



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS**

TAMIREZ LOUISE SANTOS LIMA

Magister Scientiae

**BALANÇO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA EMISSÃO EM DUAS SITUAÇÕES
DE TRANSPORTE MADEIREIRO NA AMAZÔNIA: UNIMODAL E INTERMODAL**

**CUIABÁ, MT
2022**

TAMIREZ LOUISE SANTOS LIMA

BALANÇO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA EMISSÃO EM DUAS SITUAÇÕES DE
TRANSPORTE MADEIREIRO NA AMAZÔNIA: UNIMODAL E INTERMODAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert

CUIABÁ, MT
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L732b Lima, Tamires Louise Santos.
BALANÇO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA EMISSÃO
EM DUAS SITUAÇÕES DE TRANSPORTE MADEIREIRO NA
AMAZÔNIA: UNIMODAL E INTERMODAL / Tamires Louise
Santos Lima. -- 2022
95 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho.
Co-orientador: Renato Cesar Gonçalves Robert.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2022.

1. Logística Florestal. 2. Intermodalidade. 3. Gases de Efeito
Estufa. 4. Sequestro de Carbono. 5. Transporte Rodoviário. I.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: BALANÇO DO DIÓXIDO DE CARBONO PELA EMISSÃO EM DUAS SITUAÇÕES DE TRANSPORTE MADEIREIRO NA AMAZÔNIA: UNIMODAL E INTERMODAL.

AUTORA: MESTRANDA TAMIRES LOUISE SANTOS LIMA

Dissertação defendida e aprovada em 31 de março de 2022.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. DOUTORA MARIANA PERES DE LIMA CHAVES E CARVALHO (Presidente Banca / Orientadora)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - PPGCFA/ SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - MAPA

2. DOUTOR RENATO CESAR GONÇALVES ROBERT (Coorientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

3. DOUTOR LEANDRO DUARTE DOS SANTOS (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: PERITO AUTÔNOMO

4. DOUTOR SAMUEL DE PÁDUA CHAVES E CARVALHO (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO/SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - MAPA

CUIABÁ, 31/03/2022.



Documento assinado eletronicamente por **MARIANA PERES DE LIMA CHAVES E CARVALHO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 31/03/2022, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato Cesar Gonçalves Robert, Usuário Externo**, em 01/04/2022, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Duarte dos Santos, Usuário Externo**, em 02/04/2022, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **SAMUEL DE PADUA CHAVES E CARVALHO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 04/04/2022, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4561019** e o código CRC **08D7CC1E**.

Referência: Processo nº 23108.025657/2022-09

SEI nº 4561019

Aos meus pais, Cylene e João, os
quais me dão todo o suporte na vida
e estão sempre presentes, mesmo
quando longe fisicamente.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é a minha mãe e ao meu pai, Cylene Santos Lima e João do Espírito Santo Lima, que me incentivaram a fazer esse mestrado, me incentivam a ser uma pessoa melhor sempre, me incentivam desde sempre a conquistar o mundo, em qualquer decisão que eu tome, contanto que eu seja feliz. Vocês são meus melhores amigos. Vocês são maravilhosos.

Gratidão às minhas irmãs Winnee e Jordana, grandes influências na minha vida desde sempre. Mulheres maravilhosas, que eu amo demais. Sou um tanto grata ao universo por ter me agraciado com vocês na minha vida.

Gratidão a grande pesquisadora que escolhi para ser minha orientadora dessa etapa, Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho. Obrigada pela paciência, pelas ideias e por ser tão atenciosa comigo. Você é sem dúvidas uma grande inspiração para muitos alunos como eu, com sua animação para nos ensinar e pela nossa linda profissão.

Agradeço também ao meu coorientador, Renato Cesar Gonçalves Robert, por me apresentar a minha orientadora na expedição Brasil Norte Sul. Essa expedição me proporcionou muitos aprendizados e boas experiências junto com outros estudantes de engenharia florestal de outras universidades. Tenho certeza que não fui a única com essa sensação. Obrigada também por ajudar com a obtenção de parte dos dados para essa pesquisa.

Meu muito obrigada também a empresa ONF Brasil Gestão Florestal, a qual me encontro trabalhando atualmente, e que me apoiou muito além dos dados fornecidos para parte dessa pesquisa, mas para que eu terminasse meu mestrado tranquila enquanto exerço minha função nela.

Muito obrigada a empresa Amata S.A., por ajudar com informações para desenvolvimento desse trabalho. Especialmente ao Cristian Rubim, pela paciência em esclarecer dúvidas.

Gratidão aos meus amigos que a vida trouxe, que me escutam em muitos momentos necessários, me acolhem: Jéssica, Iago, Marjorie, Maria Júlia, Isabela, Ana Maria, Carol, Juliana, Thaisa, Giovanni, Natasha, Bruna, Rafael e Veridiana.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), ao qual agradeço pela concessão da bolsa de estudos.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

RESUMO

LIMA, Tamires Louise Santos M. Sc. Universidade Federal de Mato Grosso, Março de 2022. **Balanco do dióxido de carbono pela emissão em duas situações de transporte madeireiro na Amazônia: unimodal e intermodal.** Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho. Coorientador: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert.

Os produtos madeireiros são considerados um reservatório de carbono, devido às árvores assimilarem esse componente à sua matéria durante seu processo de desenvolvimento. Principalmente quando são atribuídos a usos que perduram por anos, comum a produtos de madeira serrada. Entretanto, até que esses sejam distribuídos a seus mercados consumidores, ocorre o amplo consumo de energia pela queima de combustíveis fósseis e emissão de gases poluentes na atmosfera, devido as longas distâncias percorridas. O transporte ocorre por uma única ou mais modalidades: rodoviária, hidroviária (marítima, lacustre ou fluvial), ferroviária, dutoviária ou aérea. Consequentemente, há de se considerar que o estoque líquido de carbono é minimizado pelas atividades emissoras. Essa problemática serviu de base para a realização deste trabalho, com o objetivo de analisar o balanço da emissão de dióxido de carbono pelo transporte florestal dos diferentes modais e o sequestro na madeira transportada. O trabalho se estruturou na forma de dois artigos. O primeiro avaliou o cenário das emissões pelo escoamento da madeira de uma Exploração de Impacto Reduzido, em Rondônia, mediante rodovias e hidrovias em território brasileiro e modal marítimo para o encaminhamento ao mercado externo. O segundo artigo avaliou as emissões do transporte inteiramente rodoviário para escoamento da madeira de uma exploração de impacto reduzido no Mato Grosso até as cidades brasileiras consumidoras. Para o cálculo do carbono previamente fixado nas árvores e estocado na madeira foi calculada a massa seca, equivalente a biomassa; e então os teores de carbono e dióxido de carbono médios para madeira amazônica, como descrito em literaturas pesquisadas. Obteve-se, portanto, o total de dióxido de carbono nas cargas transportadas entre áreas de manejo florestal e serrarias e até os mercados consumidores. Foram utilizadas equações para cálculo das emissões pelo transporte, utilizando fatores de emissão equivalente ao modal do trecho, a distância percorrida e o peso da carga. No artigo I, o modal rodoviário, com emissão de 4.665,26 tCO₂ em distância máxima de transporte de 7.086,1 km percorridos foi mais poluente do que o hidroviário e marítimo, emissores de 2.715,94 tCO₂ em 41.304 km juntos. A relação da emissão de CO₂ ao estoque total nas toras transportadas foi de 19,8%. No artigo II, foram 2.211,35 tCO₂ emitidos em 39.516,8 km de deslocamentos entre área de manejo florestal e serraria e as sete cidades brasileiras que receberam a madeira serrada. Dessa maneira, a emissão pelos veículos de transporte equivale a 15,46% do estoque de CO₂ na madeira. Conclui-se que para os dois cenários analisados, o transporte no geral, não reduziu todo o estoque líquido de carbono presente na madeira explorada, havendo um balanço positivo, e o modal rodoviário é consideravelmente mais poluente do que o escoamento hidroviário.

Palavras-chave: Logística Florestal. Intermodalidade. Gases de Efeito Estufa. Sequestro de Carbono. Transporte Rodoviário

ABSTRACT

LIMA, Tamires Louise Santos. *M. Sc.* Universidade Federal de Mato Grosso, March, 2022. **Carbon dioxide balance through the emission in two situations of lumber transport in the Amazon: unimodal and intermodal.** Advisor: Prof^a. Dr^a. Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho. Co-advisor: Prof. Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert.

Wood products can be considered a carbon reservoir, as trees assimilate this component to its matter during growth process. Especially when they are attributed to uses that last for years, as sawn wood products. However, until these are delivered to their consumer markets, historically there is a large consumption of energy by burning fossil fuels and emission of polluting gases to the atmosphere, due to the long distances traveled. Transport is characterized by a single or more than one modality: highways, waterways, seas, railways, pipelines or air. Consequently, it must be considered that the net carbon stock is minimized by the emission of this activities. This problem guided the present work, with the objective of analyzing the balance of carbon dioxide emission of forest transport in different modes and the sequestration in transported logs. This work was divided into two articles. In Article I the scenario evaluated was the emissions by log transport of a Low-Impact Logging in Rondonia state, through highways and waterways in Brazilian territory and maritime modal to the foreign market. In Article II it was evaluated the emissions of the log transport, entirely through roads of the timber from a Low-Impact Logging in Mato Grosso state to the customer brazilian cities. To calculate the carbon fixation and log stocking the dry mass was calculated, that is equivalent to biomass. Then, carbon and carbon dioxide medium contents was estimated for amazon timber, as described in some literatures. Therefore it was found the total carbon dioxide in the transported cargo between forest management area and sawmills, and until the consumer markets. Equations were used to calculate emissions from transport, using each emission factor equivalent to the modal, the distance traveled and the weight of the cargo. In article I, the road modal, with emission of 4,665.26 tCO₂ throughout the 7,086.1 km transport maximum distance traveled , was more polluting than waterway and maritime, that emitted 2,715.94 tCO₂ throughout 41,304 km, together. The proportion of CO₂ emissions to the total stock of transported logs was 19.80%. In article II, 2,211.35 tCO₂ were emitted in 39,516.8 km between the forest management area and the sawmill, and the seven Brazilian cities that received the sawn wood. In this way, the emission by trucks is equivalent to 15.46% of the CO₂ stock in the wood. It is concluded that for the two analyzed scenarios, transport, in general, did not reduce the entire net stock of carbon present in the trees, thus the carbon balance is positive, and road modal is considerably more polluting than the flow by river and sea.

Keywords: Forest Transport. Intermodality. Greenhouse Gases. Carbon Sequestration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1 - Matriz de transporte de cargas no Brasil. Fonte: CNT, 2020.....	22
Figura 2 - Caracterização da carga transportada pela malha rodoviária brasileira. Fonte: ANTF (2021).....	25
Figura 3 - Densidade da malha ferroviária de alguns países em comparativo com o Brasil. Fonte: ANTF (2021).....	26
Figura 4 - Carregamento de madeira de eucalipto em vagão de trem.....	26
Figura 5 - Comparação de modais de transporte brasileiro com os de países de dimensões espaciais semelhantes.....	28
Figura 6 - Matriz de Transportes nos países (% de TKU). Fontes: ILOS (Brasil); National Bureau of Statistics of China, Bureau of Transportation Statistics (EUA), Eurostat (UE), North American Transportation Statistics (Canadá), Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development (Austrália), Statistics Bureau (Japão).....	28

ARTIGO I

Figura 1. Representação da Unidade de Manejo Florestal III dentro da Flona do Jamari, em Rondônia.....	46
Figura 2. Localização das UPAs na UMF III.....	47
Figura 3. Fluxograma do transporte intermodal da madeira da UPA 12, explorada na Flona do Jamari, com distâncias entre origens e destinos e percentagens de volume de madeira transportadas a cada destino. Fonte: Elaborado pela autora.....	51
Figura 4. Tipos de Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. Fonte: Machado <i>et al.</i> (2000), adaptado pela autora.....	54
Figura 5. Rotas marítimas Rotterdam (Holanda) – Itacoatiara (Brasil), Rotterdam (Holanda) – Paranaguá (Brasil) e Itacoatiara – Shanghai (China) Fonte: http://www4.pucsp.br/artecidade/mg_es/portugues/territorio/infra/trans01.htm , adaptado.....	53
Figura 6. Comparativo da CNA entre modais rodoviário, ferroviário e hidroviário.....	54
Figura 7. Balanço da emissão de dióxido de carbono pelo transporte da madeira.....	55

Gráficos 1 e 2. Balanço de CO ₂ armazenado em floresta manejada (1) e madeira transportada (2) e pelos veículos desse transporte.....	64
--	----

ARTIGO II

Figura 1. Localização da Fazenda São Nicolau, à margem do rio Juruena, na rodovia MT 208.....	75
Figura 2. Infraestruturas da Unidade de Produção Anual 2 e sua localização da área na Fazenda (mapa menor, no canto direito)	76
Figura 3. Tipos de veículos articulados e Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. Fonte: Machado <i>et al.</i> (2000), adaptado pela autora.....	81
Figura 4. Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. A) Cavalo Mecânico com semi-reboque; B) Biminhão; C) Biminhão.....	81
Figura 5. Distâncias entre origens e destinos e percentagem dos volumes carregados a cada um dos destinos nos transportes primário e secundário	82
Figura 6. Balanço da emissão de dióxido de carbono pelo transporte da madeira.....	83
Gráfico 2. Estoque de CO ₂ em madeira destinada às diferentes cidades brasileiras (em verde) <i>versus</i> emissões veiculares (em laranja)	87

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Emissões de GEE no Brasil em 2020	31
---	----

ARTIGO I

Tabela 1. Espécies exploradas na Unidade de Produção Anual 12, na Flona do Jamari, em Rondônia, e suas características pesquisadas em bases de dados científicas para cálculo de estoque de carbono	47
Tabela 2. Resultados das emissões veiculares do transporte florestal primário	57
Tabela 3. Resultados das emissões veiculares do transporte florestal secundário	58
Tabela 4. Resultados das emissões do transporte florestal terciário, com 50% da carga escoada através de hidrovias e 50% rodovias	58
Tabela 5. Resultados das emissões do transporte florestal quaternário, inteiramente marítimo.....	60
Tabela 6. Emissão de CO ₂ no transporte de madeira em tora para as espécies da exploração da UPA 12, por 1.000 km.....	61
Tabela 7. Resultados do balanço entre o quanto tem de dióxido de carbono fixado e o quanto foi emitido pelos transportes primário, secundário, terciário, quaternário, e o total dos quatro	63

ARTIGO II

Tabela 1. Espécies exploradas na Unidade de Produção Anual 2 e suas características pesquisadas em bases de dados científicas para cálculo de estoque de carbono.....	77
Tabela 2. Resultados da emissão pelo transporte primário.....	85
Tabela 3. Resultados das emissões no transporte secundário.....	85
Tabela 4. Balanço de CO ₂ de acordo com o destino.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMF.....	Área de Manejo Florestal
ANTF.....	Associação Nacional Dos Transportadores Ferroviários
CNT.....	Confederação Nacional do Transporte
COP26.....	Convenção das Partes
CVR.....	Coeficiente de Rendimento Volumétrico
CVC.....	Composições Veiculares de Carga
DAP.....	Diâmetro a altura do peito
GEE.....	Gás de Efeito Estufa
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC.....	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
Kg.....	Quilos
Km.....	Quilômetro
Km ²	Quilômetro ao quadrado
m ³	Metro cúbico
ONF.....	<i>Office National des Forêts</i>
PIB.....	Produto Interno Bruto
PNMC.....	Política Nacional sobre Mudança do Clima
REDD.....	Redução de Emissões Provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal
SFB.....	Serviço Florestal Brasileiro
t.....	toneladas
TKU.....	Tonelada por quilômetro útil
UNEP.....	<i>United Nations Environment Programme</i>
UMF.....	Unidade de Manejo Florestal
UPA.....	Unidade de Produção Anual

LISTA DE SÍMBOLOS

CH ₄	Metano
CO.....	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Carbono equivalentes
<i>D_b</i>	densidade básica média por espécie explorada, em t/m ³ ;
HFC.....	Hidrofluorocarbonetos
H ₂ O.....	Água
N ₂ O.....	Óxido Nitroso
NO _x	Óxido de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
PFCs.....	Perfluorocarbonetos
SF ₆	Hexafluoretos de enxofre
SO ₂	Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

RESUMO	9
1. INTRODUÇÃO GERAL	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Manejo Florestal.....	19
2.2 Conceitos e usos da madeira tropical amazônica.....	20
2.3 Transporte.....	21
2.3.1Rodoviário.....	22
2.3.2Hidroviário.....	24
2.3.3 Ferroviário.....	25
2.3.4 Dutoviário.....	26
2.3.5 Aéreo.....	27
2.4 Matriz mundial de transporte.....	27
2.4.1 Matriz brasileira.....	29
2.4.2 Multimodalidade e Intermodalidade.....	29
2.5 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).....	30
2.5.1 Setor Industrial.....	32
2.5.2 Setor de energia.....	32
2.5.2.1 Subsetor de transporte.....	33
2.5.3 Setor Agropecuário.....	33
Referências.....	33
3. ARTIGO I: ESTUDO DE CASO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM TRANSPORTE INTERMODAL DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA EXPORTAÇÃO.....	40
3.1 Introdução	41
3.2 Material e Métodos.....	44
3.2.1 Caracterização da área.....	44
3.2.2 Cálculo do carbono presente na madeira.....	46
3.2.3 Cálculo da emissão de dióxido de carbono pelos transportes.....	49
3.2.4 Balanço entre CO ₂ estocado e emitido.....	54
3.3 Resultados e Discussão.....	55
3.4 Conclusões.....	64
.....Referências.....	65

4	ARTIGO II: BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO EM TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA MERCADO INTERNO BRASILEIRO.....	70
4.1	Introdução geral.....	71
4.2	Material e Métodos.....	74
4.2.1	Caracterização da área de estudo.....	74
4.2.2	Cálculo do estoque de carbono nas árvores exploradas.....	77
4.2.3	Cálculo de emissão pelo transporte.....	81
4.2.4	Balanço entre CO₂ estocado e emitido pelo transporte.....	84
4.3	Resultados e discussão.....	85
4.3.1	Cálculo da biomassa e dióxido de carbono fixado.....	85
4.3.2	Cálculo da emissão de gases pelo transporte rodoviário.....	85
4.3.3	Balanço final entre o fixado e o emitido.....	87
4.4	Conclusões.....	89
	Referências.....	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94

1. INTRODUÇÃO GERAL

A mudança do clima da Terra é uma preocupação global, afetando a biodiversidade do planeta, a vida humana, além dos modos de produção. A queima de combustíveis fósseis aumentando a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, a degradação dos diferentes ecossistemas pelas atividades antrópicas vem por intensificar o aquecimento global. Com isso, torna-se cada vez mais necessária a conscientização acerca da obtenção de recursos naturais de forma mais sustentável, com esse viés também nas análises de logísticas de produção melhores.

No cenário de mudanças do clima a busca por alternativas a produtos que gerem menos impacto ao meio ambiente é preferível, uma vez que uma mercadoria cujos processos para obtê-la sejam mais complexos libera mais gases poluentes a atmosfera. Estudos prévios mostram que o uso de madeira para construção, no geral, resulta em menos uso de energia, e consequentemente em menor emissão de gases poluentes de efeito estufa do que o uso de concreto, por exemplo (KOCH, 1992; BUCHANAN e HONEY, 1994; GUSTAVSSON e SATHRE, 2005). A extração de matéria prima para obtenção do produto final promove a retirada de vegetação nativa, queima de combustíveis fósseis em seu processamento além do transporte, e atividades industriais.

Assim, a valorização de produtos de origem florestal, vindos do manejo consciente torna-se interessante. Sendo o transporte de produtos de origem florestal uma opção com impacto reduzido se comparado a outras cargas. Assim, o manejo florestal sustentável é considerado uma estratégia de valorização da floresta em pé. É uma prática essencial, por ter como fundamentação básica, o tripé: ser ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo, e, adicionalmente, a produção deve ser diversificada a fim de que haja o uso sustentável dos recursos (BRASIL, 2022).

Apresentados esses desafios, o presente estudo visou quantificar o CO₂ gerado pelos modais de transporte rodoviário, fluvial e marítimo no abastecimento de madeira serrada nativa da Amazônia, sendo relevante a estimativa de estoque líquido de carbono na madeira, a fim de se fazer uma análise do balanço de carbono nessa atividade. Há o potencial de estocar carbono para usos como a construção civil, no geral, móveis, acessórios de madeira feitos com resíduos de serraria, e incorporação dos resíduos de serragem de volta ao solo.

Esse trabalho foi dividido em quatro partes: i) a revisão bibliográfica de abrangência do tema; ii) um capítulo em formato de artigo, envolvendo o transporte florestal pelos modais rodoviário e hidroviário com venda para mercado externo ao Brasil; iii) um capítulo em formato

de artigo abrangendo somente a venda da madeira para mercado interno via modal rodoviário, e iv) considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manejo Florestal

O manejo florestal pode ser entendido como o conjunto de práticas e técnicas para obter produtos e serviços da floresta com ferramentas de conservação dessa área manejada, de forma que os bens retirados do meio não sejam exauridos e o retorno a essa floresta seja possível em anos subsequentes.

A Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei Federal 11.284/2006), em seu artigo 3º, inciso VI define o manejo florestal como a “administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal”.

O manejo bem feito deve seguir o tripé: ser ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo. A produção deve ser diversificada a fim de que haja o uso sustentável dos recursos (MAPA, 2022). No caso de florestas naturais da Amazônia há o conceito de Exploração de Impacto Reduzido, como o próprio nome já diz, os impactos são minimizados, diferentemente da Exploração Convencional, essa praticada em maior volume, a qual causa grandes impactos econômicos e ecológicos, além de reduzir os estoques de madeira. Estes não sendo contabilizados em termos econômicos (HOLMES *et al.*, 2004).

O uso de tecnologia competitiva com as práticas destrutivas atuais é de suma importância para mitigar os impactos ecológicos, como pontuado por Holmes *et. al* (2004), e que essa fonte de renda continue a ser obtida pelas comunidades continuamente.

Além disso, há múltiplas evidências de que a exploração realizada de modo consciente beneficia não somente os aspectos econômicos e ecológicos, mas também a saúde dos operadores, com a adoção de técnicas mais seguras, conferindo um ambiente de trabalho com menos riscos. O controle de inventário e monitoramento da madeira, conforme os estudos de Holmes *et al* (2004), diminui o desperdício de madeira tanto nos pátios das serrarias quanto na floresta, aproveitando bem o volume autorizado a ser retirado da floresta.

O potencial de mitigação climática do manejo florestal está associado também a capacidade da floresta em recuperar o carbono emitido (ALICE-GUIER *et al*, 2020). Entretanto essas emissões são temporárias, contanto que não haja mudança de uso da terra e são

recuperadas pela regeneração da floresta (SMITH *et al*, 2014). Os efeitos da exploração florestal para a saúde da floresta, são consequentemente, para o estoque de carbono contestados, ainda mais nos trópicos onde essa é associada a degradação florestal (ALICE-GUIER *et al*, 2020), enriquecendo o sequestro de CO₂ e reduzindo os efeitos do aquecimento global.

O setor de base florestal no Mato Grosso, por exemplo, possui grande destaque tanto em escala nacional quanto regional sendo base para a economia de 44 municípios, gerando cerca de 90 mil postos de trabalhos diretos e indiretos, ocupando o primeiro lugar no seguimento das indústrias de transformação e representando o quarto maior na economia do estado (FIEMT, 2017).

Os estoques de madeiras na Amazônia eram estimados no início da década de 1980, segundo Homma (2011), em mais de 45 bilhões m³, com quase 14 bilhões m³ comercializáveis. Isso fez com que aumentassem as pesquisas acerca do manejo florestal. A dimensão desse estoque foi que no triênio 2008/2010 o país consumiu 108 milhões m³ de madeira em tora plantada, o que daria para mais de um século. Contudo, com a diminuição dos estoques madeireiros ao longo do tempo, é importante que haja conjuntamente ao manejo florestal, a definição de uma política de estímulo ao reflorestamento, como ressalta o autor citado nesse parágrafo anteriormente.

O manejo florestal tem sido colocado como a solução para a extração madeireira na Amazônia, como as iniciativas no Mato Grosso, Maranhão, Amapá, Pará e Rondônia, constituem sinais indicativos dessa tendência. Apesar dessa ênfase em ainda há muitos desafios quanto às práticas de corrupção mesmo em áreas de manejo autorizadas. Sendo assim, necessárias políticas de fiscalização mais rígidas e frequentes, com profissionais suficientes e capacitados para a função.

2.2 Conceitos e usos da madeira tropical amazônica

A partir da década de 1970 que a exploração de madeira na Amazônia ganhou maior destaque na região. Nos primeiros séculos de exploração na região, a madeira tinha menos importância em comparação a borracha, a castanha-do-brasil e ao cacau. A construção de estradas aumentou o acesso às florestas de terra firme, havendo a extração de espécies como virola (*Virola surinamensis*), usada na indústria de lâminas e compensados; mogno (*Swietenia macrophylla*), que atualmente é protegido de corte; ipê (*Tabebuia* sp. e *Handroanthus* sp.); cedro (*Cedrela odorata*); freijó (*Cordia* sp.); cerejeira (*Torresia* sp.); cumaru (*Dypterix* sp.); jatobá (*Hymenaea courbaril*) e maçaranduba (*Manilkara dardanoi*) (VERÍSSIMO *et al.*, 1992).

A extração era realizada sem restrição ambiental e fundiária, ocasionando num custo baixo de aquisição da madeira. Adicionalmente, houve o esgotamento dos estoques

madeireiros no Sul do Brasil, criando uma grande demanda para a madeira amazônica (VERÍSSIMO *et al.*, 1992).

Além disso, alguns autores como Brandão *et al.* (2012) e Smith *et al.* (2014) pontuam a importância da produção de madeira originária de manejos florestais sustentáveis, como um potencial de mitigação dos efeitos negativos ao clima global, uma vez que as chamadas reservas antropogênicas acumulam carbono por relativamente longos períodos, ficando este na madeira ao invés de estar na atmosfera. Reservas antropogênicas são produtos em uso, em que produtos de madeira podem durar por 5 ou até 100 anos (BRUNET-NAVARRO *et al.*, 2017), e ainda há os locais de descarte, onde esse estoque perdura por mais tempo. Entretanto o potencial de mitigação do clima do manejo florestal depende principalmente do quanto está estocado nas reservas antropogênicas, e associar às perdas do processamento da madeira, desde o corte dessa até a aplicação final (ALICE-GUIER *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o aumento na utilização de aglomerados para móveis, na dificuldade crescente de obtenção de madeiras nobres reduz a vida útil dos materiais (HOMMA, 2011), assim como a fabricação de compensados e outras alternativas.

Atualmente, o setor madeireiro em sua parte de exploração e processamento industrial gera renda e empregos para os trabalhadores da floresta e indústria de transformação diretamente e indiretamente, e está entre as principais atividades econômicas da região junto com a mineração e agropecuária (VERÍSSIMO *et al.*, 2006).

A madeira processada das toras resulta, em sua maioria, na forma de madeira serrada simples (pranchas e tábuas), painéis, lâminas, batentes, portas. E, ao contrário do senso comum, como revelado por Veríssimo e Pereira (2014), a madeira da Amazônia é destinada majoritariamente ao mercado interno.

2.3 Transporte

O setor de transporte tem relação direta com o progresso e desenvolvimento de um país ou região pela maior acessibilidade e mobilidade proporcionada às pessoas e aumento do fluxo de mercadorias para as mais diversas necessidades (SOLIANI e ARGOUD, 2018). Também é fundamental para promover a integração nacional, permitindo a movimentação das riquezas naturais, produtos industrializados, bens de consumo e pessoas entre todas as regiões do país e para o exterior, segundo a ANTT (2022).

O transporte florestal, como citado por Lima (2014) é caracterizado pelo caminho da madeira e produtos não madeiráveis de pontos estratégicos de saída do seu local de manejo

(pátios ou margens das estradas nos talhões) até as empresas de beneficiamento desses produtos ou locais de consumo.

São atualmente cinco modos ou modais de transporte utilizados para transporte de cargas: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e o aéreo. Eles se diferem, principalmente, em capacidade, flexibilidade, distância percorrida, tempo de percurso e velocidade (CNT, 2011). Além da infraestrutura existente, a escolha do modal deve levar em conta também o custo, o nível de serviço e as características do produto a ser transportado (FLEURY, 2002).

A expansão do setor florestal amazônico exerceu um papel importante no avanço da rede de estradas, com atenção para as não oficiais, superando 300 mil quilômetros de extensão (BARRETO *et. al*, 2005), assim como a ocupação da região. De forma geral, as indústrias madeireiras localizadas na Amazônia Legal estão consideravelmente próximas às áreas de cobertura florestal (PEREIRA *et. al*, 2010).

2.3.1 Rodoviário

O modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil, respondendo a movimentação de mais de 60% de cargas no país (CNT, 2020), como mostra a Figura 1 e também o segundo menos eficiente quanto a emissão de poluentes, ficando atrás somente do modal aéreo (VETTORAZZI *et al.*, 2017). É o modal também mais utilizado no transporte florestal.

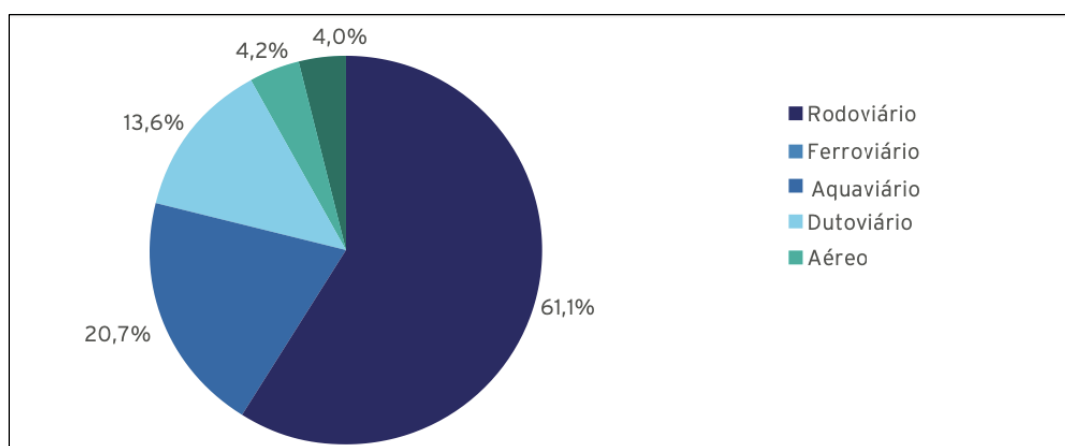


Figura 1. Matriz de transporte de cargas no Brasil. Fonte: CNT, 2020

Contudo, o modal rodoviário, apresenta vantagens e desvantagens também, sendo algumas dessas características descritas pelo Banco de Informações e Mapas de Transportes (BIT), setor pertencente à Secretaria de Política Nacional de Transportes (TRANSPORTES,

2016): adequado para curtas e médias distâncias; baixo custo inicial de implantação; alto custo de manutenção; falta de segurança no transporte (roubo de carga); serviço de entrega porta a porta; custo alto para grandes distâncias; baixa capacidade de carga (limitação de volume e peso); e integra todos os estados brasileiros; sendo apresentada uma maior flexibilidade (grande extensão da malha rodoviária).

Consequentemente, para alguns autores (SOLIANI e ARGOUD, 2018; RAMOS *et al*, 2014), é considerado de complementação por excelência em várias situações de transposição de mercadorias, vários carregamentos saindo do local de produção e indo diretamente até os terminais ferroviários, aeroportos ou portos.

Quanto ao transporte de cargas que muito utilizam as rodovias brasileiras, conforme informações da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, em 2018, a frota de caminhões está 59,6% distribuída nas empresas, com idade média de nove anos; 39,4% com os autônomos, com média de dezesseis anos; e 1% está nas cooperativas, com tempo de uso médio igual a doze anos. A idade média da frota de caminhões atuando no Brasil é de quase treze anos, sendo uma idade avançada, muitas vezes tal aspecto refletindo no desempenho do veículo (quebra, maiores manutenções, assim como na emissão de poluentes).

A expansão dos limites territoriais da produção agroindustrial para os interiores, avançando para as regiões Centro-Oeste e Norte, e indústria de base e bens de consumo para o Nordeste nas últimas décadas aumentou significativamente a distância média do transporte de cargas (SOUZA e LEAL, 2015), sendo esse majoritariamente através de rodovias. Dessa forma o transporte não acompanhando a evolução da economia, pois há elevação do gasto com transporte no PIB (FLEURY, 2003).

Isso foi avaliado pelo Fórum Econômico Mundial, em 2019, quando a malha rodoviária brasileira foi avaliada com nota 3, numa escala de 1 (pior) a 7 (melhor), em termos de sua qualidade. O investimento nessa malha, tanto público quando privado vem caindo ao longo dos últimos anos, mesmo que existam diversas concessões rodoviárias no país. Foi aplicado em toda a malha rodoviária federal, em 2020, menos do que era usado somente em manutenção, se considerar o orçamento de dez anos anteriormente (CNT, 2021).

Isso é refletido principalmente no transporte rodoviário de madeira na região norte do país, frente a situação de que a idade dos caminhões utilizados é mais elevada, e, juntamente com o aspecto da baixa qualidade da malha viária, muitas vezes esses caminhões se encontram parados nas estradas por motivos de quebra frequente, ou más condições das estradas, esses

enfrentando atolamentos no início das chuvas, quando estão terminando o escoamento da madeira.

A explicação da situação da matriz brasileira de transportes é os investimentos históricos dos governos, cuja maior parte dos recursos foi direcionada para este modal (LEAL JUNIOR *et al.*, 2015). Isso tem influência direta no volume de dióxido de carbono (CO₂) emitido, mostrando que a matriz brasileira de transporte de cargas não é eficiente também sob a perspectiva ambiental (MME, 2017), uma vez que o modal rodoviário é poluente devido a alta utilização de combustíveis fósseis.

2.3.2 Hidroviário

O transporte aquaviário ou fluvial é corresponde a navegação interior (vias navegáveis interiores), e ao transporte marítimo (navegação em mar aberto). O transporte marítimo subdivide-se em quatro tipos: longo curso, cabotagem, apoio marítimo e apoio portuário (SOUZA e LEAL, 2015).

A navegação de cabotagem foi marcada por sucessivos ciclos de expansão e estagnação, no decorrer do século XX. Necessidade de capacidade de transporte, uma maior conscientização quanto a menor poluição causada, e o crescimento econômico nas regiões Norte/Nordeste, favorecendo o maior consumo, e conseqüentemente maior fluxo de mercadorias, são fatores que acarretam como causas de uma maior utilização da cabotagem (SOUZA e LEAL, 2015).

A navegação interior é caracterizada pela grande capacidade de carregamento e reduzido custo do frete por tonelada.km⁻¹. Este meio de transporte é totalmente adequado às características econômicas e físicas do país, com uma grande extensão da sua rede hidroviária. A utilização desse meio de transporte seria essencial, auxiliando no transporte de produtos de baixo valor agregado pelo interior do país. Todavia, duas questões são fundamentais para o transporte hidroviário: é fundamental a construção das eclusas prioritárias e garantir os níveis mínimos de navegação em trechos em que haverá aproveitamento energético do leito do rio (BNDES, 2012).

A conectividade dos portos nacionais às redes globais de transporte marítimo é considerada regular, em comparações internacionais (48ª posição entre 141 países). Os serviços portuários brasileiros ainda não são bem avaliados, pois o país figura na posição 104 entre 141 países. Tal aspecto é prejudicial a competitividade das exportações nacionais (Fórum

Econômico Mundial, 2019).

2.3.3 Ferroviário

A densidade da malha ferroviária brasileira é, de acordo com o Fórum Econômico Mundial (2019), de apenas 3,6 km para cada 1.000 km². A nota brasileira é 2,5 em uma escala de 1 (pior) a 7 (melhor) no quesito eficiência.

A base de operação das ferrovias brasileiras é sob modelo de concessões. Praticamente todas as ferrovias de carga são concessionadas, e as que ainda não o são, existem planos disso acontecer num futuro próximo. Os investimentos, tanto privados quanto públicos, estão decrescendo ao longo dos anos (CNT, 2020).

O minério de ferro é a carga transportada em peso nas ferrovias brasileiras, sendo a grande âncora do modal, respondendo por 72,7% das toneladas úteis (TU) transportadas em 2020, e tendo um crescimento médio de 2,9% ao ano, considerando o período de 1997 a 2020, assim como se segue na Figura 2 (ANTF, 2021).

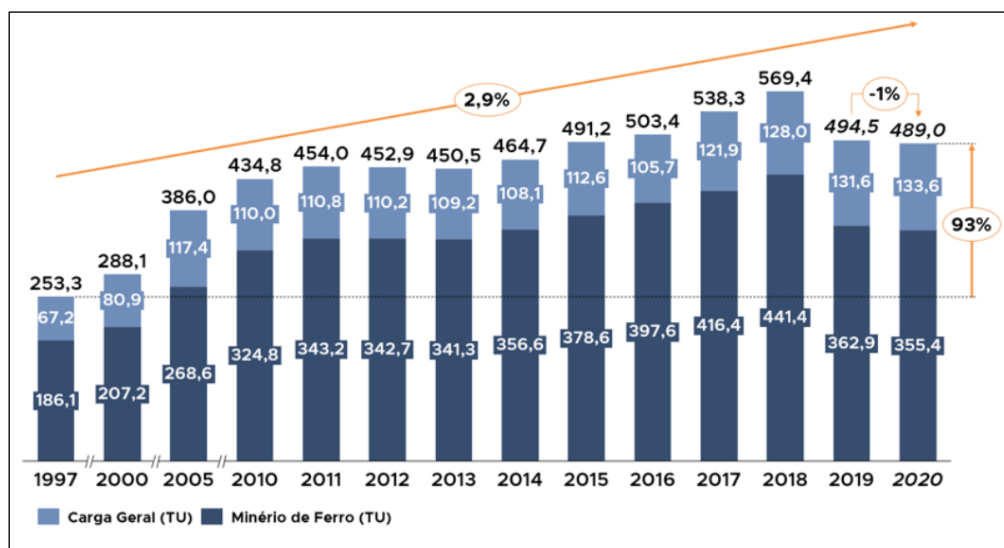


Figura 2. Caracterização da carga transportada pela malha rodoviária brasileira. Fonte: ANTF (2021)

Há de se ressaltar a maior eficiência do modo ferroviário, tendo em vista a capacidade de um vagão graneleiro em transportar aproximadamente 100 toneladas de carga, o equivalente a três caminhões graneleiros (com capacidade aproximada de 33 toneladas de carga), segundo a ANTF (2021). Acrescentando a isso a redução considerável da emissão de dióxido de carbono.

O Brasil apresenta baixa densidade da malha ferroviária ao se comparar a países de

dimensões continentais parecidas, como Canadá, Índia e China, e até diante de pares na América Latina, como México e Argentina (ANTF, 2021) (Figura 3). A malha ferroviária norte-americana é a maior do mundo, com aproximadamente 293,56 mil quilômetros.

		Área (milhões km ²)	Ferrovia (Mil Km)	Ferrovias/Área [km /1.000 km ²]
	EUA	9,83	293,56	29,85
	Índia	3,29	68,52	20,85
	China	9,6	131	13,65
	África do sul	1,22	20,98	17,21
	Argentina	2,78	36,91	13,28
	México	1,96	20,82	10,60
	Canadá	9,98	77,93	7,81
	Rússia	17,1	87,15	5,10
	Austrália	7,74	33,34	4,31
	Brasil	8,52	30,75	3,61

Figura 3. Densidade da malha ferroviária de alguns países em comparativo com o Brasil. Fonte: ANTF (2021).

No setor florestal algumas empresas realizam o transporte da madeira através do modal ferroviário (Figura 4), como a antiga Fibria, e também a Suzano, o grupo Jari (essas três para produção de celulose), e a Vale (para produção de carvão e energia).



Figura 4. Carregamento de madeira de eucalipto em vagão de trem.

2.3.4 Dutoviário

O transporte dutoviário é através de dutos ou condutores de formato tubular, onde produtos como minérios (minerioduto), gás natural (gasoduto), petróleo e derivados (oleoduto), assim como produtos agrícolas também são transportados, como laranja (laranjoduto), etanol (alcoolduto), cavacos de madeira (cavacoduto) e vinho (vinhoduto).

Esse tipo de transporte é o único no Brasil que utiliza em sua maior parte a energia hidroelétrica; sendo as outras modalidades de transporte de carga majoritariamente utilitárias de combustíveis derivados do petróleo, provenientes de fontes não renováveis, os quais têm maior índice de emissão de gases de efeito estufa (CO, N₂O e CH₄) por tonelada.km do que combustíveis oriundos de fontes renováveis (LEAL JUNIOR et. al, 2015).

No país esse modo é utilizado basicamente para o transporte de petróleo e seus derivados, tendo custo elevado inclusive para essa indústria, sendo necessário assim a aplicação de técnicas que visem ganhos na produtividade (FELIZARI et. al, 2007).

2.3.5 Aéreo

O transporte de cargas pelo modal aéreo se caracteriza pela agilidade, e é indicado para cargas de alto preço, pequenos volumes e encomendas urgentes (FIRJAN, 2013).

A burocracia para este modal reduz fortemente a competitividade. O setor farmacêutico é um dos mais afetados. Por exemplo, uma carga de remédios de R\$ 35 milhões tem o custo no valor de R\$ 287 mil no aeroporto do Rio de Janeiro. Esta despesa é cerca de 40 vezes maior do que o custo para se transportar esta mesma carga no aeroporto de Singapura. Em cinco aeroportos brasileiros de carga, o tempo de liberação dos produtos é de aproximadamente 175 horas. Em Londres, a liberação da carga demora cerca de oito horas, já nos Estados Unidos, seis horas, enquanto na China, a espera é de quatro horas (FIRJAN, 2013).

A infraestrutura aeroviária brasileira é considerada ampla e com boa conectividade, segundo dados do Fórum Econômico Mundial (2019).

2.4 Matriz mundial de transporte

Vale destacar a comparação com outros países de dimensão semelhante em área, a densidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil (23,8 km/1.000 km²) é baixa em relação aos Estados Unidos (445,2 km/1.000 km²), China (359,9 km/1.000 km²) e Austrália (46,0 km/1.000 km²) (CNT, 2014).

Quanto a malha ferroviária, o Brasil ainda apresenta baixa densidade da malha, conforme a ANTF (2021), se comparado a países de dimensões continentais, como Canadá, Índia e China (Figura 5).

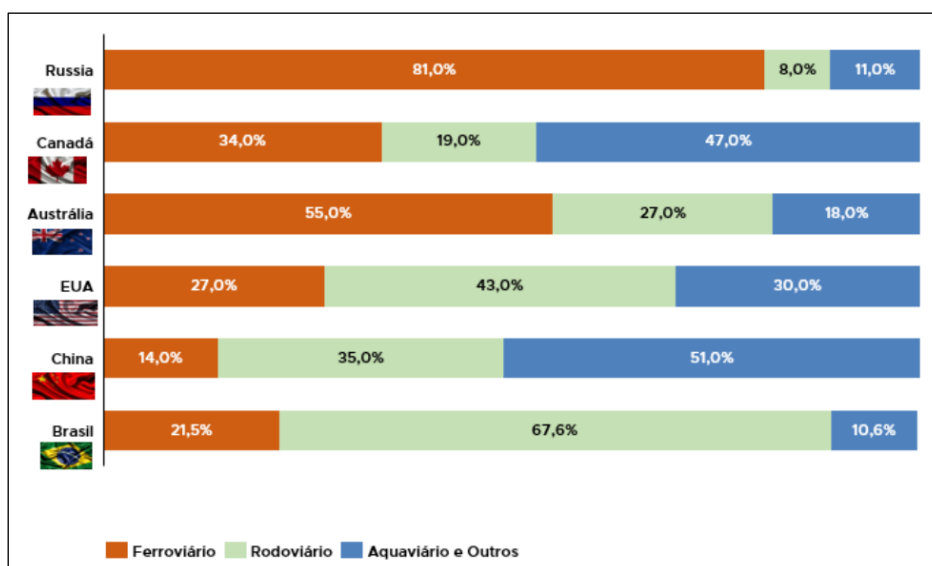


Figura 5. Comparação de modais de transporte brasileiro com os de países de dimensões espaciais semelhantes. Fonte: ANTF (2021)

Se comparada com outros países, a matriz de transportes brasileira pode ser considerada desequilibrada quanto a utilização dos diferentes modais para transportes de cargas. Essa comparação pode ser observada na Figura 6. Exemplificando quanto aos modais: para o ferroviário, a Austrália desloca 55% de suas cargas através deste, enquanto o Canadá movimenta 34% e os Estados Unidos 27%. No Canadá e Estados Unidos dutos são bastante utilizados, com representatividade de 40% e 22%, respectivamente. A China movimenta 48% de seus TKUs através de rios e mares (aquaviário), e esse é também altamente utilizado no Japão (44%) e na União Europeia (36%).

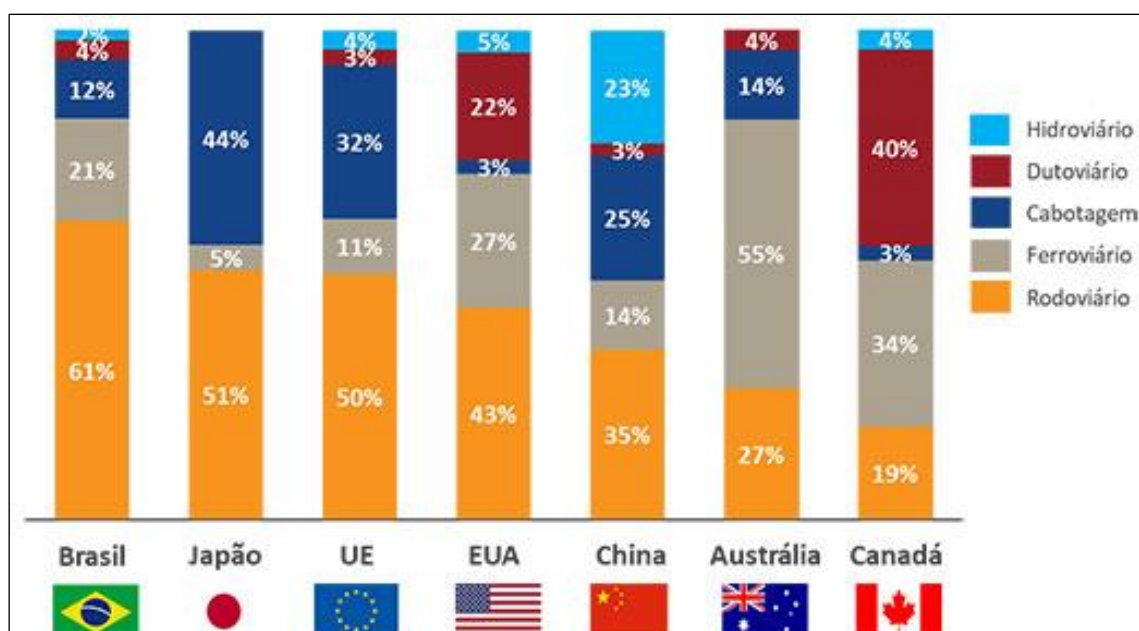


Figura 6. Matriz de Transportes nos países (% de TKU). Fontes: ILOS (Brasil); National Bureau

of Statistics of China, Bureau of Transportation Statistics (EUA), Eurostat (UE), North American Transportation Statistics (Canadá), Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development (Austrália), Statistics Bureau (Japão).

2.4.1 Matriz brasileira

Quando comparada com a infraestrutura existente em outros países em desenvolvimento de dimensões territoriais semelhantes, a do transporte brasileiro é considerada insatisfatória. Dadas as dimensões continentais do país, a priorização do modo rodoviário provoca perdas de eficiência tendo em vista que este modo não é adequado para cargas de baixo valor agregado e longas distâncias, conforme a CNT (2011).

A ineficiência logística do setor de transportes brasileiro prejudica a competitividade do país, nacional e internacionalmente, do ponto de vista econômico (CNT, 2011). Além da questão ambiental e de sobrecarga de uma matriz energética, tendo em vista, por exemplo, que o consumo de energia varia de acordo com o modo utilizado.

O comparativo com países desenvolvidos ou até mesmo em desenvolvimento com a matriz brasileira de transportes é que o país faz uso de alternativas de integração multimodal incipientemente, como é caso do modal ferroviário (SOUZA e MARKOSKI, 2013). O país mantém investimentos aquém do esperado para permitir o avanço nesse aspecto, além da gestão adequada. Fleury (2011) destaca que uma solução seria a parceria pública-privada, possibilitando maiores investimentos para a intermodalidade.

2.4.2 Multimodalidade e Intermodalidade

O transporte intermodal ou multimodal é aquele em que há operação logística de transferência de materiais entre diversos modais (BOENTE et. al, 2016), havendo potencial de reduzir custos nas operações logísticas do transporte de cargas, além de também influenciar em outros indicadores de desempenho associados à operação (RIBEIRO e BOUZADA, 2010). Sendo a multimodalidade no transporte uma alternativa também para maior eficiência energética (LEAL JUNIOR *et al.*, 2015).

A diferença entre multimodalidade e intermodalidade é que no primeiro há a emissão de apenas um documento de transporte que represente o trajeto completo da carga, enquanto na intermodalidade há a emissão individual de documento de transporte para cada modo, bem como pela divisão de responsabilidade entre os transportadores (RIBEIRO e BOENTE, 2014).

Os produtos transportados por multimodalidade geralmente são *commodities*, por exemplo: minério de ferro, grãos, todos caracterizados como de baixo valor agregado. Para que

esses produtos se tornem competitivos frente ao mercado é necessário que haja um transporte eficiente, pois o transporte é significativo em cima do custo total final (FLEURY *et. al*, 2000).

2.5 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC define Mudança climática como: “qualquer mudança do clima que ocorra ao longo do tempo em decorrência da variabilidade natural ou da atividade humana”. E essa mudança climática global vem ocorrendo em processo mais acelerado devido a ação humana, havendo, conforme Candido *et al.* (2007), aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera desde a revolução industrial. Esse fato ocasionará em efeitos negativos a todos os ecossistemas, afetando a saúde pública e todas as atividades humanas, os recursos hídricos, áreas costeiras e agricultura, como exemplos.

Os principais poluentes na atmosfera são dióxido de enxofre - SO₂, óxido de nitrogênio - NO_x, monóxido de carbono - CO, dióxido de carbono - CO₂ e ozônio - O₃. Alguns destes, como o NO_x, podem se transformar em outros compostos orgânicos tóxicos, e suas principais fontes são processos de combustão industrial e de veículos automotores, usinas térmicas utilizadoras de óleo e gás, desmatamento, incêndios. (CARMO, 2016).

O Brasil e demais países do G20, que são grandes emissores de GEE, firmaram no Acordo de Paris em 2015 metas de redução drástica de suas emissões a fim de estabilizar o aquecimento da Terra em 1,5° no século XXI. Segundo o *United Nations Environment Programme* – UNEP (2019), as emissões do globo precisariam reduzir 7,6% por ano entre 2020 e 2030 para cumprir essa meta. Entretanto, as metas nacionais são conduzidas a um aumento de 2,7° (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021). É necessário que as práticas de mitigação sejam acentuadas para diminuir consequências ruins da mudança do clima. Gases de efeito estufa são constituintes gasosos, naturais ou antrópicos, que, na atmosfera, absorvem e reemitem radiação infravermelha (BRASIL, 2009).

As emissões de GEE brasileiras (principalmente CO, CH₄, e N₂O), como mostrado na

Tabela 1, são principalmente relacionadas a alterações na vegetação, 46% das emissões brutas quantificadas é enquadrada como “Mudança de Uso da Terra e Floresta” no Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (2021), principalmente pelo desmatamento da Amazônia e do Cerrado. A agropecuária vem em seguida, com 27% das emissões brutas, o setor de energia, com 18%, e os processos industriais, com 5% do total, quase empatado com o setor de resíduos, que detém 4% das emissões brutas.

Tabela 1. Emissões de GEE no Brasil em 2020

Setores	2020 (tCO₂e)	%	Variação 2019-2020
Agropecuária	577.022.998	27	2,50%
Energia	393.705.260	18	-4,50%
Processos Industriais	99.964.389	5	0,50%
Resíduos	92.047.812	4	1,80%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	997.923.296	46	23,70%
Total Emissões Brutas	2.160.663.755		9,50%
Total Emissões Líquidas	1.524.954.161		14,10%

Fonte: Observatório do Clima, 2021

Tendo esse aspecto em vista, foi proposto na COP-11, na Papua Nova Guiné, em 2005, o conceito de REDD (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) englobando na contabilização das emissões de gases de efeito estufa o quanto foi evitado pela redução do desmatamento e degradação florestal (GLOBAL CANOPY PROGRAM, 2008). Os países em desenvolvimento que conseguissem conservar suas florestas tropicais conseguiriam compensação financeira correspondente a emissão não ocorrida.

Anos depois, na COP-19, na Polônia, o conceito foi incrementado, sendo denominado REDD+. Essa nova denominação abrange que sejam adotadas estratégias que reforcem o manejo sustentável de florestas, a conservação e aumento dos estoques de carbono florestal (BRASIL, 2016).

A partir de projetos REDD+ há geração dos chamados “créditos de carbono”, passíveis de comércio no mercado de carbono, de caráter internacional. Esse começou a ser discutido no Protocolo de Kyoto, estabelecido em 1997. Uma de suas propostas foi o sistema de verificação e monitoramento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelos países, havendo cotas de emissão para cada signatário. O enfoque se direcionou aos países desenvolvidos. Sendo a contabilização através de “carbono equivalentes” (CO_{2eq}) dos principais GEE conhecidos por serem lançados à atmosfera: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoretos de enxofre (SF₆) (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2008).

O GHG (*Greenhouse Gas*) Protocol é uma ferramenta internacional de referência

que padronizou as mensurações, para utilização de corporações e organizações e órgãos governamentais. É a ferramenta mais utilizada globalmente por entidades para inventários de gases de efeito estufa (GHG PROTOCOL, 2022).

Desde 2010, ano da regulamentação da PNMC (Política Nacional sobre Mudança do Clima), o país elevou em 23,2% a quantidade de gases de efeito estufa despejada na atmosfera todos os anos, sendo a meta desse marco a redução das emissões no Brasil (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

Nobre (2008) descreve que, após os impactos potenciais, que são aqueles que podem ocorrer num período projetado, pode haver adaptações ao meio. Entretanto, há de se indagar até que ponto será que a capacidade de adaptação às variabilidades climáticas chega.

A mudança do clima, como citado por Sawyer (2009) é um assunto da área ambiental mais distante das ciências sociais. Contudo, por ser uma questão nacional e internacional, de caráter completamente dependente do impacto da ação humana, poderia ser uma área interessante em ter mais abordagem na abrangência social. Os países com maiores desigualdades sociais serão os mais afetados pela variabilidade climática atual, assim como pela mudança climática no geral, com maior impacto, principalmente, aos mais pobres (NOBRE, 2008). Este autor ressalta que os mais pobres têm maiores dificuldades estruturais em lidar com os eventos e aumenta sua capacidade adaptativa.

Além disso, Nobre (2008) pontua como a economia brasileira seria fortemente impactada com esse cenário devido ao peso que os recursos naturais renováveis têm sob o PIB, de mais de 50%, principalmente associado a agricultura, hidroelétricas, biocombustíveis, energia eólica e solar, entre outras. Sendo assim nossa economia fortemente abalada pela mudança do clima.

2.5.1 Setor Industrial

Essas emissões são provenientes de processos industriais e uso de produtos, quando os materiais da indústria são transformados por processos físicos ou químicos, de acordo com o Observatório do Clima (2021), como a produção do ferro gusa, aço e cimento.

2.5.2 Setor de energia

As emissões do setor de energia são originárias da queima de combustíveis em atividades como transportes, indústria e geração de eletricidade. Também abrange as chamadas emissões fugitivas, causadas pelo escape de gases de efeito estufa durante a produção de combustíveis (como a fuga de metano na exploração de petróleo e gás natural)

(OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

2.5.2.1 Subsetor de transporte

O subsetor transporte é a atividade mais emissora do setor, seguido pela indústria e geração de eletricidade (influenciado pelas fontes fósseis e renováveis). Também são contabilizadas as emissões da produção de combustíveis, consumo energético em edificações e queima de combustíveis em atividades agropecuárias (utilização de máquinas agrícolas). A queima de biocombustíveis, segundo metodologia do IPCC para inventariar emissões nacionais, neutraliza as emissões de CO₂, considerando que o carbono emitido fora anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da cultura vegetal, a qual foi matéria-prima para a fabricação desses combustíveis (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

2.5.3 Setor Agropecuário

O setor agropecuário, segundo o Observatório do Clima (2021), é responsável principalmente pelas emissões que se seguem:

- Digestão dos animais ruminantes, em sua maioria o gás metano – popular “arroto” do boi – (Fermentação Entérica);
- Tratamento e disposição que os dejetos desses animais recebem (Manejo de Dejetos);
- Cultivo de arroz irrigado (Cultivo de Arroz);
- Queima dos resíduos agrícolas do cultivo de cana-de-açúcar e algodão (Queima de Resíduos Agrícolas);
- Manejo dos solos agrícolas, considerando o incremento de nitrogênio via utilização de insumos e operações agrícolas.

A atividade rural ainda responde por grande parte das emissões brasileiras. O total da soma de emissões entre Mudança de Uso da Terra e Agropecuária, a maior parte delas do rebanho bovino, conclui-se que quase três quartos (73%) das emissões nacionais estão direta ou indiretamente ligadas à produção rural e à especulação com terras (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021). Há de se ressaltar que mesmo com a redução do consumo de carne, mais metano é emitido pelo gado mantido no pasto.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRES - ANTT. Idade Média dos

Veículos. Brasília, 2018.

ALICE-GUIER, F. E., MOHREN, F., ZUIDEMA, P. The life cycle carbono balance of selective logging in tropical forests of Costa Rica. **Journal of Industrial Ecology** 2020; 24:534–547.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS – ANTF. Informações Gerais. 2021. Disponível em < <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em dezembro de 2021.

BARRETO, P.; SOUZA JR, C.; ANDERSON, A.; SALOMÃO, R.; WILES, J. Pressão humana no bioma Amazônia. O Estado da Amazônia, n. 03 6p. **Imazon**: Belém. 2005.

BNDES. Situação atual e perspectivas da infraestrutura de transportes e da logística no Brasil. Rio de Janeiro, 2012

BRANDÃO, M., LEVASSEUR, A., KIRSCHBAUM, M., WEIDEMA, B., COWIE, A., JØRGENSEN, S.,...CHOMKHAMSRI, K.. Key issues and options in accounting for carbono sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. **Internation Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 230–240. 2012

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em 16 de janeiro de 2022.

BRASIL. **Lei Federal Nº 11.284/2006, de 2 de março de 2006**. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm>. Acesso em 17 de janeiro de 2022

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). O que é REDD+. Disponível em: <<http://redd.mma.gov.br/pt/pub-apresentacoes/item/82-o-que-e-redd>>. Acesso em: 21 de mai de 2022.

BOENTE, A. N. P., RIBEIRO, L. O. de M., DORIA, F. A. de M. A., COSENZA, C. A. N. A importância da intermodalidade/ multimodalidade no transporte de cargas no Brasil: uso da lógica fuzzy como ferramenta de aferição. *In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III Inovarse – Responsabilidade Social Aplicada*. 2016.

BRUNET-NAVARRO, P., JOCHHEIM, H., MUYS, B.. The effect of increasing lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 22, n. 8, p. 1193–1205. 2017

CANDIDO, L. A.; MANZI, A. O.; TOTA, J.; SILVA, P. R. T.; SILVA, F. S. M.; SANTOS, R. M. N.; CORREIA, F. W. S. O. Clima atual e futuro da Amazônia nos Cenários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas: A questão da savanização. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 44-47. 2007. Disponível em <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252007000300017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 set 2020

CARMO, F. C. A. **Balanço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo**. 2016. 68f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT, 2014. Plano CNT de Transporte e Logística 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Transporte em números. 2019**. 2020. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/39b6d11e-7996-4c2b-8894-6cf4e927f1cc.pdf>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2022

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT E CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA – CEL/COPPEAD. 2011. Transportes de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País. Relatório Executivo.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Conjuntura do Transporte: Investimentos. 2021. Disponível em <<https://www.cnt.org.br/analises-transporte>> Acesso em 15 de janeiro de 2022.

FELIZARI, L. C., ARRUDA, L. V. R. D., LURDERS, R., NEVES, JR. F. Programação das atividades de transporte de derivados de petróleo em complexos dutoviários. Congresso Brasileiro de P&D Em Petróleo E Gás, 2007, Campinas. Anais...Campinas: PDPETRO, 2007. p. 310159. 1. 1 -3-10159.1.8.

FIEMT, 2017. Boletim Setorial - Indicadores econômicos e fomento à indústria: Base Florestal. Disponível em: <http://www.fiemt.com.br/arquivos/2594_indicador_economico_n_01_-_base_florestal_26-06-17.pdf> Acesso em 2 de maio de 2021

FIRJAN. Brasil mais competitivo: ganhos com o funcionamento 24 horas dos órgãos anuentes nos aeroportos. Rio de Janeiro. 2013.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. Logística Empresarial – A Perspectiva Brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.

FLEURY, P. Gestão Estratégica do Transporte. 2002. Disponível em <https://www.ilos.com.br/web/gestao-estrategica-do-transporte/>. Acesso em janeiro de 2022.

FLEURY, P. Nota sobre o setor de transporte de cargas no Brasil. Rio de Janeiro: ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain. 2003.

FLEURY, P. F.. Infraestrutura–sonhos e realidade. In: Fórum De Economia Da Fundação Getúlio Vargas. 2011. São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: FGV/EESP, 2011. Disponível em: < <http://cnd.fgv.br/sites/cnd.fgv.br/files/Paulo%20Fernando%20Fleury%20-%20Infraestrutura.pdf> >. Acesso em: 20 jan. 2022.

GLOBAL CANOPY PROGRAM. **The Little REDD Book: A guide to Governmental and non-governmental proposals for Reducing Emissions from Deforestation and Degradation**. 2008. Disponível em: < www.thelittleREDDbook.org>. Acesso em: 21 mai 2022.

HOLMES, T. P., BLATE, G. M., ZWEEDE, J. C., JUNIOR, R. P., BARRETO, P., BOLTZ, F. Custos e Benefícios Financeiros da Exploração Florestal de Impacto Reduzido em Comparação à Exploração Florestal Convencional na Amazônia Oriental. Belém: Fundação Floresta Tropical, 2004, 66p. 2ª edição

HOMMA, A. K. O. Madeira na Amazônia: Extração, Manejo ou Reflorestamento?. **Amazônia: Ci. & Desenv.**, Belém, v. 7, n. 13, jul./dez. 2011.

LEAL JUNIOR, I. C. *et al.* Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO₂. Revista UNIABEU, Belford Roxo, RJ, v. 8, n. 18, p. 49-64, jan./abr. 2015.

LIMA, M. P., Panorama do transporte rodoviário de madeira bruta e em toras na região do Arco de Desflorestamento na Amazônia. 2014. 279 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Perguntas frequentes sobre o Manejo Florestal Comunitário. Disponível em <<https://www.florestal.gov.br/perguntas-frequentes/68-fomento-florestal/475-perguntas-frequentes-sobre-o-manejo-florestal-comunitario>>. Acesso em 16 de janeiro de 2022.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2017: ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017.

MINISTÉRIO DO TRANSPORTE. Secretaria de Política Nacional de Transportes. Banco de informações e mapas de transportes - BIT. Brasília, 2016.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e o Brasil: contextualização. Parcerias Estratégicas, n.27, p.7-17, dez., 2008.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020. 2021. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. Fatos florestais da Amazônia 2010. Belém: **Imazon** 124p. 2010.

RAMOS, S. A. P.; CARDOSO, P. A.; CRUZ, M. M. C. Atributos considerados sobre sustentabilidade no transporte rodoviário de carga. Anais do Congresso de Ensino e Pesquisa em Transporte. 2014. Rio de Janeiro, RJ.

RIBEIRO, L. O. de M. e BOUZADA, M. A. C. (2010). A Intermodalidade Compensa? Um estudo do escoamento da produção do arroz no corredor Vale do Jacuí (RS) até a Região dos Lagos (RJ) – SP. SIMPOI, 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: SIMPOI

RIBEIRO, L. O. M. e BOENTE, A. N. P. A Intermodalidade e o Transporte de Carga no Brasil: Uma Visão de Aplicabilidade na Lógica Fuzzy. XVII SIMPOI, Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. Fortaleza, 2014, vol. 1, p. 1

SAWYER, D. Fluxos de Carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 149-171. 2009

SMITH, P., BUSTAMANTE, M., AHAMMAD, H., CLARK, H., DONG, H., ELSIDDIG, E. A.,...TUBIELLO, F. 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

SOLIANI, R. D.; ARGOUD, A. R. T. T. A emissão de gases poluentes no transporte rodoviário de cargas brasileiro. **Revista Espacios**. 2018. v. 39, n. 48, 2018, p. 14

SOUZA, D. F., MARKOSKI, A.. A competitividade logística do Brasil: um estudo com base na infraestrutura existente. **Revista de Administração**, v. 10, n. 17, p. 135-144, 2013.

Disponível em: < <http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadeadm/article/view/949> >. Acesso em: 21 jan. 2021.

SOUZA, F. L. U.; LEAL, J. E. Panorama do Transporte de Carga no Brasil: uma visão do ponto de vista dos operadores. 2015. Anais ... XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET. Ouro Preto, MG. Disponível em <http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/668AC.pdf>. Acesso em 16 de janeiro de 2022

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazon frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, v. 55, p. 169-199. 1992

VERÍSSIMO, A.; SOUZA JR., C.; CELENTANO, D.; SALOMÃO, R.; PEREIRA, D.; BALIEIRO, C. Áreas para produção florestal manejada: detalhamento do macrozoneamento ecológico econômico do estado do Pará. **Relatório para o Governo do Estado do Pará**. 2006.

VETTORAZZI, A. C.; JOAO, A. M.; ROCHA, F. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. Emissão de CO₂ na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo Arco Norte. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 6, p. 225-245, 2017.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. 2008. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf>. Acesso em 10 fev 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2019. Emissions Gap Report 2019. UNEP, Nairobi. Disponível em <<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>>

WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Competitiveness Report 2019. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf

3. ARTIGO I: ESTUDO DE CASO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM TRANSPORTE INTERMODAL DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA EXPORTAÇÃO

Tamires Louise Santos Lima^{a*}, Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho^b
Renato Cesar Gonçalves Robert^c, Samuel de Pádua Chaves e Carvalho^b

^aPrograma de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brasil; ^bServiço Florestal Brasileiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil ^cDepartment, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil; ^dDepartment of Rural Engineering,

Contato: Tamires Louise Santos Lima, talouiselima@gmail.com, ONF Brasil Gestão Florestal, Fazenda São Nicolau, Cotriguaçu, Mato Grosso

Estudo de caso da emissão de gases de efeito estufa em transporte intermodal de madeira amazônica para exportação

RESUMO

A madeira *in natura* e processada aplicada a utilização de produtos com longa vida útil, como na construção civil é considerada um estoque de carbono. Entretanto, é necessário percorrer longas distâncias até que acesse seu mercado consumidor, de forma a reduzir o estoque líquido de carbono. Grande parte dessa madeira é advinda da região amazônica. O transporte ocorre por mais de uma modalidade para acessar mercados consumidores estrangeiros, como no caso desse estudo: rodoviário, fluvial e marítimo. O impacto da emissão de gases poluentes varia de um modal de transporte para outro. Foi calculada a emissão de CO₂ para o escoamento da madeira desde a Unidade de Manejo Florestal, na FLONA do Jamari, em Rondônia, até as serrarias de um ano da exploração por uma empresa, das serrarias até os portos equivalentes, e desses até os países compradores da madeira serrada. O estoque de CO₂ armazenado na madeira explorada foi calculado também para avaliação do balanço entre carbono fixado previamente pelas árvores e emitido pelo transporte. O resultado do estoque nas árvores exploradas foi 37.268,9 t CO₂. A emissão do percurso de 7.086,1 km realizado através de rodovias foi de 4.665,26 tCO₂, os 1.239 km percorridos via hidrovias foi 111,25 tCO₂, e os 40.065 km via marítima, 81,80% da distância total de transporte dessa carga, foi 2.604,68 tCO₂. A emissão foi o correspondente a 19,81% do estoque líquido de dióxido de carbono das toras extraídas no manejo. Portanto, para essa atividade poderia ser considerado que houve mitigação dos gases de efeito estufa, para os quesitos avaliados.

Palavras-chave: transporte madeireiro; GEE; balanço de carbono; manejo florestal; Rondônia.

3.1 Introdução geral

A madeira é um produto carregado por longas distâncias, majoritariamente através do modal rodoviário, podendo haver a intermodalidade no transporte de uma mesma carga, por hidrovias e ferrovias, até que acesse seus compradores no mercado interno, ou utilize o modal marítimo, para atingir mercados externos, havendo um grande consumo de energia e emissão de CO₂. Isso é atenuado, no modal rodoviário, pelo uso de caminhões

com idade avançada e manutenção precária, principalmente no primeiro transporte dessa madeira, para escoamento entre floresta e serrarias.

O setor de transportes no Brasil tem uma grande participação na emissão total de gases de efeito estufa (GEE). No enfoque florestal, há pesquisas como a de Carmo (2016) averiguando que o transporte é a etapa mais poluente da cadeia produtiva. Pela quantificação do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (2020), o qual contabiliza os gases provenientes da produção e do uso de combustíveis, essa atividade, dentro do setor de energia cujo aumento de emissões é historicamente o maior dentre todos os setores, foi responsável por 47% de toda emissão. Sendo o transporte de cargas fonte responsável por 40% do quanto é emitido.

Assim como o setor de transportes é um dos principais emissores de gases de efeito estufa, é importante no atual cenário de intensificação da mudança do clima que sejam avaliadas as atividades mais emissoras, como elas ocorrem e avaliados os produtos cujos processos de produção sejam menos poluentes, tendo em vista a preocupação de diminuir os impactos futuros. Conhecendo os cenários, podem ser avaliadas estratégias logísticas para mitigar os impactos de produção.

Os efeitos da produção crescente de bens de consumo e atendimento às necessidades humanas nas últimas décadas resultou em eventos considerados extremos climáticos. Esses tenderão a se tornar mais habituais, de acordo com Marengo et. al (2008, 2011), Conway e Tans (2016) e Gloor et. al (2015). Os autores citaram como exemplos de extremos climáticos as três secas extremas em uma década, precipitações cada vez mais intensas durante a época de chuvas nas diferentes regiões do globo, assim como estações de seca mais intensas e longas, e concentrações atmosféricas globais de gases poluentes mensurados amplificados ao longo dos últimos 50 anos.

A política climática internacional tem como marco o Protocolo de Kyoto, estabelecido em 1997. Uma de suas propostas foi o sistema de verificação e monitoramento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelos países, havendo cotas de emissão para cada signatário. O enfoque se direcionou aos países desenvolvidos. Sendo a contabilização através de “carbono equivalentes” ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) dos principais GEE conhecidos por serem lançados à atmosfera. Foram abordados na ocasião os seguintes GEE: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoretos de enxofre (SF_6) (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2008).

Na última Convenção das Partes – COP26- o Brasil assumiu o novo compromisso de mitigar 50% de suas emissões de GEE até 2030, relativamente ao ano de 2005, com a intenção de contribuir para o limite de aquecimento do planeta a 1,5°C. O desmatamento legal, também enquadrado pelo termo “mudança de uso da terra” é fortemente associado às emissões, validando a dificuldade do país em fazer valer instrumentos econômicos efetivos de proteção à floresta em pé (WRI, 2021).

No cenário de mudança do clima o aspecto ambiental e ecológico será fortemente abalado por mudanças ambientais abruptas, havendo um problema na adaptação das espécies de fauna e flora, havendo relativamente pequena elasticidade dessas em nosso país tropical diverso (NOBRE, 2008). Isso sendo refletido no abastecimento de matérias primas para confecção de bens de consumo, alimentos, geração de energia, sendo a economia do nosso país fortemente dependente dos recursos naturais renováveis.

A análise das emissões de CO₂ nas atividades logísticas se torna um importante indicador, sendo crescente a importância da questão ambiental nas definições para o escoamento da produção. A multimodalidade no transporte de cargas, como ressaltado por Vettorazzi *et al.* (2017), tem consequências em reduzir os impactos ambientais negativos, visto que há um maior aproveitamento energético, além de redução dos custos totais da atividade.

A intermodalidade reduz a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, principalmente quando em longos itinerários (caso bastante comum ao transporte de cargas brasileiro), segundo encontraram Craig *et. al* (2013), testando a introdução do modal ferroviário no escoamento da produção. Os autores encontraram uma redução de até 46% de emissões. Entretanto, os modais ferroviário e hidroviário do Brasil possuem infraestrutura insuficiente para a realização do transporte de muitas *commodities*, o que leva à necessidade da utilização quase que restrita do modal rodoviário, mesmo tratando-se de longas distâncias (VETTORAZZI *et. al*, 2017).

A queima de combustíveis resulta na combustão incompleta no motor, emitindo os gases de exaustão pelo tubo de escapamento das máquinas e veículos. Esses são constituídos basicamente por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC), considerados gases poluentes (CARMO, 2016).

Essa etapa da cadeia produtiva da atividade madeireira reduz o estoque líquido de carbono na madeira transportada, cuja árvore fixa anteriormente em seu processo de desenvolvimento, devido à queima de combustíveis fósseis. O que significa haver um limite a partir do qual as emissões de CO₂ do transporte ultrapassam a quantidade de

carbono estocada na madeira (GUSTAVSSON *et al.*, 2011). Essa, principalmente quando serrada, e aplicada a usos de longa vida útil, como na construção civil pode ser considerada um estoque de carbono. As árvores de origem amazônica têm, em média, 49% de sua matéria constituída por carbono, de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2006).

Considerando tal aspecto, o objetivo do presente estudo foi analisar o balanço entre emissão de gases poluentes pelo transporte multimodal para o cenário de madeira explorada por Manejo Florestal, equivalendo em percentagem ao seu estoque líquido de carbono previamente fixado pelas árvores na floresta. As emissões foram contabilizadas desde a retirada da madeira da Área de Manejo Florestal até o seu recebimento como madeira serrada para mercados consumidores no exterior do Brasil.

3.2 Material e Métodos

A ordem metodológica apresentada nesse estudo visa calcular o balanço entre o CO₂ fixado na madeira e o CO₂ emitido pelo transporte da mesma. Assim são considerados como a área de estudo ou a área de origem do transporte o manejo florestal sustentável em que são realizados os cálculos de dióxido de carbono fixado na floresta e madeira explorada a ser transportada. E posteriormente são considerados como área de destino final o município em que a madeira serrada é levada para distribuição aos consumidores finais.

3.2.1 Caracterização da área

Os dados referentes a essa análise são do transporte de madeira nativa exploradas através de um Manejo Florestal Sustentável, na primeira concessão de floresta pública brasileira, na Flona do Jamari, detentora da área por 25 anos.

A Flona do Jamari abrange os municípios de Candeias do Jamari, Itapuã do Oeste e Cujubim, no estado de Rondônia. Possui área de 225.799,75 hectares. Entretanto a Unidade de Manejo Florestal III (UMF III) também chamada de Área de Manejo Florestal (AMF), onde ocorrem as atividades é de 46.184,25 hectares, além de reserva absoluta de 3.860 hectares, como representada na Figura 1.

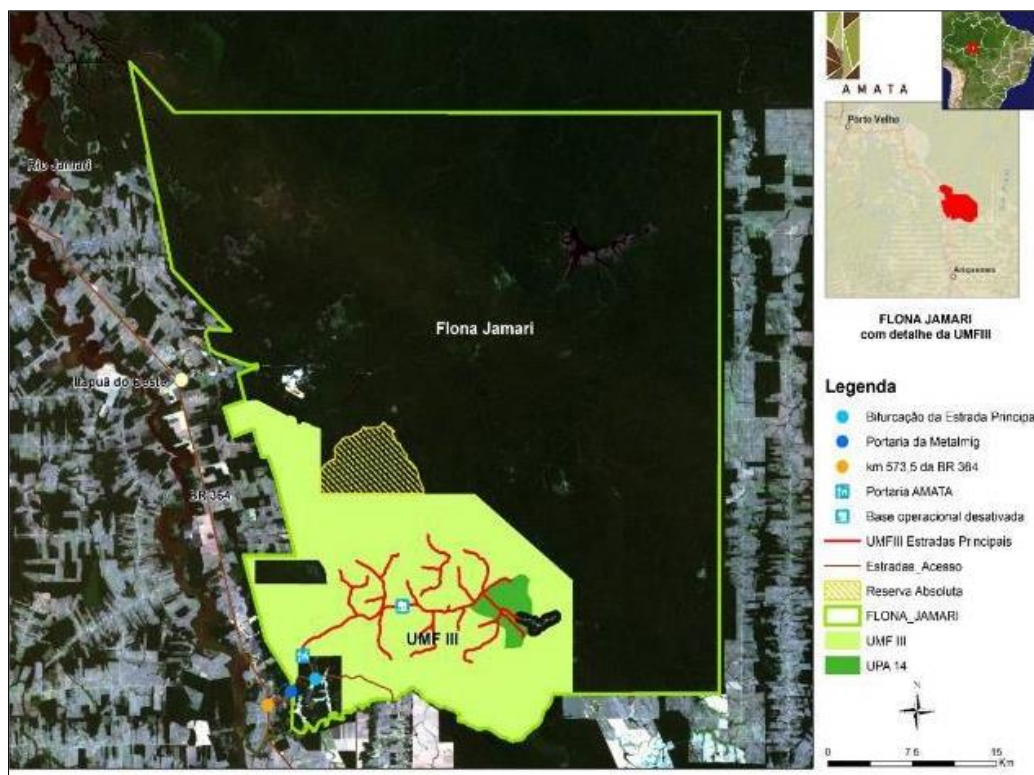


Figura 1. Representação da Unidade de Manejo Florestal III dentro da Flona do Jamari, em Rondônia

A exploração da UPA 12, a qual possui 2.445 hectares, ocorreu em 2019, e foi a unidade escolhida para esse estudo. Na Figura 2 estão representadas as 25 UPAs planejadas para serem exploradas durante os anos de concessão da área.

A malha de estradas dentro da Flona não tem boas condições de tráfego. Está localizada a cerca de 4 quilômetros próxima da BR-364, ao seu lado oeste (AMATA, 2009).

O clima predominante no estado de Rondônia é tropical úmido e quente durante todo o ano, com período seco bem definido de junho a agosto, clima tipo AW (Clima Tropical Chuvoso), segundo a classificação de Köppen. No primeiro semestre do ano ocorre o período com mais chuvas, época a qual ocorre a “piracema da madeira”, quando é proibida a exploração e transporte da madeira. No segundo semestre há o “verão amazônico”, o período de menor índice pluviométrico e maiores temperaturas.

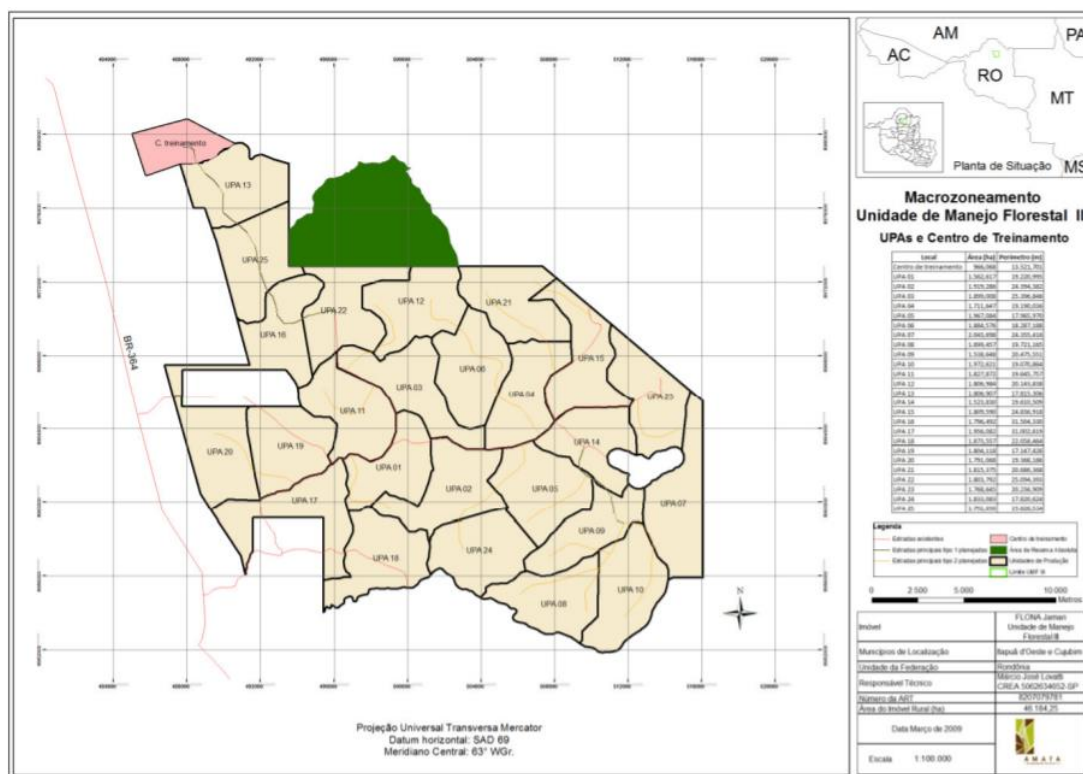


Figura 2. Localização das UPAs na UMF III

A tipologia florestal prevalecente na Flona do Jamari é Floresta Ombrófila Aberta Submontana, com áreas de Floresta Ombrófila Densa Submontana, segundo o mapa de Vegetação do Estado de Rondônia, elaborado pelo IBGE em 2006.

3.2.2 Cálculo do carbono presente na madeira

A partir dos dados de inventário florestal cedidos pela empresa, o estoque de dióxido de carbono para as toras transportadas foi calculado com as medidas de diâmetro a altura do peito (*DAP*), altura e volume para cada espécie. Contudo, foi necessário buscar na literatura dados de densidade básica para cada uma das espécies (Tabela 1), a fim de estimar a massa, em quilos, presente nas toras, parâmetro importante para encontrar os valores pretendidos. A literatura utilizada foi a base de dados do site (<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>) do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (2021), e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2021).

Tabela 2. Espécies exploradas na Unidade de Produção Anual 12, na Flona do Jamari, em Rondônia, e suas características pesquisadas em bases de dados científicas para cálculo de estoque de carbono

Família	Espécie (nome científico)	Espécie (nome vernacular)	Densidade Básica (kg/m³)	Umidade máxima da madeira (%)
Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Abiurana	830	75,60
Leguminosae	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Angelim-pedra	600	89,55
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Cambará-rosa	640	89,02
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro-rosa	390	44,05
Leguminosae	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumarú	870	47,20
Lecythidaceae	<i>Couratari stellata</i> A. C. Sm.	Embireira	650	68,73
Leguminosae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Faveira-ferro	830	16,00
Boraginaceae	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó	480	24,99
Leguminosae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Garapeira	750	61,50
Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Garrote	700	17,47
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Guariúba	560	65,27
Bignoniaceae	<i>Handroanthus incanus</i> (A.H. Gentry) S. O. Grose	Ipê-amarelo	820	48,10
Bignoniaceae	<i>Handroanthus</i> <i>impetiginosus</i> ,. (Mart.ex DC.) Mattos	Ipê-roxo	870	39,90
Leguminosae	<i>Hymenaea oblongifolia</i> var. <i>palustris</i> (Ducke) Y.T.Lee & Langenh.	Jatobá	760	50,02
Leguminosae	<i>Hymenaea intermedia</i> Ducke	Jatobazinho	760	50,02
Lecythidaceae	<i>Allantoma decandra</i> (Ducke) S.A.Mori, Y.- Y.Huang & Prance	Jequitibá	600	56,48

Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	790	51,10
Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Muirapiranga	835	54,73
Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Pequiá	630	53,99
Leguminosae	<i>Peltogyne excelsa</i> Ducke.	Roxinho	810	66,18
Leguminosae	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Sucupira- amarela	740	57,60
Leguminosae	<i>Diploptropis rodriguesii</i> H.C. Lima	Sucupira-preta	740	70,00
Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Tauari- vermelho	580	100,60

¹Os nomes vulgares foram associados à nomenclatura científica do Herbário virtual do Re flora (REFLORA, 2022).

Através da substituição dos valores de densidade básica descritos na Tabela 2 e volumes de cada indivíduo arbóreo obtido pelas medições de inventário florestal, a massa seca, ou seja, a 0% de umidade, de cada espécie pôde ser estimada, pela Equação 1.

$$D_b = \frac{M_{seca}}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

D_b : densidade básica média por espécie explorada, em t/m³;

M_{seca} : massa seca a ser encontrada para cada indivíduo, em toneladas;

V: é o volume da madeira úmida, obtido após mensuração pelo inventário florestal, em m³.

Com esse dado e os teores máximos de umidade da madeira para cada espécie, foi calculado o valor da massa úmida transportada, em toneladas, pela Equação 2. As toras são carregadas para a serraria na condição de madeira verde, poucos dias após a derrubada. Permanecendo pouco tempo nos pátios (ou esplanadas).

$$TU = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{úmida}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

TU: teor de umidade da madeira, em números decimais;

$M_{úmida}$: massa da madeira úmida, em tonelada;

M_{seca} : massa da madeira seca, em tonelada.

Considerou-se que o volume real estimado para a árvore inteira, com a copa e galhos, é 1,98 vezes o volume úmido transportado, de acordo com os resultados encontrados por Sanquetta et. al (2020).

Para a estimativa do carbono contido na biomassa (Equação 3), foi excluído o componente água H_2O e outros componentes químicos. Assim, encontrando, o quanto de C, em quilos, tem-se nas toras transportadas, considerando o fator umidade. Usou-se a proporção de que 40% do vegetal é umidade (HIGUCHI e CARVALHO, 1994), 49% é carbono, e o restante consiste em extrativos e outros compostos como proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2006).

$$EC = M_{seca} \times 0,49 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

EC : estoque líquido de carbono, em tonelada.

Para a estimativa do quanto havia de dióxido de carbono (CO_2) na madeira explorada, houve a multiplicação do estoque líquido de carbono encontrado na Equação 3, pela fração 44/12 (peso molecular da molécula de carbono é 12, e dióxido de carbono é 44), como é mostrado na Equação 4 abaixo.

$$E_{CO_2} = EC \times (44/12) \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

EC : estoque líquido de carbono, em tonelada;

E_{CO_2} : estoque líquido de dióxido de carbono, em toneladas.

3.2.3 Cálculo da emissão de dióxido de carbono pelos transportes

As emissões de CO_2 foram calculadas para todas as etapas que envolvem o transporte de madeira: rodoviário, fluvial e marítimo. Conforme Figura 3, os valores são obtidos considerando as distâncias entre a origem e destino, e também o volume de madeira transportado.

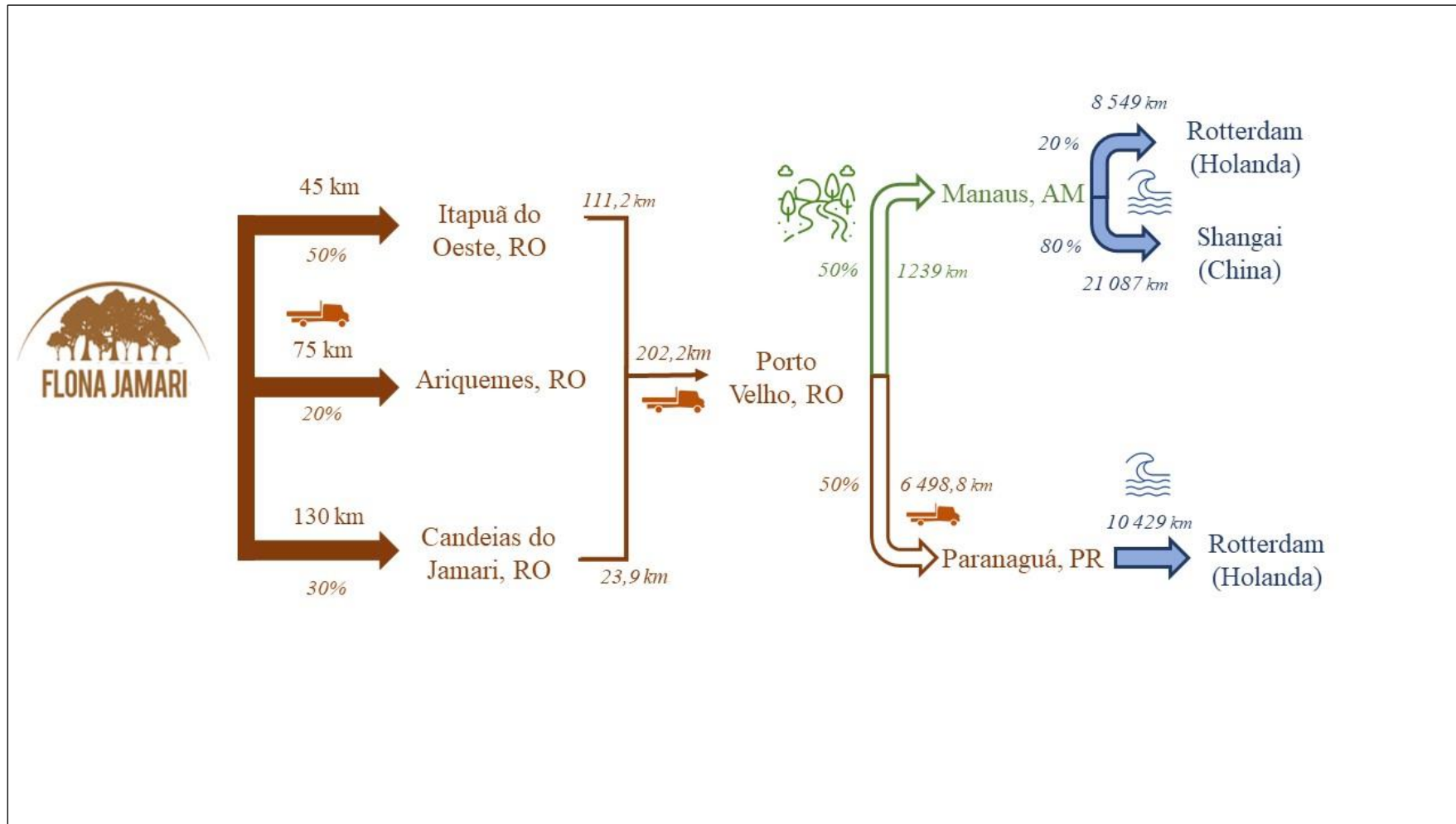


Figura 3. Fluxograma do transporte intermodal da madeira da UPA 12, explorada na Flona do Jamari, com distâncias entre origens e destinos e percentagens de volume de madeira transportadas a cada destino. Fonte: Elaborado pela autora.

Para este estudo foi realizado um sequenciamento de trechos considerando:

- rotas (elencando origens e destinos),
- distância,
- tipos de transporte/modal, e
- nome ordinal em forma crescente: de primário a quaternário.

O primeiro trecho, denominado transporte primário ocorreu da AMF até as serrarias realizado por transporte rodoviário. Nas serrarias dos municípios de Itapuã do Oeste, Ariquemes e Candeias do Jamari, em que são realizados o processamento primário e secundário das toras provenientes do manejo da Flona, ocorre também a secagem da madeira para comercialização.

A partir dos dados cedidos pela empresa de data e horários de chegada dos veículos aos pátios das serrarias foi avaliado quantas cargas saíram da AMF, o volume transportado, além do volume restante após a serraria.

Como segundo trecho (transporte secundário) a madeira já processada foi transportada a Porto Velho, também por rodovias. O terceiro trecho, intitulado transporte terciário foi realizado de duas formas diferentes: de Porto Velho para Manaus foi encaminhado 50% do volume de madeira serrada por transporte aquaviário, por meio de balsa. Os outros 50% do volume de madeira serrada foram transportados utilizando transporte rodoviário até o Porto de Paranaguá.

Por fim, para completar a simulação, como transporte quaternário, foi realizado o transporte marítimo entre os Portos de Manaus com destinos a Europa (Porto de Rotterdam, na Holanda), com 3.518,8 m³, e a Ásia (Porto de Shangai, na China), com o volume de 879,7 m³. O restante dos 50% foi do porto de Paranaguá até o porto de Rotterdam com o volume de 4.398,6 m³.

Usou-se como simulação de rota, após pesquisa, o porto mais movimentado na Europa, o de Rotterdam, na Holanda; e o mesmo critério foi usado para o continente asiático, sendo o porto de Shangai, na China o escolhido.

Nos percursos primário e secundário considerou a emissão de ida e volta dos caminhões, tendo em vista que esses foram sem outra carga na primeira viagem, e a emissão ainda referente ao produto madeira. O transporte florestal é caracterizado por possibilitar que os caminhões viagem carregados somente em um sentido, pela especificidade da carga e exclusividade do frete (SEIXAS, 2001). Dessa forma, para o cálculo de emissão do transporte rodoviário há de se utilizar a distância multiplicada por dois, devido ao

percurso de ida vazio o qual o veículo realiza para buscar a madeira na AMF. Entretanto, a emissão do veículo vazio é menor do que carregado.

Contudo, nos trechos referentes aos transportes terciário e quaternário, somente foram usadas as distâncias de volta. Tanto no percurso hidroviário (Porto Velho a Manaus), quanto no rodoviário (Porto Velho a Paranaguá), assumiu-se outra carga no percurso de ida, para aproveitamento do frete. O transporte quaternário, ocorreu por meio de navios cargueiros, com outros produtos conjuntamente na mesma viagem.

As Composições Veiculares de Carga (CVCs) que a empresa informou utilizar para escoamento da madeira entre AMF e serraria foram biminhão (também chamado de caminhão “truck” com julieta), rodotrem e bitrem (Figura 4).

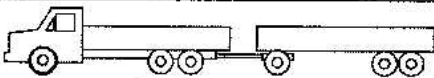
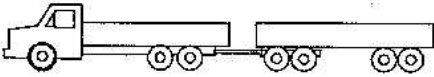
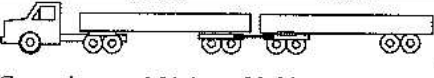
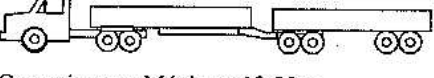
Combinação de Veículos de Carga		
Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	$6t+17t+(10t+17t)$ PBTC = 50t
Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	$6t+17t+(17t+17t)$ PBTC = 57t
Rodotrem	 Comprimento Máximo: 30,00m	$6t+17t+17t+17t+17t$ PBTC = 74t
Bitrem Articulado	 Comprimento Máximo: 19,80m	$6t+17t+(17t+17t)$ PBTC = 57t

Figura 4. Tipos de Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. Fonte: Machado *et al.* (2000), adaptado pela autora.

As distâncias rodoviárias referentes ao transporte primário, ou seja, entre AMF e serrarias, são as cedidas pela própria empresa. Já as do transporte secundário foram extraídas do site Rotas Brasil (2021), o qual é dada a distância em rotas realizadas de caminhão, com a possibilidade de selecionar o número de eixos. Assim como o transporte terciário de parte rodoviária. O transporte terciário de parte fluvial (Porto Velho a Manaus) teve a distância extraída do site “SP sem Segredos” (2021), o qual descreve as distâncias fluviais entre cidades da Amazônia.

As distâncias de transporte quaternário, marítimos, foram extraídas da página MG/ES

(2021), grupo de pesquisa da PUC-SP, o qual avalia diferentes logísticas de transporte, como mostrado no esquema da Figura 5.

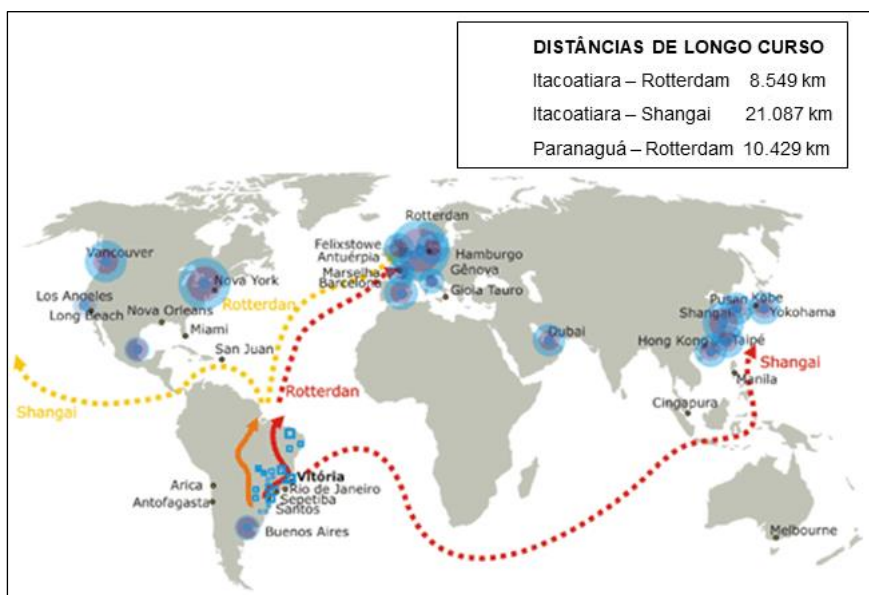


Figura 5. Rotas marítimas Rotterdam (Holanda) – Itacoatiara (Brasil), Rotterdam (Holanda) – Paranaguá (Brasil) e Itacoatiara – Shanghai (China)

Fonte: http://www4.pucsp.br/artecidade/mg_es/portugues/territorio/infra/trans01.htm, adaptado

Os fatores de emissão de CO₂ são indicadores necessários para o cálculo de emissões. Sendo utilizados os seguintes fatores, descritos por Leal Junior *et al.* (2015), para veículos a diesel, em kg de CO₂ por tonelada transportada por quilômetro percorrido (kg/t.km): 0,11917 para o modal rodoviário e 0,018 para os modais hidroviários. Caso o modal ferroviário fosse utilizado também, o fator seria 0,0346 kg/t.km.

A Figura 6 mostra o comparativo do consumo de combustível entre os modais rodoviário, ferroviário e hidroviário, assim como emissão de poluentes (hidróxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono e óxido de nitrogênio) por tonelada transportada a cada 1000 km rodados, de acordo com estudo da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Esse último parâmetro tem ligação direta com outros dois citados na comparação: vida útil da infraestrutura e custo de manutenção das vias.

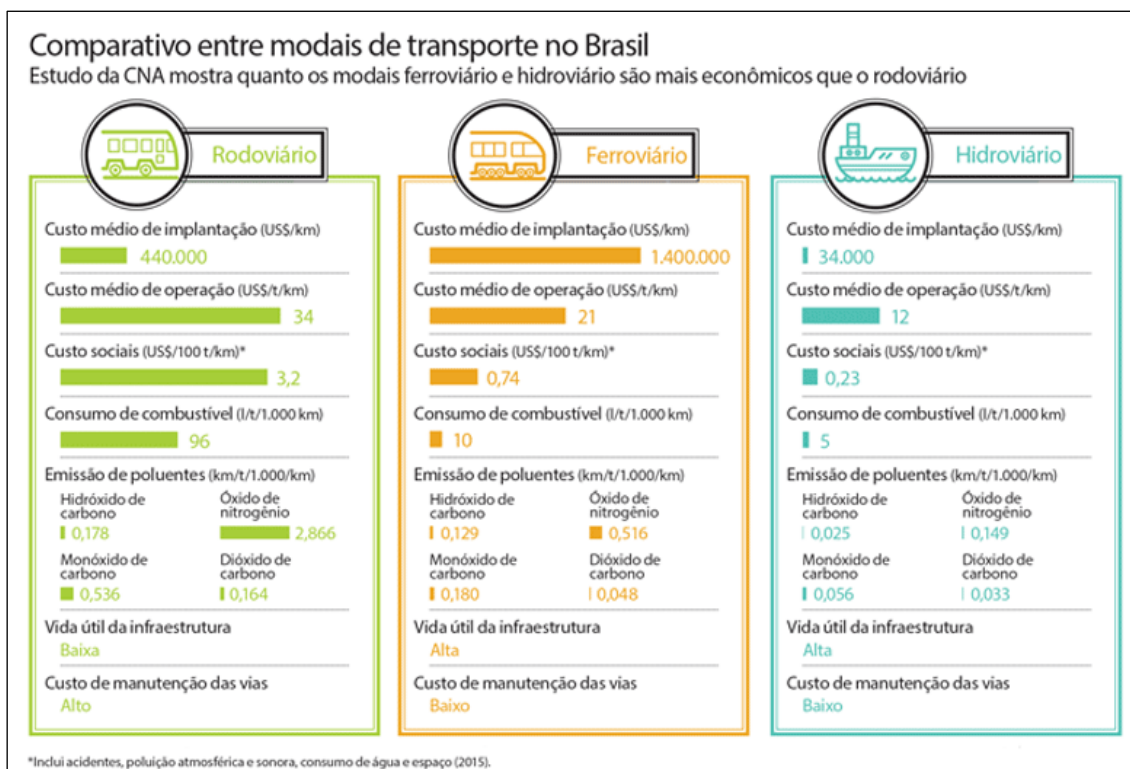


Figura 6. Comparativo da CNA entre modais rodoviário, ferroviário e hidroviário.

Com esses dados, o cálculo de emissões em cada etapa do transporte foi realizado conforme a Equação 5, baseado no trabalho de Vettorazzi *et al.* (2017):

$$E_{jk} = \sum (Fe_i \times D \times Q_{jk}) \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

E_{jk} = Emissão total de CO₂ por município de origem j e por município de destino k em kg;

Fe_i = Fator de emissão de CO₂ do modal de transporte i , em kg/t.km;

D = Distância percorrida, em km;

Q_{jk} = Quantidade de madeira transportada por local de origem j e local de destino k , em toneladas.

Dessa forma foram somadas as emissões totais de todas as etapas, tendo como resultado as emissões totais para o transporte de madeira da UPA 12.

3.2.4 Balanço entre CO₂ estocado e emitido

O balanço foi calculado avaliando as emissões de dióxido de carbono estocado nas toras

de madeira transportadas e o somatório das emissões totais pelos transportes primário, secundário, terciário e quaternário (Figura 7). O cálculo realizado foi o demonstrado na Equação 6.

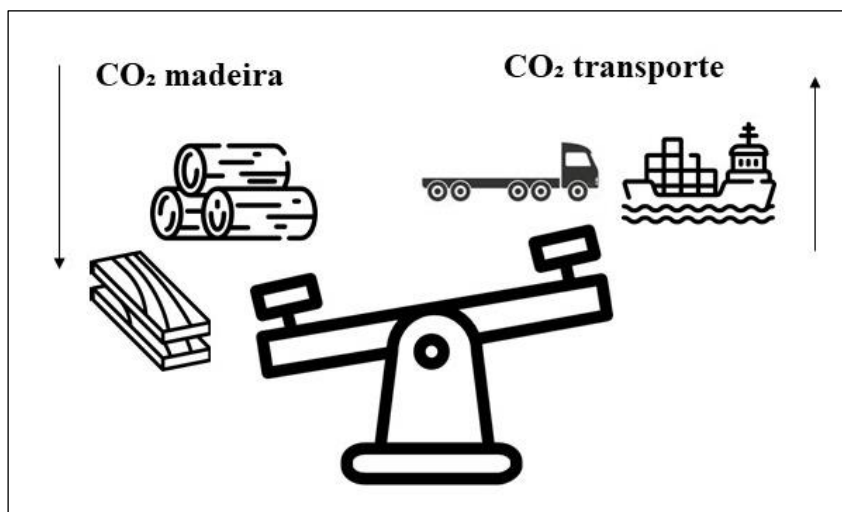


Figura 7. Balanço da emissão de dióxido de carbono pelo transporte da madeira.

$$B_{CO_2} = E_{CO_2} - \sum E_{jk} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

B_{CO_2} = Balanço entre CO_2 estocado em madeira transportada e emitido pelo seu transporte, em kg;

$\sum E_{jk}$ = somatório da emissão do transporte primário, secundário, terciário e quaternário, em kg.

3.3 Resultados e Discussão

O cálculo e análise do estudo em relação ao volume e biomassa foram realizados através dos dados de inventário florestal. Na floresta estimou-se o estoque de 37.268,9 t CO_2 em todas as toras retiradas na UPA 12. Sendo uma razão de 15,24 t CO_2 estocado por hectare, o equivalente a 8,48 t biomassa seca/ha.

Ao se considerar o cenário de carbono fixado na árvore ainda inteira, foram 71.670,8 t de CO_2 na floresta, e 29,31 t CO_2 /ha.

Esses resultados são coerentes no que se diz que somente uma parcela da floresta é retirada ao manejá-la, através dos dados que se tem na literatura da biomassa na parte aérea viva de diferentes regiões da floresta amazônica brasileira, porém para todas as árvores, sendo 253,8t biomassa seca/ha, segundo Nogueira *et. al* (2008), significando isso

3,34% dos 253,8 t biomassa seca/ha retirada, ao se considerar a biomassa somente da parte lenhosa, que é a fração carregada da floresta.

Além de que dessa porção de carbono retirada da floresta parte se mantém armazenada na madeira serrada para usos de longa vida útil. Encontrou-se que, no volume restante de madeira serrada havia 13.370,5 t CO₂ armazenado, 35,88% do dióxido de carbono contido anteriormente nas toras.

Há de ressaltar que na exploração de impacto reduzido das florestas tropicais as árvores são cortadas de forma planejada e estrategicamente a proporcionar a regeneração de outros indivíduos, e a floresta permanecer em pé durante décadas a frente. Consequentemente há incremento de carbono nessa área, principalmente nos primeiros anos após a exploração, quando a regeneração é mais acelerada.

Alguns autores como Brandão *et al.* (2012) e Smith *et al.* (2014) pontuam esse ponto, da importância da produção de madeira originária de manejos florestais sustentáveis, como um potencial de mitigação dos efeitos negativos ao clima global, uma vez que as chamadas “reservas antropogênicas” acumulam carbono por relativamente longos períodos, ficando este na madeira ao invés de estar na atmosfera. Reservas antropogênicas são produtos em uso, em que produtos de madeira podem durar por 5 ou até 100 anos (BRUNET-NAVARRO *et al.*, 2017), e ainda há os locais de descarte, onde esse estoque perdura por mais tempo. Entretanto o potencial de mitigação do clima do manejo florestal depende principalmente do quanto está estocado nas reservas antropogênicas, e associar às perdas do processamento da madeira, desde o corte dessa até a aplicação final (ALICE-GUIER *et al.*, 2020).

Primeiramente, da Unidade de Manejo para as três serrarias, no transporte primário, unicamente rodoviário, e, portanto mais impactante em relação às emissões do que os transportes aquaviário e ferroviário por exemplo, foi transportado 30.523,43 toneladas de madeira em toras. Essa quantidade foi escoada em 253 viagens através de modal rodoviário da Flona do Jamari até Itapuã do Oeste (50%), Ariquemes (20%) e Candeias do Jamari (30%).

A emissão total dessa primeira etapa do percurso foi 556,53 tCO₂, como detalhado na Tabela 2, correspondente a 1,49% do estoque líquido de dióxido de carbono, e em 1,02% do percurso total que essa madeira foi transportada.

Tabela 2. Resultados das emissões veiculares do transporte florestal primário

Flona → Itapuã ida e volta (tCO ₂)	Flona → Ariquemes ida e volta (tCO ₂)	Flona → Candeias ida e volta (tCO ₂)	Total do Transporte Primário (tCO ₂)
163,69	109,12	283,72	556,53

O volume de madeira serrada gerado das três serrarias foi 8.797,1 m³, o que representa um coeficiente de rendimento volumétrico - CRV de 30,49%. Assim, assumindo-se, sem o conhecimento atual exato dos fins para esse resíduo, que parte do estoque líquido de carbono é perdido nesse processo. O Plano de Manejo da área prevê o uso do resíduo para produção de energia sob forma de cogeração na produção de *pellets* e carvão vegetal, tendo em vista a melhor utilização, dependendo da demanda e preços dos mercados consumidores locais e externos (AMATA, 2007), o que de certa forma pode ser considerado benéfico ao se optar pelo uso de uma matéria prima que já está disponível ao invés de produzir uma nova.

Os CRV's de madeiras amazônicas para serraria geralmente apresentam amplitude variável de espécie para espécie, devido às variadas características dos fustes. Lentini *et al.* (2003), averiguaram 2.570 empresas em 72 polos de processamento de madeira na Amazônia Legal e encontraram um CRV% médio de 38,2%. Pereira *et al.* (2010) chegou a valores entre 38% e 42% em levantamento pelo bioma.

Fatores como: ocos, mesmo que pequenos, partes consideradas podres na madeira, tortuosidade, afunilamento e variação na região do brancal da tora, são atributos que interferem no volume líquido a ser consumido pela serraria, de fato. A maior parte da tora aproveitada pelas serrarias é o cerne, região central da tora, de cor diferenciada, diferentemente do brancal, também conhecido como alburno, que praticamente não é utilizado, e vira resíduo. O cerne é considerado mais resistente ao ataque de agentes xilófagos e de maior durabilidade, também conhecido como “filé” da madeira. Dependendo da espécie, cuja diferenciação entre cerne e alburno é sutil, o aproveitamento é maior, com CRV maior, gerando menos resíduos.

O transporte secundário, também unicamente rodoviário, com 674,60 km percorridos no total, emitiu 245,42 t CO₂, sendo 1,38% da distância do percurso total, e 0,66% do estoque líquido consumido nessa etapa, conforme Tabela 3. Configurando uma menor emissão, para uma distância maior, comparado com o transporte primário, cuja carga é 3,1 vezes maior em termos de sua massa.

Tabela 3. Resultados das emissões veiculares do transporte florestal secundário

Itapuã do Oeste → Porto Velho ida e volta (tCO ₂)	Ariquemes → Porto Velho ida e volta (tCO ₂)	Candeias → Porto Velho ida e volta (tCO ₂)	Total do Transporte Secundário (tCO ₂)
132,21	96,16	17,05	245,42

O resultado da emissão no transporte terciário dessa carga mostra o peso que o modal rodoviário representa sob a emissão de dióxido de carbono no transporte de cargas, como pode ser observado na Tabela 4. O longo percurso de 6.498,8 km entre Porto Velho e o porto de Paranaguá através de rodovias, com a mesma massa de madeira serrada carregada no transporte hidroviário de Porto Velho a Manaus, em 1.239 km, distância 5,2 vezes menor, emitiu 97,20% a mais de dióxido de carbono.

Tabela 4. Resultados das emissões do transporte florestal terciário, com 50% da carga escoada através de hidrovias e 50% rodovias

Porto Velho → Manaus ida (t CO ₂)	Porto Velho → Paranaguá ida (t CO ₂)	Emissão Total do Transporte Terciário (t CO ₂)
111,25	3.863,31	3.974,56

Relacionado a termos de eficiência energética, de acordo Correa e Ramos (2010) o modal rodoviário é menos eficiente no consumo de combustível por tonelada transportada, sendo os modais hidroviário e ferroviário mais adequados para o transporte de cargas cujo valor agregado é baixo a longas distâncias, sendo maximizada a eficiência de consumo de combustível por tonelada transportada.

No caso do presente estudo, não há informações exatas sobre o consumo de combustível para as situações transportadas para que seja feita a comparação de eficiência do modal através do consumo. A base utilizada foram fatores de emissão médios de acordo com o modal utilizado, como indicados pelo relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013). Entretanto, para uma comparação mais justa no transporte terciário, foram calculados os fatores de emissão em quilos de CO₂ para uma tonelada transportada, a cada quilômetro, sendo 0,009 kg CO₂/t.km para o modal hidroviário, e 0,060 kg CO₂/t.km para o rodoviário. Portanto, o transporte rodoviário também foi mais poluente para essa situação.

O escoamento da madeira serrada aos mercados consumidores estrangeiros simulados, responsável por 81,80% da distância total de transporte dessa carga teve 2.604,68 tCO₂ emitidos (Tabela 5), valor ainda menor do que o transporte terciário, responsável por 15,80% da distância total de transporte, reforçando a representatividade das emissões de gases poluentes a atmosfera pelo modal rodoviário de longas distâncias.

Tabela 5. Resultados das emissões do transporte florestal quaternário, inteiramente marítimo

Manaus → Shanghai ida (t CO ₂)	Manaus → Rotterdam ida (t CO ₂)	Paranaguá → Rotterdam ida (t CO ₂)	Total do Transporte Quaternário (t CO ₂)
1.514,73	153,52	936,43	2.604,68

É importante ressaltar o efeito da densidade nos cálculos, com valores buscados em literaturas (SFB, 2021; IPT, 1989), podendo variar de acordo com o sítio em que a árvore se desenvolveu, e diferenças no clima entre a região desse trabalho e onde os estudos das literaturas buscadas foram desenvolvidos. Isso pode ocasionar em diferenças sutis no valor da massa transportada, e consequentemente no dióxido de carbono estocado, assim como no valor da emissão pelo transporte.

A densidade da madeira tropical, por natureza da espécie em si, é bem variável, entre 0,47 t/m³ e 1,09 t/m³, assim como é observado em diversas literaturas observadas (SFB, 2021; CAMPOS *et. al*, 2011), o que já influencia a massa e emissão de CO₂. Tendo a carga do presente estudo densidade básica média de 0,73 t/m³.

O transporte de madeira com umidade em equilíbrio com a umidade do ar é visto por Campos *et. al* (2011) como o ideal, devido a maior massa que a madeira verde tem e maior impacto na emissão de gases veiculares. Entretanto, algumas espécies são exatamente carregadas poucos dias após seu corte, por preferência da serraria em processar a madeira na forma mais úmida, além de sua possível perda de qualidade no campo, por ser mais suscetível a agentes xilófagos. Ademais, o escoamento da madeira de saída da UPA é dependente do regime de chuvas da Amazônia, de maneira que o manejo e o transporte acontecem quentes durante a época conhecida como “verão amazônico” ou “seca”, quando são autorizados pelo órgão público responsável. O período oposto tem alto índice pluviométrico, ocasionando em piora nas condições das estradas,

que, em grande parte da região não são asfaltadas, além de não haver autorização para esse trânsito.

Cargas de alta densidade, segundo o *Ecological Transport Information Tool* (2011), podem praticamente dobrar a emissão em comparação a cargas de baixa densidade, em decorrência do volume limitar a capacidade do veículo em função do peso da carga. Esse aspecto é, para o modal rodoviário, um campo a ser melhor discutido, por ser comum no transporte de madeiras nativas o carregamento nos caminhões de volumes maiores do que possam suportar, além da manutenção da frota e condições de pavimentação e qualidade das malhas viárias, visando melhorias e investimentos tecnológicos, como descrito por Lima (2014).

Na Tabela 6 o parâmetro da influência da densidade na emissão de CO₂ pode ser observado. Foram calculadas as emissões tanto para o transporte rodoviário quanto hidroviário por m³ para o volume total por espécie transportada, para a distância de 1000 km, e, com os valores encontrados nota-se valores maiores de emissão de CO₂ para espécies mais densas. Por exemplo, para o transporte de Cumaru, com densidade verde 1,25 t/m³, são 0,15 tCO₂/m³ de emissão, no transporte rodoviário, enquanto para o Freijó, com 0,60 t/m³ de densidade, são 0,07 t CO₂/m³.

Tabela 6. Emissão de CO₂ no transporte de madeira em tora para as espécies da exploração da UPA 12, por 1.000 km.

Nome vernacular	Espécie	Volume (m ³)	Peso da Carga (t)	Densidade verde transportada (t/m ³)	Fator emissão (kg/t.km)		Emissão Total (tCO ₂)		Emissão (tCO ₂ /m ³)	
					Hidro	Rodo	Hidro	Rodo	Hidro	Rodo
Abiurana	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	698,79	1.018,47	1,4575	0,018	0,11917	18,33	121,37	0,0262	0,1737
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	1.900,16	2.161,05	1,1373	0,018	0,11917	38,90	257,53	0,0205	0,1355
Cambará-rosa	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	630,45	762,67	1,2097	0,018	0,11917	13,73	90,89	0,0218	0,1442
Cedro-rosa	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	286,79	161,12	0,5618	0,018	0,11917	2,90	19,20	0,0101	0,0669
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	807,28	1.011,71	1,2532	0,018	0,11917	18,21	120,57	0,0226	0,1493
Embireira	<i>Couratari stellata</i> A. C. Sm	5.055,06	4.733,18	0,9363	0,018	0,11917	85,20	564,05	0,0169	0,1116
Faveira-ferro	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	5.111,9	6.111,86	1,1956	0,018	0,11917	110,01	728,35	0,0215	0,1425
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	85,88	51,52	0,6000	0,018	0,11917	0,93	6,14	0,0108	0,0715
Garapeira	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	2.634,48	2.469,63	0,9374	0,018	0,11917	44,45	294,31	0,0169	0,1117
Garrote	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	576,77	504,63	0,8749	0,018	0,11917	9,08	60,14	0,0157	0,1043

Guariúba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruíz & Pav.	872,8	610,91	0,6999	0,018	0,11917	11,00	72,80	0,0126	0,0834
Ipê-amarelo	<i>Handroanthus incanus</i> (A.H. Gentry) S. O. Grose	296,99	304,39	1,0249	0,018	0,11917	5,48	36,27	0,0184	0,1221
Ipê-roxo	<i>Handroanthus impetiginosus</i> , (Mart.ex DC.) Mattos	143,28	174,39	1,2171	0,018	0,11917	3,14	20,78	0,0219	0,1450
Jatobá	<i>Hymenaea oblongifolia</i> var. palustris (Ducke) Y.T.Lee & Langenh.	678,41	721,31	1,0632	0,018	0,11917	12,98	85,96	0,0191	0,1267
Jatobazinho	<i>Hymenaea intermedia</i> Ducke	49,63	56,59	1,1402	0,018	0,11917	1,02	6,74	0,0205	0,1359
Jequitibá	<i>Allantoma decandra</i> (Ducke) S.A.Mori, Y.-Y.Huang & Prance	728,47	655,71	0,9001	0,018	0,11917	11,80	78,14	0,0162	0,1073
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	3.219,81	3.815,98	1,1852	0,018	0,11917	68,69	454,75	0,0213	0,1412
Muirapiranga	<i>Brosimum rubescens</i> Taub	216,27	270,91	1,2527	0,018	0,11917	4,88	32,28	0,0225	0,1493
Pequi	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	528,46	499,46	0,9451	0,018	0,11917	8,99	59,52	0,0170	0,1126
Roxinho	<i>Peltogyne excelsa</i> Ducke.	1.644,22	1.997,99	1,2152	0,018	0,11917	35,96	238,10	0,0219	0,1448
Sucupira-amarela	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	309,98	344,12	1,1101	0,018	0,11917	6,19	41,01	0,0200	0,1323
Sucupira-preta	<i>Diplotropis rodriguesii</i> H.C. Lima	88,27	97,99	1,1101	0,018	0,11917	1,76	11,68	0,0200	0,1323
Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	2.284,53	1.987,81	0,8701	0,018	0,11917	35,78	236,89	0,0157	0,1037

A partir dos resultados citados, tem-se que 7.381,19 tCO₂ foi a emissão total pelo transporte intermodal dessa madeira amazônica desde AMF até o mercado consumidor estrangeiro, conforme mostrado na Tabela os resultados totais. Sendo assim, esse resultado de emissão o correspondente a 19,81% do estoque líquido de dióxido de carbono das toras extraídas no manejo. Se considerar o cenário envolvendo copa, raízes, partes das árvores, além de seus fustes, esse valor seria 10,30%.

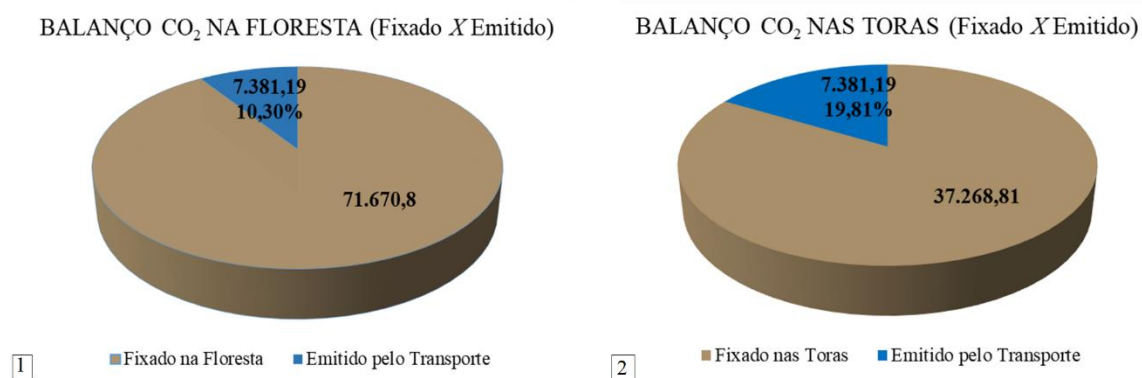
Tabela 7. Resultados do balanço entre o quanto tem de dióxido de carbono fixado e o quanto foi emitido pelos transportes primário, secundário, terciário, quaternário, e o total dos quatro

tCO ₂ fixado		tCO ₂ pela emissão do transporte			
na Floresta	na Tora	1º	2º	3º	4º
71.670,80	37.268,81	556,53	245,42	3.974,56	2.604,68
Cenário 1	Cenário 2	TOTAL 7.381,19			

Outros trabalhos também encontraram saldo positivo no balanço de carbono para a mesma linha de escoamento da madeira tropical: Campos *et al* (2011) encontraram que 58% do estoque inicial foi mantido, numa análise de emissão com o enfoque também no transporte, como o presente trabalho.

O transporte florestal para o cenário descrito pode ser considerado limpo do ponto de vista desse emitir menos dióxido de carbono do que se tem fixado na madeira transportada é validada, tendo em vista os resultados encontrados. Portanto, como mostrado nos Gráficos 1 e 2, grande parte do CO₂ fixado pelas árvores na UPA 12 da Flona do Jamari pode ser um possível reservatório de carbono após sua exploração e uso da madeira para fins de longa vida útil.

Gráficos 3 e 2. Balanço de CO₂ armazenado em floresta manejada (1) e madeira transportada (2) e pelos veículos desse transporte



Entretanto, para esse trabalho seria mais adequado considerar o Cenário 2, de dióxido de carbono somente nas toras, posto que se admitiu como reservatório de carbono os produtos de madeira serrada de uso permanente, de longa duração, os quais são gerados dessa madeira serrada. Portanto, esse transporte, mesmo com suas melhorias a serem tomadas e considerações, ainda pode ser considerado limpo.

A análise das outras operações florestais dessa cadeia produtiva, entretanto, é importante para uma reflexão mais ampla se de fato o balanço da exploração florestal como um todo é positivo para carbono excedente. O presente trabalho analisou o balanço de carbono somente na operação do transporte para escoamento da madeira explorada.

Carmo (2016) analisou a concentração de gases para 85 máquinas de motores a diesel numa circunstância de povoamentos plantados de eucalipto e pinus, responsáveis pela execução das atividades de silvicultura, colheita florestal, transporte florestal, administração, proteção, construção e manutenção de estradas, visando realizar um balanço de sequestro de carbono pela floresta.

A exploração florestal utiliza diversas máquinas e etapas cuja queima de combustíveis fósseis é necessária para seu funcionamento. São essas a construção de estradas, corte, arraste, extração, transporte, entre as atividades administrativas, envolvendo deslocamentos de funcionários. Abrangendo todas essas operações seria obtido um balanço real da cadeia inteira.

3.4 Conclusões

Foi analisado nesse estudo o balanço entre emissão de gases poluentes pelo transporte intermodal da madeira explorada por Manejo Florestal para mercado consumidor estrangeiro e o quanto disso equivale em percentagem ao seu estoque líquido de carbono previamente fixado pelas árvores na floresta.

Pode-se concluir que, para a abrangência abordada, somente para a atividade de transporte florestal, a emissão de CO₂ não ultrapassou a quantidade no estoque madeireiro. A porcentagem da emissão equivalente ao CO₂ previamente fixado quando a árvore estava na floresta foi de 19,81%, diferentemente de outras atividades produtivas as quais somente há o viés de emissão de gases poluentes.

A partir da análise das distâncias percorridas para cada etapa, envolvendo as diferentes modalidades de transporte: rodoviário, hidroviário e marítimo, confirmou-se a afirmação muito abordada em diferentes literaturas de que o modal rodoviário é caracterizado por um impacto ambiental negativo. Dentre essas três modalidades de transporte, o rodoviário

é o mais poluente. A quantidade de CO₂ emitida por tonelada carregada, por quilômetro percorrido é mais expressiva e as distâncias são bastante longas, resultando em grandes emissões para a atmosfera. O escoamento da madeira serrada aos mercados consumidores estrangeiros simulados, responsável por 81,80% da distância total de transporte dessa carga teve 2.604,68 tCO₂ emitidos, valor ainda menor do que o transporte terciário, responsável por 15,80% da distância total de transporte, reforçando a representatividade das emissões de gases poluentes a atmosfera pelo modal rodoviário de longas distâncias.

Referências

ALICE-GUIER, F. E., MOHREN, F., ZUIDEMA, P. The life cycle carbon balance of selective logging in tropical forests of Costa Rica. **Journal of Industrial Ecology**, v. 24, p. 534–547. 2020

AMATA. **Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS Pleno – UMF III Flona do Jamari em Rondônia**. 2009. São Paulo. 142 p.

BRANDÃO, M., LEVASSEUR, A., KIRSCHBAUM, M., WEIDEMA, B., COWIE, A., JØRGENSEN, S.,...CHOMKHAMSRI, K. Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. **Internation Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 230–240. 2012

BRUNET-NAVARRO, P., JOCHHEIM, H., MUYS, B. The effect of increasing lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 22, n. 8, p. 1193–1205. 2017

CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R.; CZARNESKI, C. M.; OLIVEIRA, D. de; MEGUERDITCHIAN, I. **Catálogo de árvores do Brasil**. Brasília, DF: IBAMA, 2001. 896 p.

CAMPOS, E. F., PUNHAGUI, K. R. G., JOHN, V.M.. Emissão de CO₂ no transporte da madeira nativa da Amazônia. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 157-172. 2011

CARMO, F. C. A. **Balanço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo**. 2016. 68f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2016.

CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas, **RESR**, Piracicaba, v. 48, n. 2, p. 447-472. 2010.

CONWAY, T. J., TANS, P. P. Trends in atmospheric carbon dioxide. Retrieved from Disponível em <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>> . 2016.

CRAIG, A. J., BLANCO, E. E., SHEIFFI, Y. Estimating the CO₂ intensity of intermodal freight transportation. **Transportation Research Part D**. v. 22, p. 49–53. 2013

ECOLOGICAL Transport Information Tool. **EcoTransITCalculator**. Disponível em: <www.ecotransit.org>. Acesso em: 16 jan. 2021.

Reflora – Herbário Virtual. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em 27 de abril de 2022.

GUSTAVSSON, L.; ERIKSSON, L.; SATHRE, R. Costs and CO₂ Benefits of Recovering, Refining and Transporting Logging Residues for Fossil Fuel Replacement. **Applied Energy**, v. 88, n. 1, p. 192-197, 2011.

GLOOR, M., BARICHIVICH, J., ZIV, G., BRIENEN, R., SCHÖNGART, J., PEYLIN, P., ... BAKER, J. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1384–1399. 2015

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR.; J.A. Fitomassa, conteúdo e carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂– Uma

nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre Madeiras. São Paulo, 2021. Disponível em <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/>. Acesso em 19 de out. de 2021.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Suíça: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Volume 2: Energy.

LEAL JUNIOR, I. C., VALVA, D. C., GUIMARÃES, V. de A., TEODORO, P.. Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO₂. **UNIABEU**, Belford Roxo, v. 8, n. 18, p. 49-64, jan./abr. 2015.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. 2003. Fatos florestais da Amazônia 2003. Belém: **Imazon**. 124 p

LIMA, M. P., Panorama do transporte rodoviário de madeira bruta e em toras na região do Arco de Desflorestamento na Amazônia. 2014. 279 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2014.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H.B. Elementos básicos do transporte florestal rodoviário. Viçosa: **Editora UFV**, 2000. 167 p.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., OYAMA, M. D., de OLIVEIRA, G. S., de OLIVEIRA, R., ... FOSTER BROWN, I. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495–516. 2008

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., ALVES, L. M., SOARES, W. R., RODRIGUEZ, D. A.. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, L12703. 2011

MG/ES, PUC SP. 2021. Grupo de estudos da PUC SP. Disponível em: <http://www4.pucsp.br/artecidade/mg_es/portugues/territorio/infra/trans01.htm>.

Acesso em: 20 de out. de 2021.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e o Brasil: contextualização. **Parcerias Estratégicas**, n.27, p.7-17, dez., 2008.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2019. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC. 2013. **Relatório Executivo**. Disponível em: <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br>>. Acesso em 20 de ago. de 2021.

PEREIRA, D., SANTOS, D., VEDOVETO, M., GUIMARÃES, J., VERÍSSIMO, A. 2010. Fatos Florestais da Amazônia 2010. p. 124. Belém: **Imazon**.

ROTAS BRASIL. 2021. Disponível em <<https://rotasbrasil.com.br/>>. Acesso em 19 de out. de 2021.

SANQUETTA, C.; BASTOS, A.; SANQUETTA, M.; CORTE, A. P. D.; QUEIROZ, A. Carbon Stock and Removal of CO₂ in Young Stands of Forest Restoration in Rondônia. **Floresta**. v. 50, n. 1, p. 991 – 1000. 2020

SEIXAS, F. Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira. In: 5o. Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2001, Porto Seguro. 5o. Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, 2001. v. 1, p. 1-27.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Laboratório de Produtos Florestais–LPF**. Brasília, 2021. Disponível em <<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>>. Acesso em 20 de

out de 2021

SMITH, P., BUSTAMANTE, M., AHAMMAD, H., CLARK, H., DONG, H., ELSIDDIG, E. A., ... TUBIELLO, F. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2014

SP SEM SEGREDOS. Em Sampa. Distâncias fluviais entre cidades da Amazônia. Disponível em < <http://www.emsampa.com.br/page16.htm>>. Acesso em: 23 de out. de 2021

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. 2008. Disponível em: < https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf>. Acesso em 10 fev 2022.

VETTORAZZI, A. C.; JOAO, A. M.; ROCHA, F. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. Emissão de CO₂ na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo Arco Norte. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 6, p. 225-245, 2017.

WRI Brasil. COP 26: proteção de florestas vira prioridade global. Brasil precisará transformar promessas em ações concretas. 2021. Disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/blog/posicionamento-wribrasil-cop26-florestas-metas-climaticas-ndc?gclid=Cj0KCQiA3rKQBhCNARIsACUEW_aaoOznegniF-LNA1857dDeIBcV00q6SsvcOgwTTqGtcZnLzuBgybMaAiC2EALw_wcB>. Acesso em 10 fev 2022.

4 ARTIGO II: BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO EM TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA MERCADO INTERNO BRASILEIRO

Tamires Louise Santos Lima^{a*}, Mariana Peres de Lima Chaves e Carvalho^b
Renato Cesar Gonçalves Robert^c, Samuel de Pádua Chaves e Carvalho^a

^aPrograma de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brasil; ^bServiço Florestal Brasileiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, Brasil ^cDepartment, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

Contato: Tamires Louise Santos Lima, talouiselima@gmail.com, ONF Brasil Gestão Florestal, Fazenda São Nicolau, Cotriguaçu, Mato Grosso

Balanço da emissão de gases de efeito estufa: estudo de caso em transporte rodoviário de madeira amazônica para o mercado interno brasileiro

RESUMO

A madeira serrada para usos considerados de longa vida útil é um reservatório de carbono, diferentemente de outros produtos que possam ser usados na mesma função. Contudo, para que essa acesse os mercados consumidores, longas distâncias são percorridas. No Brasil o modal de transporte mais utilizado é o rodoviário, inclusive em áreas de difícil acesso, sendo consumida grandes quantidades de energia e gases poluentes para a atmosfera. Nesse trabalho objetivou-se calcular o sequestro de dióxido de carbono nas toras das árvores exploradas numa Unidade de Manejo Florestal, em Cotriguaçu, e assim o balanço da emissão desse gás poluente pelas Composições Veiculares de Carga – CVCs – desde a área de manejo florestal até a serraria encaminhada essa madeira, e posteriormente, aos mercados consumidores brasileiros do produto beneficiado. Havia 14.304,57 t CO₂ estocados nas árvores que foram exploradas na área de 1.018 hectares, onde somente 43% do volume pretendido foi explorado até a data da análise. O transporte primário emitiu 127,89 tCO₂. Somente no transporte secundário foram 17.004 quilômetros cobertos para 7 cidades brasileiras, com a emissão de 2.083,46 tCO₂ pelos caminhões. Como resultado do balanço teve-se que 15,46% do estoque líquido do CO₂ presente na madeira transportada foi lançado a atmosfera através dos caminhões que fazem o escoamento da matéria prima desde a floresta até seu mercado consumidor. Esses resultados fornecem evidências de uma neutralidade de emissões de materiais obtidos de florestas naturais, para o cenário estudado. A necessidade de percorrer longas distâncias para que a produção seja entregue é uma característica intrínseca do transporte de cargas no Brasil, majoritariamente rodoviário.

Palavras-chave: transporte madeireiro; GEE; balanço de carbono; manejo florestal; Mato Grosso.

4.1 Introdução geral

A madeira serrada pode ser considerada um reservatório de carbono, devido a incorporação pelas árvores em sua matéria durante o crescimento. Quando é utilizada em produtos de longa vida útil, principalmente, essa fixação aumenta em função do tempo. Desse ponto que uma floresta em desenvolvimento, assim como uma floresta bem manejada é também chamada de sumidouro de carbono, em razão da sucessão das espécies e regenerações, que garantem estocagem de mais carbono, além da manutenção

desta em pé.

Entretanto, durante explorações de áreas licenciadas com o manejo realizado de forma correta, há atividades na cadeia produtiva que são fonte de carbono para a atmosfera. Como exemplo pode-se elencar a atividade/operação de transporte florestal.

A madeira é transportada em longas distâncias, majoritariamente, no Brasil, através do modal rodoviário visando acessar o mercado interno, podendo ocorrer uma intermodalidade no transporte, adicionando hidrovias e ferrovias atingindo os mercados externos. O transporte intermodal, quanto o de uma única modalidade possuem um grande consumo de energia e emissão de CO₂.

Sabe-se que esse consumo de energia e a emissão de CO₂ para a atmosfera podem ser maximizados no modal rodoviário, pelo uso de caminhões com idade avançada e manutenção precária, principalmente no primeiro transporte dessa madeira, para escoamento entre floresta e serrarias, o que é uma realidade na Amazônia (LIMA, 2014). Há evidências de que o clima da Terra vem sofrendo mudanças ao longo das últimas décadas, fora do seu ciclo natural, ocasionadas pela ação humana. Eventos considerados extremos climáticos são mais frequentes nos últimos anos, incluindo as três secas extremas numa década (MARENGO *et al*, 2008; MARENGO *et al*, 2011). A duração da estação seca na Amazônia aumentou assim como sua intensidade, e precipitação mais intensa durante a época de chuvas (GLOOR *et al.*, 2015), e, as concentrações atmosféricas globais expandiram de 320 ppm para mais de 400 ppm ao longo dos últimos 50 anos (CONWAY e TANS, 2016).

O Protocolo de Kyoto, estabelecido em 1997, é um marco na política climática internacional. Dentre uma de suas propostas, está um sistema de verificação e monitoramento rigoroso das emissões pelos países signatários, sendo o Brasil um destes. Seu principal objetivo foi definir metas para conter e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), com atenção aos países desenvolvidos. Os seis principais GEE abordados foram dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorocarbonetos (PFCs) e hexafluoretos de enxofre (SF₆), contabilizados como carbono equivalente (CO_{2eq}) (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2008).

O Brasil, na última Convenção das Partes – COP26- assumiu o novo compromisso de mitigar 50% de suas emissões de GEE até 2030, relativamente ao ano de 2005, a fim de limitar o aquecimento do planeta a 1,5°C. Grande parte das emissões são associadas ao desmatamento ilegal, deixando clara a relutância do país em fazer valer instrumentos

econômicos efetivos de proteção à floresta em pé (WRI, 2021).

O setor de transportes no Brasil tem uma grande participação na emissão total de gases de efeito estufa. Pela quantificação do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (2020), o qual contabiliza os gases provenientes da produção e do uso de combustíveis, essa atividade, dentro do setor de energia cujo aumento de emissões é historicamente o maior dentre todos os setores, foi responsável por 47% de toda emissão. Sendo o transporte de cargas fonte responsável por 40% do quanto é emitido.

Motores de combustão usados em transporte, maquinários pesados entre outros equipamentos são uma das principais fontes de GEE. As chamadas emissões de exaustão dos motores, com atenção aos que funcionam à diesel, lançam componentes como CO, HC, NOx, perigosos a saúde humana, assim como ao ecossistema florestal (LIJEWSKI *et al.*, 2017), e são possivelmente causadores de câncer (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002).

Assim como o setor de transportes é um dos principais emissores de GEE, é importante no atual cenário de intensificação da mudança do clima que sejam avaliadas essas atividades, como elas ocorrem e os produtos cujos processos de produção sejam menos poluentes, tendo em vista a preocupação em diminuir os impactos negativos. Conhecendo os cenários, podem ser avaliadas estratégias logísticas para mitigar os impactos dos processos produtivos. Assim é justificável a execução de trabalhos relacionados a redução de emissões exaustivas de motores, incluindo os usados no meio florestal. Para a extração de madeira é comum o uso de equipamentos e veículos que necessitam da queima de combustíveis fósseis. Além de que a eficiência das operações florestais é firmemente relacionada ao consumo de energia (LIJEWSKI *et al.*, 2017).

Essa etapa da cadeia produtiva da atividade madeireira reduz o estoque líquido de carbono na madeira transportada, cuja árvore fixa anteriormente em seu processo de desenvolvimento, devido à queima de combustíveis fósseis. O que significa haver um limite a partir do qual as emissões de CO₂ do transporte ultrapassam a quantidade de carbono estocada na madeira (GUSTAVSSON *et al.*, 2011).

Verificada a significativa participação dos meios de transporte no aquecimento da Terra, o objetivo deste trabalho foi analisar o quanto, em relação ao estoque na madeira, é o dióxido de carbono emitido no transporte florestal, realizado somente por modal rodoviário, de um estudo de caso de madeira extraída em uma área manejada, desde o seu escoamento da Área de Manejo Florestal até a sua venda como madeira serrada no

mercado interno brasileiro.

4.2 Material e Métodos

A metodologia deste estudo é dividida em 4 seções que são apresentadas de forma a facilitar a compreensão e discussão da pesquisa: i) a caracterização da área de estudo, ii) o cálculo do dióxido de carbono fixado na madeira durante seu crescimento que foi transportada, iii) cálculo da emissão do dióxido de carbono emitido pelo transporte em seu modal rodoviário e, iv) o balanço do dióxido de carbono entre o que foi fixado no crescimento e o que foi emitido pela atividade de transporte.

O transporte realizado foi inteiramente rodoviário, o mais utilizado no Brasil. Esse modal representa o escoamento de 60% das cargas no país (CNT, 2020) e também é o segundo menos eficiente quanto a emissão de poluentes (VETTORAZZI *et al.*, 2017).

4.2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados utilizados para desenvolvimento desse trabalho são referentes ao transporte das toras exploradas na UPA 2, em 2021 na Fazenda São Nicolau, sede da empresa ONF Brasil Gestão Florestal, no município de Cotriguaçu, ao noroeste do estado do Mato Grosso, área indicada na Figura 1.

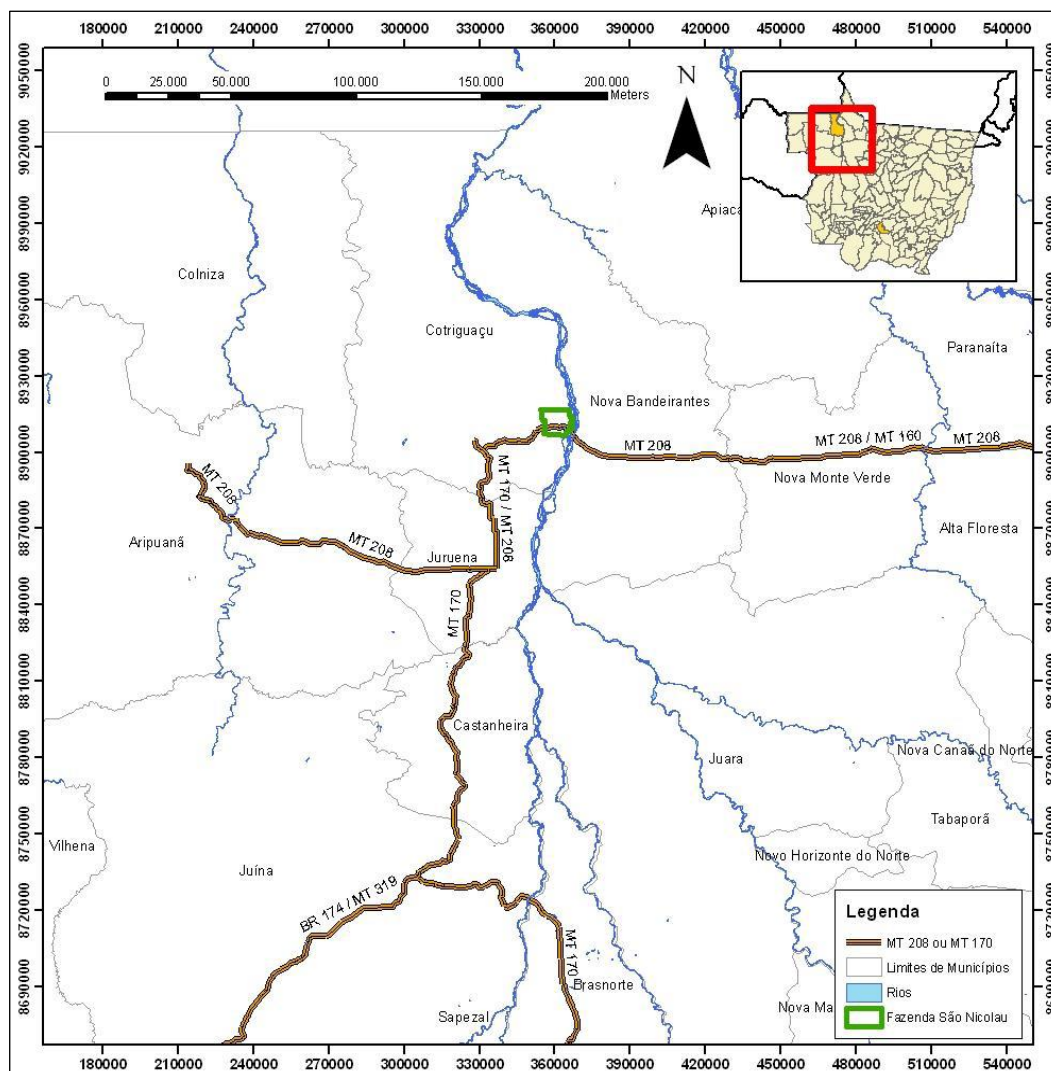


Figura 1. Localização da Fazenda São Nicolau, à margem do rio Juruena, na rodovia MT 208.

A Fazenda São Nicolau tem área de aproximadamente 10.286,8 hectares, e é sede do projeto “Poço de Carbono Peugeot/ONF”, em que ocorreu o reflorestamento de aproximadamente 2.000 hectares anteriormente desmatados (da compra da área pela empresa) de Floresta Amazônica, com apoio financeiro da empresa *Peugeot* à estatal francesa ONF (*Office National des Forêts*). O intuito foi implementar o conceito de poço de carbono, cujas áreas de reflorestamento absorvessem carbono da atmosfera e causassem um impacto positivo frente ao cenário de mudança do clima.

O clima da região é definido como equatorial, quente e úmido, com um a três meses de seca anual. A vegetação da região é caracterizada como floresta ombrófila aberta e densa (VELOSO *et al.*, 1991).

A Área de Manejo Florestal ocupa na fazenda aproximadamente 5.300 hectares, havendo a UPA 2, 1.018 hectares. Os dados trabalhados são referentes a exploração, iniciada em

2021, de 43% do volume planejado para a UPA.

4.2.2 Cálculo do estoque de carbono nas árvores exploradas

Para realizar o cálculo de estoque de carbono da madeira transportada deve-se calcular a massa seca contida, equivalente a biomassa seca. Esse valor foi encontrado através de substituição na equação da densidade básica da madeira (Equação 1). Entretanto, para isso foi pesquisado em artigos e base de dados científicas a densidade básica e teor máximo de umidade para cada espécie madeireira em questão (Tabela 1). O último parâmetro é necessário para o cálculo da massa úmida da madeira, equivalente a como é transportada. O site (<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>) do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (2021) serviu como base, assim como o do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2021).

Tabela 1. Espécies exploradas na Unidade de Produção Anual 2 e suas características pesquisadas em bases de dados científicas para cálculo de estoque de carbono

Família	Espécie (nome científico)	Espécie (nome vernacular)	Densidad e Básica (kg/m ³)	Umidade máxima da madeira (%)
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz Pav.) Radlk.	Abiurana	0,830	75,60
Leguminosae	<i>Vatairea sericea</i> (Ducke) Ducke	Angelim-amargoso	0,730	64,20
Leguminosae	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Angelim-pedra	0,600	89,55
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Caixeta	0,370	199,00
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Cambará	0,640	89,02
Lauraceae	<i>Ocotea indecora</i> (Schott) Mez	Canela	0,480	139,00
Lauraceae	<i>Ocotea fragrantíssima</i> Ducke	Canelão	0,480	139,00
Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	Cedrinho	0,480	149,04
Meliaceae	<i>Guarea silvatica</i> C. DC	Cedro-marinheiro	0,612	59,87

Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro-rosa	0,390	44,05
Leguminosae	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumaru-ferro	0,870	47,20
Leguminosae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth	Fava-orelha-de-macaco	0,990	22,22
Leguminosae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Faveira-ferro	0,830	16,00
Leguminosae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Garapeira	0,750	61,50
Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl	Garrote	0,700	17,47
Sapotaceae	<i>Planchonella pachycarpa</i> Pires	Goiabão	0,730	22,50
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Guarita	0,790	51,10
Bignoniaceae	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) Nichols.	Ipê-amarelo	0,870	39,90
Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	Itaúba	0,900	45,60
Leguminosae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	0,760	50,02
Boraginaceae	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Louro-freijó	0,480	24,99
Burseraceae	<i>Protium altsonii</i> Sandwith	Mescla aroeira	0,520	80,86
Combretaceae	<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	Mirindiba	0,720	69,00
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Oiticica	0,560	65,27
Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Pequiá	0,630	53,99
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Peroba Cupiúba	0,710	81,90
Leguminosae	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Sucupira-amarela	0,740	57,60

Leguminosae	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Sucupira- preta	0,740	57,60
Fabaceae	<i>Martiodendron elatum</i> var. <i>elatum</i> (Ducke) Gleason	Tamarindo	0,917	46,49
Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Tauari	0,650	68,73
Fabaceae	<i>Sclerolobium paniculatum</i> var. <i>paniculatum</i> Vogel	Taxi	0,520	91,42

Os valores apresentados na Tabela 1, juntamente com os valores de volume obtidos por cubagem das toras em campo foram utilizados para obtenção das massas secas, a 0% de umidade, através da substituição na Equação 1, como proposto por Smith (1954):

$$D_b = \frac{M_{seca}}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

D_b : densidade básica média por espécie explorada, em t/m³;

M_{seca} : massa seca encontrada para cada tora, em tonelada;

V : é o volume da madeira úmida, obtido após mensuração em campo, e aplicação das medidas na equação de Smalian¹, em m³.

¹ $V_j = [\sum_{i=0,1}^n \frac{g_{ij} + g_{i+1j}}{2} * L] + v_p$, em que: V = volume da j-ésima árvore (m³); g_{ij} = área seccional na i-ésima posição da j-ésima árvore (m²); $g_{(i+1)j}$ = área seccional na (i+1)-ésima posição da j-ésima árvore (m²); L = comprimento da seção (m); e v_p (volume da ponta) = $(g_n/3) * l_p$. Sendo que “i” varia de 0,1 que é a altura do toco à altura total da árvore.

Tendo os teores máximos de umidade descritos na Tabela 1, obteve-se a massa úmida (Equação 2), pela relação entre o seu peso com água, e seu peso em estado completamente seco. A madeira nativa é transportada, geralmente, num espaço de tempo relativamente curto após seu corte. Não permanecendo por longos períodos nas esplanadas a perder umidade, esse foi o valor utilizado como o de transporte da madeira.

$$TU = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{úmida}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

TU : teor de umidade da madeira, em números decimais;

$M_{úmida}$: massa da madeira úmida, em tonelada;

M_{seca} : massa da madeira seca, em tonelada.

Com a finalidade da estimativa do carbono contido na biomassa foi necessário excluir o componente água H_2O e demais componentes químicos. Assim, encontrando o quanto de C tem-se nas toras transportadas, considerando o fator umidade. Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2006), a proporção de carbono na árvore é 49% do peso de sua biomassa (Equação 3), e 40% do vegetal é umidade (HIGUCHI e CARVALHO, 1994). O restante consiste em extrativos e outros compostos.

$$EC = M_{seca} \times 0,49 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

EC = estoque líquido de carbono, em tonelada.

Para a conversão entre carbono e dióxido de carbono (CO_2), houve a multiplicação do estoque líquido encontrado pela fração 44/12 (peso molecular da molécula de carbono é 12, e dióxido de carbono é 44), como mostra a Equação 4.

$$E_{CO_2} = EC \times (44/12) \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

EC : estoque líquido de carbono, em tonelada;

E_{CO_2} : estoque líquido de dióxido de carbono, em tonelada.

Assim, pelo somatório dos estoques líquidos de dióxido de carbono das toras carregadas encontrou-se o quanto tinha de CO₂ estocado em toda a madeira carregada da UPA 12 em 2021, antes de seu processamento na serraria.

A serraria, localizada a 42,8 km da área de manejo utilizou a madeira em questão para fabricação de portas, uma das atividades realizadas em seu espaço. Tal atividade possui bom aproveitamento da tora beneficiada, por utilizar peças menores junto com maiores, para encaixes, assim como batentes. O coeficiente de rendimento volumétrico (CVR) médio considerado para fins de cálculo dessa pesquisa, após contato com a serraria, foi de 55%. Essa proporção foi necessária para estimar o volume total de madeira serrada, valor multiplicado pela densidade média das madeiras verdes (Equação 5). Logo, resultando na massa de madeira serrada, valor essencial no cálculo da emissão pelo transporte.

$$D_{Vmédia} = \frac{MU}{V} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

$D_{Vmédia}$: densidade média da madeira verde, em t/m³.

4.2.3 Cálculo de emissão pelo transporte

Esse estudo se concentrou em quantificar a emissão pelo transporte florestal de madeira nativa somente pelos caminhões que a transportaram até o último destino consumidor que se tem informação.

As Composições Veiculares de Carga – CVCs - e veículos articulados utilizados para escoamento da madeira entre AMF e serraria foram biminhão (também chamado de caminhão “truck” com julieta) e cavalo mecânico 6x4 com semi-reboque, com descrições básicas, segundo Machado *et al* (2000) na Figura 3, e representações dos modelos utilizados na Figura 4.

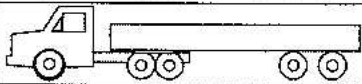
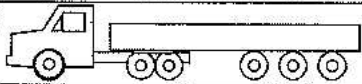
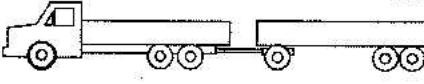
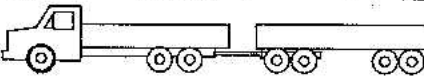
Peso máximo para veículos articulados		
Cavalo-mecânico 6x4		$6t+17t+(10t+10t)$ PBTC = 43t
Distância entre eixos maior que 2,40m		$6t+17t+(10t+10t+10t)$ PBTC = 53t(com AET)
Combinação de Veículos de Carga		
Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	$6t+17t+(10t+17t)$ PBTC = 50t
Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	$6t+17t+(17t+17t)$ PBTC = 57t

Figura 3. Tipos de veículos articulados e Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. Fonte: Machado *et al.* (2000), adaptado pela autora.



Figura 4. Composições Veiculares de Carga (CVCs) usadas. A) Cavalo Mecânico com semi-reboque; B) Biminhão; C) Biminhão.

A exclusividade do frete pela natureza da carga define uma particularidade do transporte florestal, cujos caminhões viajam carregados unicamente em um sentido (SEIXAS, 2001). Portanto, em razão da ida vazia, a qual o veículo realiza para buscar a madeira na AMF, a distância é multiplicada por dois no cálculo de emissão do transporte rodoviário.

Os trechos de transportes foram denominados em ordem crescente, ordinalmente. As distâncias entre origem e destino, e proporção do volume o qual procedeu da origem foram especificados na Figura 5. No trecho entre AMF a serraria, nominado como transporte primário, o volume inteiro em toras foi carregado, pela distância representada. Na rota nominada como transporte secundário a madeira serrada é destinada para mercados consumidores das regiões Sudeste, Centro Oeste e Sul do país, como informado pelo beneficiador dessa madeira. Entretanto, a distribuição do volume a esses mercados é somente 55% do volume em toras que chegou à serraria.

O transporte secundário teve distâncias extraídas do site Rotas Brasil (2021), o qual é dada a distância em rotas realizadas de caminhão, com a possibilidade de selecionar o número de eixos. No cálculo de emissão dessa etapa as distâncias não foram multiplicadas por dois, como no transporte primário, decorrente do carregamento de outros produtos no trecho de ida dos caminhões, por exemplo: calcário, soja, adubo, sal, como informado pela serraria. Os veículos dificilmente viajam vazios.

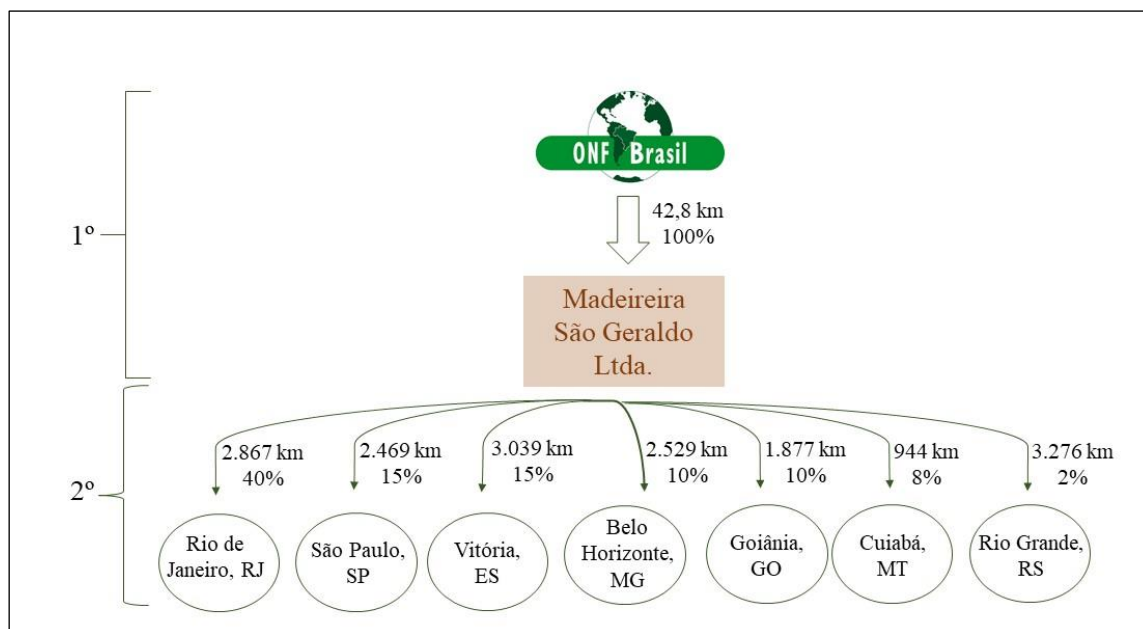


Figura 5. Distâncias entre origens e destinos e percentagem dos volumes carregados a cada um dos destinos nos transportes primário e secundário

O cálculo de emissões entre origens e destinos emprega as distâncias (D), quantidade de carga (Q_{jk}), e o fator de emissão correspondente ao modal em questão, como abordado por Vettorazzi *et al.* (2017), conforme Equação 6 utilizada. Os fatores de emissão caracterizam parte da justificativa para esse trabalho, e foi utilizado o valor de 0,11917 de modal rodoviário, descrito por Leal Junior *et al.* (2015), para veículos a diesel, em kg

de CO₂ por tonelada transportada por quilômetro percorrido (kg/t.km). Para o modal hidroviário e ferroviário, caso houvesse, os fatores seriam 0,018 kg/t.km, 0,0346 kg/t.km, respectivamente.

$$E_{jk} = \sum (Fe_i \times D \times Q_{jk}) \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

E_{jk} : emissão total de CO₂ por município de origem j e por município de destino k em kg;

Fe_i : fator de emissão de CO₂ do modal de transporte i , em kg/t.km;

D : distância percorrida, em km;

Q_{jk} : quantidade de madeira transportada por local de origem j e local de destino k , em toneladas.

4.2.4 Balanço entre CO₂ estocado e emitido pelo transporte

Sendo assim, o balanço foi calculado através da diferença do dióxido de carbono estocado nas toras de madeira transportadas e emissões totais pelos transportes primário e secundário (Figura 6).

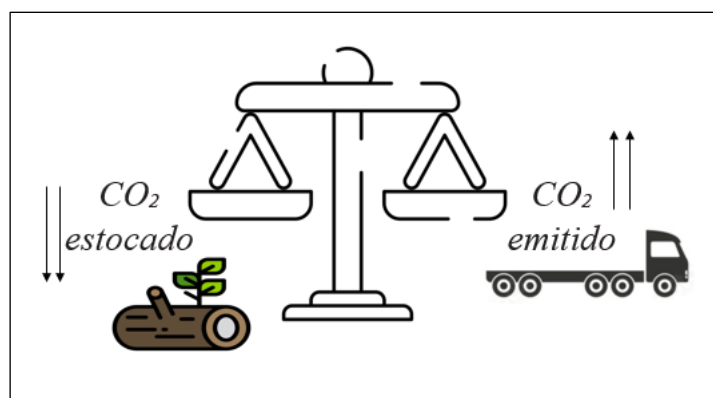


Figura 6. Balanço da emissão de dióxido de carbono pelo transporte da madeira.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Cálculo da biomassa e dióxido de carbono fixado

O estoque de dióxido de carbono no volume especificado foi 14.304,57 t de CO₂, previamente fixados quando ainda em forma de árvores vivas na floresta.

Para uma análise espacial, foram 14,05 t CO₂/ha incorporados pelas árvores, e 7,82 t de biomassa seca/ha transportada da floresta. Entretanto que serão novamente fixados pelas árvores através do processo de regeneração natural após o manejo. A área permanece em pousio durante o período mínimo de 25 anos, com medidas de proteção que mantenham

a integridade da área de manejo, como estabelecido pelo Decreto Estadual Nº 2.152 de 12 de fevereiro de 2014 (MATO GROSSO, 2014). Putz *et al* (2008) afirmam a importância da exploração de impacto reduzido (EIR) nos trópicos como estratégia de ótimo custo-benefício para reduções globais de emissões de CO₂, quando o manejo é rigidamente realizado sob as normas de EIR.

De acordo com o censo realizado nessa UPA no ano anterior a sua exploração havia 107,22 t biomassa seca/ha, considerando um critério de inclusão de 30 cm de diâmetro para medição dos indivíduos. As quantidades de carbono e dióxido de carbono fixados ao longo dos anos pelos indivíduos mensurados foi 18,35 t C/ha e 67,29 t CO₂/ha CO₂. Com esses valores tem-se que 7% da biomassa seca, 21% do carbono e dióxido de carbono foram retirados da floresta e podem ter permanecido como estoque na madeira.

Estudos conduzidos em diferentes regiões da Amazônia brasileira por Nogueira *et. al* (2008) estimaram o valor médio de 253,8 t biomassa seca/ha, para um critério de inclusão de 10 cm de diâmetro a altura do peito, na Amazônia mato grossense. Logo, usando esse como base, a parcela retirada equivale a 3,08% da biomassa por hectare para o contexto florestal regional.

4.3.2 Cálculo da emissão de gases pelo transporte rodoviário

Dentre os 263 percursos analisados entre Área de Manejo Florestal e serraria foram carregados 11.412,9 m³ de madeira em tora, o equivalente a 12.536,7 toneladas. A base para o peso carregado foi a densidade básica por espécie. Como resultado dessa conjunção foram emitidos 127,89 t CO₂ (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da emissão pelo transporte primário

Origem	Destino	Distância (km)	Emissão (ida e volta) t CO ₂
Fazenda São Nicolau, Cotriguaçu / MT	Madeira São Geraldo, Cotriguaçu / MT	42,4	127,89

O volume serrado gerado, 55% do volume em toras, é decorrente de ocós, mesmo que pequenos, partes consideradas podres na madeira, tortuosidade, afunilamento e variação na região do brancal da tora. A maior parte da tora aproveitada pelas serrarias é o cerne, região central da tora, de cor diferenciada, diferentemente do brancal, também conhecido

como alburno, que praticamente não é utilizado, e vira resíduo. O cerne é considerado mais resistente ao ataque de agentes xilófagos e de maior durabilidade. Dependendo da espécie, cuja diferenciação entre cerne e alburno é sutil, o aproveitamento é maior, com CRV maior, gerando menos resíduos.

Os resultados das emissões de dióxido de carbono pelos caminhões que transportaram a madeira já serrada até seus sete mercados consumidores nas cidades especificadas seguem na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das emissões no transporte secundário

Destinos	Distâncias (km)	Proporção do Volume serrado %	Emissão (t CO ₂)
Rio de Janeiro, RJ	2.867,8	40%	935,33
São Paulo, SP	2.469,9	15%	302,08
Vitória, ES	3.039,3	15%	371,72
Belo Horizonte, MG	2.529,5	10%	206,25
Goiânia, GO	1.877,3	10%	153,07
Cuiabá, MT	944,2	8%	61,59
Rio Grande, RS	3.276,0	2%	53,42
TOTAL	17.004,0	100%	2.083,46

É notório que as distâncias percorridas por rodovias para distribuição desse bem de consumo é consideravelmente alta. Somente no transporte secundário foram 17.004 quilômetros cobertos, como mostrado na Tabela 3. Assim ocorre com a distribuição de diversos outros bens e serviços, sendo o modal rodoviário o principal meio de escoamento das cargas no Brasil. Ocorre a movimentação de mais de 60% de cargas no país (CNT, 2020) através da malha rodoviária. Por essas circunstâncias citadas esse é o segundo menos eficiente quanto a emissão de poluentes, ficando atrás somente do modal aéreo (VETTORAZZI *et al.*, 2017).

Ademais, a infraestrutura para o transporte é precária. Segundo Pereira *et al.* (2010), um terço da produção florestal é escoada por estradas de barro quase intransponíveis. Como transcorre na situação desse trabalho. Além de condições precárias, depreciação e idade avançada dos próprios veículos, sucedendo em maiores emissões do que se tivessem adequadas.

4.3.3 Balanço final entre o fixado e o emitido.

Com isso, tem-se como resultado do balanço de emissão que 15,46% do estoque líquido do CO₂ presente na madeira transportada foi lançado a atmosfera através dos caminhões que fazem o escoamento da matéria prima desde a floresta até seu mercado consumidor. Esses resultados fornecem evidências de uma neutralidade de emissões de materiais obtidos de florestas naturais, para o cenário estudado.

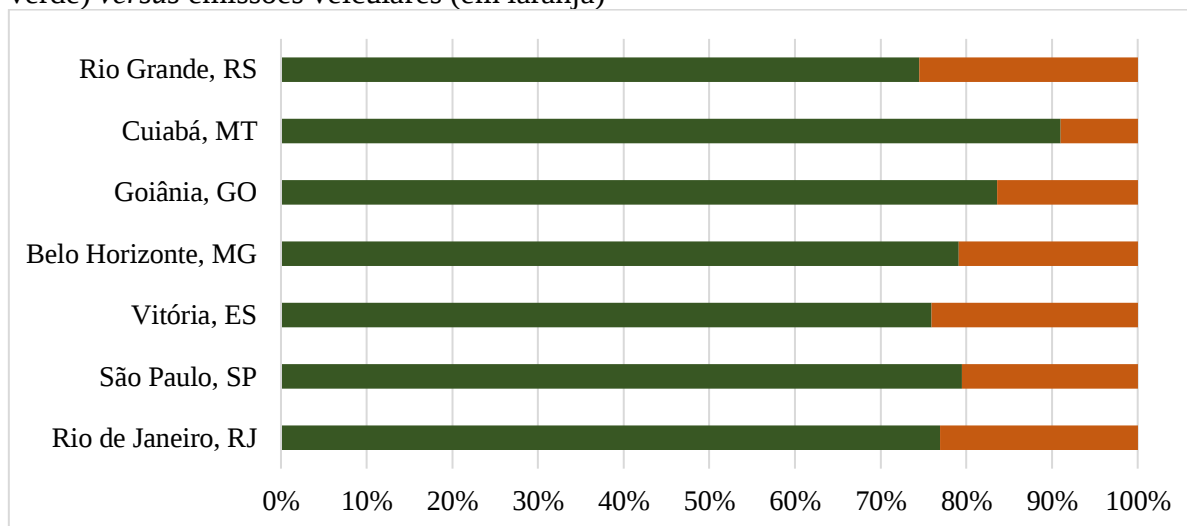
As emissões veiculares são diretamente proporcionais à distância percorrida. Quando se analisa, para cada destino, a porcentagem de emissão no percurso em relação ao dióxido de carbono fixado na madeira tem-se que as cidades mais distantes da origem foram com maiores valores. O estoque líquido de carbono resultante é menor nessas situações, como demonstrado na Tabela 4 e no Gráfico 1. As cidades de Rio Grande (RS) e Vitória (ES) são as mais distantes da origem, Cotriguaçu (MT). As mais próximas, Goiânia (GO) e Cuiabá (MT), apresentaram ainda menor “consumo” do dióxido de carbono fixado previamente.

Tabela 4. Balanço de CO₂ de acordo com o destino.

Destinos	Valor CO ₂ fixado na madeira transportada (t CO ₂)	Valor CO ₂ emitido pelo transporte rodoviário (t CO ₂)	Porcentagem do CO ₂ fixado que foi emitido (%)
Rio de Janeiro, RJ	3.122,75	935,33	29,95%
São Paulo, SP	1.171,03	302,08	25,80%
Vitória, ES	1.171,03	371,72	31,74%
Belo Horizonte, MG	780,69	206,25	26,42%
Goiânia, GO	780,69	153,07	19,61%
Cuiabá, MT	624,55	61,59	9,86%
Rio Grande, RS	156,14	53,42	34,22%
TOTAL	7.806,87	2.083,46	26,68%

A necessidade de percorrer longas distâncias para que a produção seja entregue é uma característica intrínseca do transporte de cargas no Brasil, majoritariamente rodoviário. O consumo de energia e emissão de CO₂ é elevado, quando comparado a outros modais, como diversos autores previamente abordaram (VETTORAZZI *et al*, 2017)

Gráfico 4. Estoque de CO₂ em madeira destinada às diferentes cidades brasileiras (em verde) *versus* emissões veiculares (em laranja)



O produto final foi majoritariamente portas. Na madeireira funciona uma fábrica de portas, tendo essa atividade grande peso no volume de sua produção geral. Entretanto, também são vendidos batentes, pranchas, caibros, *decks*, entre outras formas de madeira serrada. Esses itens chamados de reservas antropogênicas de carbono, conforme Alice-Guier et. al (2019) descrevem, desempenham um papel importante em prolongar as emissões de carbono para a atmosfera.

Estudos prévios mostram que o uso de madeira para construção, no geral, resulta em menos uso de energia, e consequentemente em menor emissão de gases poluentes de efeito estufa do que o uso de concreto (KOCH, 1992; BUCHANAN e HONEY, 1994; GUSTAVSSON e SATHRE, 2005). A extração de matéria prima para obtenção do produto final promove retirada de vegetação nativa, queima de combustíveis fósseis em seu processamento além do transporte, e atividades industriais. Os dados do estudo de Gustavsson e Sathre (2005) compreenderam um cenário mais abrangente do que o presente estudo, incluindo extração, transporte e processamento de materiais.

Outros fatores de influência no balanço de energia e CO₂ são descritos como “inconstâncias” por Gustavsson e Sathre (2005), de forma que as decisões humanas são decisórias assim como os métodos de manejo usados.

Há de se considerar a dificuldade de mensurar através dos dados utilizados, o quanto do estoque foi “consumido” da proporção a qual virou resíduo na serraria. Isso envolve alocar usos para os resíduos que sejam reservatórios de carbono igual, ou que não haja a queima desses e de combustíveis fósseis. Parte da serragem resultante é utilizada para gerar energia aos maquinários na própria serraria, de acordo com as informações

fornecidas pela mesma. Um aspecto positivo, decorrente da diminuição da utilização de combustíveis fósseis para o funcionamento das máquinas.

Parte da serragem resultante do processamento é cedida a quem desejar o uso para fins diversos, com a condição do recolhimento pelo interessado. Há informações, sem quantidades especificadas, de que é utilizada como cobertura e substrato em hortas e viveiros, da região, assim como na própria Fazenda São Nicolau realiza. Contudo, alguma quantidade ainda permanece no pátio da serraria, não havendo fins específicos para seu uso.

4.4 Conclusões

Para o cálculo das emissões nota-se que alguns parâmetros aumentam ou diminuem esse valor: distância, peso da carga e fator de emissão do modal de transporte. Indiretamente, a densidade pesquisada para as espécies também exerce influência, visto que a massa transportada foi calculada através desse parâmetro.

Como visto, os caminhões de escoamento entre a serraria e as cidades brasileiras especificadas percorrem longas distâncias até a entrega da produção que se tem informação. Contabilizando as 263 viagens entre serraria e AMF, e serraria até as 7 cidades simuladas foram 39.516,8 km rodados. O equivalente dessa emissão ao quanto estava estocado de CO₂ nas toras transportadas foi 15,46%.

Logo, a hipótese H0 descrita na metodologia desse trabalho é validada. O sequestro de dióxido de carbono previamente fixado pelas árvores exploradas e armazenado na madeira serrada vendida é maior do que a emissão total pelo transporte rodoviário entre AMF e mercados consumidores da região Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

Referências

ALICE-GUIER, F. E., MOHREN, F., ZUIDEMA, P. The life cycle carbon balance of selective logging in tropical forests of Costa Rica. **Journal of Industrial Ecology**, v. 24, p. 534–547. 2020

BUCHANAN A. H., HONEY B.G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**. 20: 205–17. 1994

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Transporte em números.** 2019. 2020. Disponível em: [≤https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/39b6d11e-7996-4c2b-8894-6cf4e927f1cc.pdf>](https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/39b6d11e-7996-4c2b-8894-6cf4e927f1cc.pdf). Acesso em 09 de fevereiro de 2022

CONWAY, T. J., TANS, P. P. Trends in atmospheric carbon dioxide. Retrieved from Disponível em <[https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends.](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)> . 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2002. Health assessment document for diesel engine exhaust. Disponível em <http://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=36319>. Acesso em 15 de dez. 2021

GLOOR, M., BARICHIVICH, J., ZIV, G., BRIENEN, R., SCHÖNGART, J., PEYLIN, P., ... BAKER, J. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1384–1399. 2015

GUSTAVSSON, L.; ERIKSSON, L.; SATHRE, R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. **Building and Environment**, v. 41, p. 940-951, 2011.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR.; J.A. Fitomassa, conteúdo e carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂— Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre Madeiras. São Paulo, 2021. Disponível em <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/>. Acesso em 19 de out. de 2021.

INTERGOVERNAMENTAL Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Suíça: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Volume 2: Energy.

KOCH P. Wood versus non wood materials in US residential construction: some energy-related global implications. **Forest Products Journal**, v. 42, n 5, p. 31–42. 1992

LEAL JUNIOR, I. C., VALVA, D. C., GUIMARÃES, V. de A., TEODORO, P.. Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO₂. **UNIABEU**, Belford Roxo, v. 8, n. 18, p. 49-64, jan./abr. 2015.

LIJEWSKI, P., MERKISZ, J., FUC, P., ZIOLKOWSKI, A., RYMANIAK, L., WŁADYSŁAW K., Fuel consumption and exhaust emissions in the process of mechanized timber extraction and transport. **Eur J Forest Res** v.136, p. 153–160. 2017

LIMA, M. P., Panorama do transporte rodoviário de madeira bruta e em toras na região do Arco de Desflorestamento na Amazônia. 2014. 279 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2014.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H.B. Elementos básicos do transporte florestal rodoviário. Viçosa: **Editora UFV**, 2000. 167 p.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., OYAMA, M. D., de OLIVEIRA, G. S., de OLIVEIRA, R., ... FOSTER BROWN, I. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495–516. 2008

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., ALVES, L. M., SOARES, W. R., RODRIGUEZ, D. A.. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, L12703. 2011

MATO GROSSO, E. Decreto nº 2.152, de 12 de fevereiro de 2014. Regulamenta a Lei Complementar nº 233, de 21 de dezembro de 2005 no que diz respeito aos procedimentos de elaboração, análise e acompanhamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentável Madeireiro no Estado de Mato Grosso. Cuiabá, MT: Governo de Mato Grosso 2014.

NOGUEIRA, E.M., FEARNSIDE, P.M., NELSON, B.W., BARBOSA, R.I., KEIZER, E.W.H., Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations

and adjustments volume inventories. **Forest Ecology and Management**. v. 256, p. 1853-1867. 2008

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2019. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>.

PEREIRA, D., SANTOS, D., VEDOVETO, M., GUIMARÃES, J., VERÍSSIMO, A. 2010. Fatos Florestais da Amazônia 2010. p. 124. Belém: **Imazon**.

PUTZ, F.E., ZUIDEMA, P.A., PINARD, M.A., BOOT, R.G.A., SAYER, J.A., SHEILD, PLINIO S., ELIAS, M., VANCLAY, J. K. Improved tropical forest management for carbon retention. **PLoS Biology**. 2008. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosbiology/article/file?id=10.1371/journal.pbio.0060166&type=printable>>. Acesso em 10 Set 2020

ROTAS BRASIL. 2021. Disponível em <<https://rotasbrasil.com.br/>>. Acesso em 19 de out. de 2021.

SANQUETTA, C.; BASTOS, A.; SANQUETTA, M.; CORTE, A. P. D.; QUEIROZ, A. Carbon Stock and Removal of CO₂ in Young Stands of Forest Restoration in Rondônia. **Floresta**. v. 50, n. 1, p. 991 – 1000. 2020

SEIXAS, F. Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira. In: 5o. Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2001, Porto Seguro. 5o. Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, 2001. v. 1. p. 1-27.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Laboratório de Produtos Florestais – LPF**. Brasília, 2021. Disponível em <<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>>. Acesso em 20 de out de 2021

SMITH, D. M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of

small wood samples.1954. **Forest Products Laboratory - United States Forest Service Department of Agriculture.** Wisconsin, United States.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. 2008. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf>. Acesso em 10 fev 2022.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. R., LIMA, J. C. A., 1991 Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 123 pp.

VETTORAZZI, A. C.; JOAO, A. M.; ROCHA, F. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. Emissão de CO₂ na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo Arco Norte. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 6, p. 225-245, 2017.

WRI Brasil. COP 26: proteção de florestas vira prioridade global. Brasil precisará transformar promessas em ações concretas. 2021. Disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/blog/posicionamento-wribrasil-cop26-florestas-metas-climaticas-ndc?gclid=Cj0KCQiA3rKQBhCNARIsACUEW_aaoOznegniFLNA1857dDeIBcV00q6SsvcOgwTTqGtcZnLzuBgybMaAiC2EALw_wcB>. Acesso em 10 fev 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de um número reduzido de trabalhos em relação a GEE nas operações em florestas nativas, e até mesmo em florestas plantadas no Brasil, pode-se concluir nesse trabalho que tanto na proporção de distância percorrida, quanto na emissão de gases poluentes, representados majoritariamente em trabalhos científicos pelo CO₂, o transporte florestal abrange longas distâncias tanto nacionalmente quanto internacionalmente, para entrega de produtos de madeira serrada. Há o consumo energético de fontes fósseis e, portanto, emissão de dióxido de carbono.

No artigo I, o modal rodoviário representou 63,20% do total de toneladas de CO₂ emitidos somente em 14,64% do percurso total, sendo mais poluente do que o hidroviário e o marítimo. No artigo II, cujos destinos foram somente mercado interno, o peso da carga foi um fator determinante, com 2.211,35 tCO₂ emitidos em 39.516,8 km de deslocamentos, comparados aos 4.665,25 tCO₂ em 7.086,1 km como análise do artigo I.

Além disso, foi observada pouca diferença entre as relações da emissão de CO₂ ao estoque total nas toras transportadas, com um cenário de entrega de madeira para mercado estrangeiro, com maior distância de transporte, a outro cenário de entrega somente para cidades brasileiras. As proporções foram 19,80% e 15,46%, respectivamente. Sendo no primeiro cenário, somente a distância marítima, referente a 82,80% do trajeto inteiro.

Conclui-se que para os dois cenários analisados, o transporte, no geral, não reduziu todo o estoque líquido de carbono presente na madeira explorada e modal rodoviário é consideravelmente mais poluente do que o escoamento por rio e mar.

A quantificação do CO₂ gerado é relevante para a estimativa de estoque líquido de carbono na madeira, avaliando seu potencial de estocar carbono na construção civil, assim como para outros fins de utilização dos produtos, de longa vida útil.

Conhecendo os cenários, podem ser avaliadas estratégias logísticas para mitigar os tais impactos dos processos produtivos. Assim é justificável a execução de trabalhos relacionados a redução de emissões exaustivas de motores, incluindo os usados no meio florestal. Para a extração de madeira é comum o uso de equipamentos e veículos que necessitam da queima de combustíveis fósseis. Além de que a eficiência das operações florestais é firmemente relacionada ao consumo de energia, como descrito por Lijewski *et al* (2017).

É interessante que sejam analisadas as emissões também para as outras etapas da cadeia produtiva, como pelos equipamentos utilizados na exploração madeireira, e na serraria, deslocamento de funcionários dentro e fora do trabalho, e outras formas de redução do estoque

líquido de carbono. A exploração florestal utiliza diversas máquinas e etapas cuja queima de combustíveis fósseis é necessária para seu funcionamento. São essas a construção de estradas, corte, arraste, extração, além do transporte. Abrangendo todas essas operações seria obtido um balanço real da cadeia inteira.

Observando a quantidade de madeira transportada no artigo I e no artigo II, a emissão de CO₂ no segundo caso, pela entrega somente através do modal rodoviário, foi maior. Mesmo com uma distância menor percorrida.

Com isso é importante que as empresas, de modo geral, e não somente as analisadas nesse estudo, façam a reflexão de formas de redução da emissão dos gases de efeito estufa nos processos produtivos. É necessário repensar a matriz de transporte brasileira, mesclando e investindo mais nos modos de transporte, de forma a unir os vieses de economia de combustíveis, diminuição de impactos ambientais e melhoria na logística de entrega da produção.