da quantidade emitida pelo dióxido de carbono em tonelada, pelo quilômetro rodado, pela tonelada transportada. Com ele, tem-se um valor de $67,37 \times 10^{-9}$ tCO₂/km/t.transportada para a Carreta e $42,11 \times 10^{-9}$ tCO₂/km/t. transportada para o Rodotrem, ou seja, deixam de ser emitidas $25,26 \times 10^{-9}$ tCO₂/km/t. transportada pela substituição da frota.

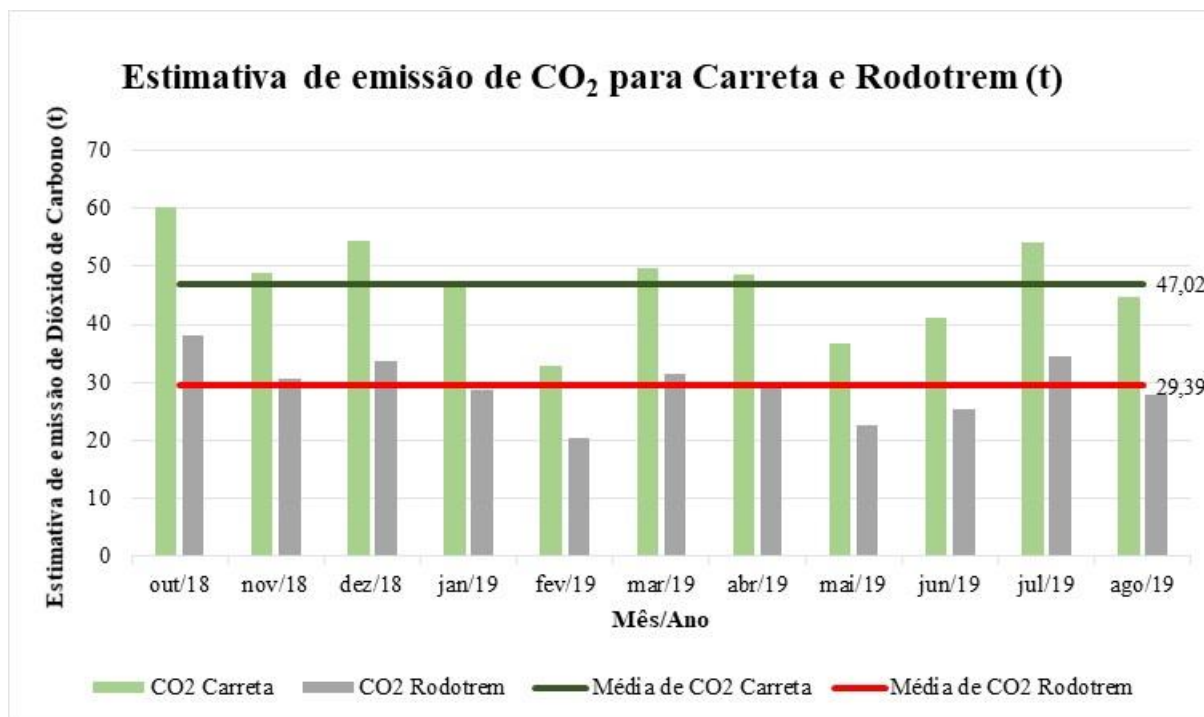


Gráfico 6. Estimativa mensal da emissão de CO₂, em toneladas, na operação entre os meses de Outubro de 2018 e Agosto de 2019, com as linhas médias de emissão de Carreta (em verde escuro) e Rodotrem (em vermelho).
Fonte: O Autor.

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) 2019, no ano de 2018 o setor de transportes correspondeu a 49% das emissões de CO₂, equivalente à 200,2 milhões de toneladas de CO₂, porém, somente 104,4 milhões é referente ao transporte de cargas. Sendo assim, se compararmos à emissão calculada durante todos os meses de estudo, a contribuição da Carreta seria maior, do que a do Rodotrem para a escala nacional.

4.4. COMPARATIVO DAS EMISSÕES GERAIS DOS GEE ESTUDADOS

Quando se fala em efeito estufa ligado às emissões veiculares, logo associa-se às emissões de CH₄ e N₂O, que contribuem diretamente com o efeito estufa pela queima do óleo diesel (combustível fóssil), porém esses gases são mais difíceis de estimar com precisão, se comparado com o CO₂.

Por conta disto, os valores foram convertidos em CO₂ equivalente, a qual trata-se de uma medida geral para comparar as emissões dos GEE a partir de seus respectivos potenciais

de aquecimento global. O gás metano apresenta 21 vezes mais potencial de aquecimento global do que o dióxido de carbono, e o óxido nitroso é 310 vezes mais poluente que o CO₂.

Entretanto, o CO₂ é o principal gás emitido pelo setor de transporte (MICHAELIS e DAVIDSON, 1996), que contribui com mais da metade do efeito estufa. Desta maneira, ele é o gás mais importante no sentido de regulação e gerenciamento do efeito estufa.

Neste trabalho, foram estimadas as emissões totais de alguns dos gases provenientes da combustão do óleo diesel, demonstrando uma diferença significativa dentre eles. Isso se dá, segundo especialistas do IPCC, porque o N₂O e o CH₄ possuem incertezas nos cálculos, que são de cerca de 50% e 40% (Tabela 6), respectivamente, devidas principalmente aos fatores de emissão.

Já o CO₂, de acordo ainda com o IPCC, a incerteza dos cálculos para esse gás fica na ordem de 5%, fazendo que os resultados estimados sejam muito próximos da realidade devido ao fator de emissão agora mais preciso, do que os generalizados dos outros gases.

Tabela 6. Estimativa total da emissão dos GEE estudados durante onze meses em kgCO_{2eq}

Gás (kgCO _{2eq})	Tipo de Veículo	
	Carreta	Rodotrem
CO ₂	517.252,73	323.338,04
CH ₄	736,49	460,39
N ₂ O	5.436,03	3.398,10
Total	523.425,25	327.196,53

Fonte: O Autor

Em totalidade, foram emitidos 523.425,25 kgCO_{2eq} para o veículo Carreta e 327.196,53 kgCO_{2eq}, desses, sem considerar o grau de incerteza, 98,82% são emissões somente de dióxido de carbono, 0,14% emissões de metano e 1,04% dos totais lançados à atmosfera foram de óxido nitroso. Rodrigues (2020) em seu artigo, relatou as seguintes porcentagens, sendo elas próximas às encontradas nesse estudo. A taxa de CO₂ foi de 99,12%, CH₄ de 0,08% e N₂O representou 0,8% do total.

As pesquisas realizadas disponíveis na literatura são predominantemente sobre o CO₂ no setor de transporte como um todo, por conta de ser o gás principal. Com isso, há escassez de pesquisas para os outros gases, por representarem uma taxa extremamente baixa se comparada com o CO₂.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho proporciona a oportunidade de reduzir, com a utilização da frota composta por Rodotrens, ao invés de Carretas, na rota de Novo Horizonte/SP x Alcântara/RJ, o custo no frete, aumentando a eficiência na operação e desta forma permitindo uma melhoria constante no processo logístico.

Além disso, foi possível comprovar, através da metodologia "Bottom-up", que a emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, emitidos pelo veículo Carreta é maior do que a quantidade dos respectivos gases emitidos pelo veículo Rodotrem. Dessa forma, utilizando a frota de Rodotrens minimiza-se o impacto na emissão desses poluentes que influenciam no efeito estufa. E, como consequência, contribuem para a elevação da temperatura do planeta.

Com base nos resultados encontrados no custo do frete e na comparação dos valores estimados dos GEE, sugere-se a substituição da frota de Carretas por Rodotrens, pela economia no valor do frete e pela redução na emissão de GEE na atmosfera.

6. REFERÊNCIAS

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.

ARNOLD, J. R. Tony. **Administração de materiais**. São Paulo: Atlas, 1999.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial – Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. 2 Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BEULKE, Rolando; BERTÓ, Dalvio José. **Estrutura e análise de custos**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Dados Emissões Veiculares 2014**. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/relatorios-e-publicacoes/>>. Acesso em: 24 junho 2020.

CHIARAVALLLOTI, R. M. et al. **Efeitos da expansão da cana de açúcar no sudeste do Mato Grosso do Sul e possíveis caminhos para uma agenda sustentável**. Sustentabilidade em Debate, Brasília, DF, p. 117-135, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **O transporte move o Brasil: resumo das propostas da CNT ao país**. Brasília: CNT, 2019.

CONTEFLEX, **O que são big bags? Conheça as vantagens das embalagens flexíveis**, 2018. Disponível em: <<http://blog.conteflex.com.br/o-que-sao-big-bags-conheca-as-vantagens-das-embalagens-flexiveis/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2020.

DNIT, **Departamento Nacional de Infraestrutura e transportes**, 2020. Disponível em:<<https://www.gov.br/pt-br/orgaos/departamento-nacional-de-infraestrutura-de-transportes>>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Efeito Estufa**, 2015. Disponível em:< <https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=agrog>>. Acesso em: 11 de Abril de 2020.

FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter; FIGUEIREDO, Kleber Fossati. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

GOOGLE, MAPS. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/preview>>. Acesso em: 15 de setembro de 2020

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**. IBGE, 2018. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/novo-horizonte/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 02 de abril de 2020.

IEA, **CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights**, 2017. Disponível em:<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>>. Acesso em: 19 de Abril de 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Reference Manual**, v. 3, 1996. Disponível em:<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref1.pdf>>. Acesso em: 7 junho de 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland, 2014.

MARCHETTI, Dalmo dos Santos; FERREIRA, Tiago Toledo. **Situação atual e perspectivas da infraestrutura de transportes e da logística no Brasil** In: BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, p. 232-270, 2012.

MMA, **Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final**. Ministério do Meio Ambiente. Jan, 2014.

RAFITEC, **Big bag alça topo**, [S.I.] 2020. Disponível em:<<https://www.rafitec.com.br/produtos/big-bag-com-alca-topo/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2020.

RODRIGUES, Rafael das Neves Mota. **Avaliação de Diferentes Metodologias de Quantificação das Emissões de Gases com Efeito Estufado Transporte Rodoviário – Caso de Estudo da SUMOL + COMPAL**. Lisboa, Portugal, 2020.

SANTOS NETO, Ubaldino José dos; SANTANA, Lídia Chagas de. **Logística e serviço ao cliente como estratégia competitiva**. Revista de Iniciação Científica – RIC Cairu, Salvador, p.97-111, 01 junho 2015.

SERGOMEL, **Descubra o que é um dolly para caminhão/carreta**, 2020. Disponível em:<<https://www.sergomel.com.br/conteudo/descubra-o-que-e-um-dolly-paracaminhao.html>>. Acesso em: 28 de agosto de 2020.

UOL. **Rodotrens, para avançar**. Paraná, 2012. Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/blogs/opiniaio/Rodotrens-para-avancar/>>. Acesso em: 23 maio de 2020.

VALENTE, Amir Mattar. et al. **Gerenciamento de transporte e frotas**. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.