

Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Agrárias
Campus Regional Montes Claros

TRABALHO DE CONCLUSÃO
DE CURSO
ENGENHARIA FLORESTAL

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO CUSTO DO FRETE
DA MADEIRA**

Thainar Rodrigues da Silva

Montes Claros – MG
2022

Thainar Rodrigues da Silva

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO CUSTO DO FRETE DA
MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias
da Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito parcial, para a obtenção de
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Stanley Schettino

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias – UFMG
2022

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a
minha família e ao meu orientador.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida e por todas as conquistas. Aos meus pais, que tanto lutaram por mim, Idarlene e Valdeir, ao meu irmão mais novo Marcos Vinicius, minhas amadas vovós Neuza e Domingas (*in memoriam*), vovô João, meus tios Gelson e Jardel, minha tia/madrinha Von que me incentivaram e ajudaram a vida toda.

Agradeço todos os meus colegas da faculdade por tudo, todos vocês foram importantes em minha jornada, um agradecimento especial para Tatiana, Emilly, Lucas, Nathália, Ivan, Deicy, Ana Paula, Fabíola e Jhonathan, obrigada a todos pela amizade, parceria e incentivo. A todos os professores, pelos seus ensinamentos e também aos demais discentes, docentes e funcionários da UFMG/ICA. Agradeço também a FUMP pela ajuda financeira, principalmente nos primeiros anos do curso.

Agradeço meu orientador Stanley, que além de ser um professor incrível, também é um ser humano maravilhoso, que ilumina e incentiva todos ao seu redor. Que Deus te abençoe e proteja sempre. Sou grata do fundo do meu coração por sua ajuda, depois de ter quase desistido umas mil vezes, graças ao seu apoio terminei esta fase da minha vida.

Muito obrigada a todos que me ajudaram nesta caminhada.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.

(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

No Brasil, o setor florestal é de suma importância econômica, ambiental e social. E na cadeia de produção florestal, o transporte é uma atividade fundamental e consiste na movimentação da madeira dos plantios florestais até o consumidor final, para os pátios de vendas ou para as fábricas de processamento, podendo ser responsável por 60% do valor do custo total da logística, justificando assim a realização de pesquisas para a redução dos custos e aumento do rendimento. Este estudo teve como objetivo determinar as variáveis que influenciam o custo do frete da madeira transportada e ajustar equações de regressão linear para estimar o valor do frete da madeira considerando diferentes tipos de caminhões (truck, carreta, bitrem e tritrem). Os dados usados para análises do custo do frete da madeira foram fornecidos por uma empresa florestal especializada em viagens de transporte de madeira, foram analisados 16 caminhões, com 1.387 viagens de ida e volta, considerando os seguintes dados médios por caminhão: volume de madeira (m^3) por viagem; consumo médio de combustível (km/l) e velocidade média da viagem completa, ida e volta (km/h). O custo de transporte da madeira (R\$/ m^3) foi calculado, para quatro tipos diferentes de caminhões. Em todas as situações avaliadas foi considerado o transporte exclusivo. Os resultados apontaram que existe forte correlação positiva entre a distância de transporte e o valor do frete da madeira. O teor de umidade da madeira apresentou correlação positiva com o valor do frete da madeira. Já a capacidade de carga dos caminhões, aqui representada como relação peso x volume, apresentou média correlação negativa com o valor do frete da madeira, indicando que quanto maior o volume transportado menor será o custo de transporte por unidade transportada. E a variável do tamanho da madeira (comprimento das toras ou toretes) não apresentou correlação com o custo da madeira transportada. As equações ajustadas para estimação do valor do frete da madeira apresentaram um alto grau de ajuste da variável dependente, indicando apresentarem boa capacidade para extrapolação dos resultados a partir dessas variáveis.

Palavras-chave: setor florestal; transporte florestal; modal rodoviário; custo do frete;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da produtividade de eucalipto e pinus no Brasil, 2014-2020 (m ³ /ha)	5
Figura 2 - Caminhão Truck utilizado no transporte de madeira	17
Figura 3 - Carreta utilizado no transporte de madeira	17
Figura 4 - Bitrem florestal utilizado no transporte de madeira	17
Figura 5 - Tritrem florestal utilizado no transporte de madeira	17
Figura 6 - Representação do comportamento dos valores observados e estimados de frete da madeira com a utilização das equações ajustadas neste estudo	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações dos caminhões utilizados para avaliação dos custos de transporte de madeira	18
Tabela 2 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo e o custo de frete da madeira	21
Tabela 3 - Equações ajustadas para a determinação do preço do frete da madeira	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AET – Autorização Especial de Trânsito

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

CVC – Combinações de Veículos e Cargas

ICA – Instituto de Ciências Agrárias

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Setor florestal brasileiro	3
2.2. Transporte de madeira	5
2.3. Modais de transporte	6
2.4. Transporte rodoviário florestal	8
2.5. Tipos de caminhão utilizados no brasil	9
2.6. Lei da balança	9
2.7. Custo de transporte da madeira	10
2.8. Tamanho do caminhão	11
2.9. Tamanho da madeira	11
2.10. Teor de umidade da madeira	12
2.11. Distância de transporte	13
2.12. Volume a ser transportado	14
2.13. Tipo de estradas	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Caracterização da área de estudo	16
3.2. Caminhões avaliados	17
3.3. Custo de transporte da madeira	19
3.4. Análises estatísticas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor florestal é de suma importância econômica, ambiental e social, pois corresponde a 2,7 % do PIB nacional, importante na geração de renda, impostos e empregos, sendo que apenas no ano de 2021 foram criados mais de 536 mil e 1,5 milhão de postos de empregos diretos e indiretos, respectivamente (RIBASKI, 2018; IBÁ, 2021). Conta com 9,55 milhões de hectares de florestas plantadas que geram produtos de qualidade que abastecem o mercado interno e externo. Além disso, os plantios florestais são importantes também no aspecto ambiental, pois contribuem para a conservação de cerca de 6 milhões de hectares de florestas naturais (MORALES et al., 2012; IBÁ, 2021).

Na cadeia de produção, o transporte é uma atividade fundamental para economia global, que consiste no movimento de cargas de um local para outro. Esta atividade é responsável por aproximadamente 60% do valor do custo total da logística, podendo custar até 10% do custo bruto do produto transportado. No setor florestal, o transporte consiste na movimentação da madeira dos plantios florestais até o consumidor final, para os pátios de vendas ou para as fábricas de processamento. O alto custo do transporte justifica a realização de estudos e planejamentos para a redução dos custos e a otimização do rendimento (MACHADO et al., 2009; BERGER et al., 2003; SEIXAS; WIDMER, 1993; RODRIGUES, 2007).

Existem diversos tipos de modais de transporte, como o ferroviário mais utilizado em países como a Rússia (81%), Canadá (46%), Estados Unidos e Austrália (43%), modal aquaviário ou fluvial ou hidroviário é mais usado nos Estados Unidos (25%), o modal dutoviário e o modal aéreo e, por fim, o modal rodoviário, que é o principal tipo de transporte de madeira usado no Brasil, responsável por 59% da madeira transportada. Tal fato ocorre, pois o país conta com uma extensa malha rodoviária, diversos tipos de veículos disponíveis e podendo transportar grandes volumes de madeira, o que contribui para a redução do preço do frete. Este tipo de sistema de transporte também é responsável por 65% do transporte da carga total do país (MACHADO et al., 2009).

No Brasil, os veículos mais utilizados no transporte florestal rodoviário são classificados segundo a sua capacidade de carga, podendo ser veículos leves (transportam até 10 toneladas), veículos pesados (capacidade de 30 a 40 toneladas) e veículos extrapesados (mais de 40 toneladas), existindo vários tipos de modelos e articulações, como

truck 6x2, carreta de 3 eixos, bitrem e tritrem (MACHADO; LOPES, 2000; SILVA et al., 2007).

Entre os vários fatores que podem influenciar na eficiência do transporte da madeira e o desempenho dos caminhões, ressalta-se a infraestrutura das estradas, metodologia adotada, fatores humanos e os tipos de veículos utilizados. As variáveis que podem afetar o custo do frete da madeira são à distância de transporte, capacidade de cargas dos caminhões, tempo e equipamentos para o processo de carregamento e descarregamento e o tamanho da madeira, expresso no comprimento das toras ou toretes (LEITE, 1992; MACHADO et al., 2000; VALVERDE, 1995).

Portanto, existe a necessidade de planejamento no transporte, de forma a reduzir os custos e aumentar a produtividade, sendo importante entender quais são e como as variáveis podem influenciar no custo do frete da madeira, na eficiência e no rendimento de cada operação da cadeia produtiva.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo determinar as variáveis que influenciam o custo do frete da madeira transportada e ajustar equações de regressão linear para estimar o valor do frete da madeira considerando diferentes tipos de caminhões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Setor florestal brasileiro

O setor florestal pode ser entendido como um conjunto de atividades e operações realizadas pela sociedade que utiliza os recursos florestais, incluindo a flora e fauna. Sendo que na flora, abrange as florestas naturais e os plantios florestais, já na fauna envolve todos os animais, exceto as espécies aquáticas (CARVALHO et al., 2005).

De acordo com ANTONANGELO e BACHA (1998), o desenvolvimento do setor florestal no Brasil tem três fases: a primeira fase corresponde entre os anos de 1500 (do descobrimento do Brasil) até 1965 (ano do início dos incentivos fiscais), já segunda fase foi entre os períodos de 1966 a 1988, onde os incentivos fiscais eram utilizados para o reflorestamento e florestamento e, por fim, a terceira fase, que abrange desde 1989 até a atualidade, período que foi marcado pelo fim dos incentivos fiscais para a implantação e ampliação de projetos florestais e pela abertura do mercado para a aquisição de tecnologias importadas.

O setor florestal começou a se sobressair depois da aprovação da Lei nº 5.106 em 1966, que permitiu que as empresas florestais utilizassem até 50% do valor dos impostos, abatendo da renda total destinada aos tributos estaduais e federais, como forma de incentivar o crescimento do setor no país. O mesmo também foi se desenvolvendo através da chegada de grandes empresas e com a abertura da economia nacional ao mercado internacional. A ampliação da área reflorestada e florestada foi devido aos incentivos fiscais, aos empréstimos de médio ao longo prazo fornecido por bancos a pequenos, médios e grandes produtores rurais e aos próprios recursos das grandes empresas florestais (SOARES; SOUSA; SILVA, 2008; LEÃO, 2000).

Atualmente o setor florestal é de extrema importância no Brasil, seja no cenário econômico, ambiental ou social. Na questão econômica e social, influência na criação de renda, impostos, empregos e produtos de qualidade que abastecem o mercado interno e externo (RIBASKI, 2018). Segundo o relatório anual do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2021), o setor florestal foi responsável por 2,7% do PIB bruto em 2021, que corresponde a 116,6 bilhões de reais, 17,6% maior em relação ao ano anterior e gerou mais de 536 mil e 1,5 milhão de postos de empregos diretos e indiretos, respectivamente.

Nos aspectos ambientais, os plantios florestais contribuem para a conservação da biodiversidade dos ecossistemas, influência na recuperação de áreas degradadas, promove a melhora da fertilidade do solo, ciclagem dos nutrientes e na fixação do carbono (MORALES et al., 2012), além de contribuir para a conservação de florestas naturais, com cerca de 6 milhões de hectares (IBÁ, 2021).

É importante destacar que o Brasil conta com cerca de 530 milhões de hectares de florestas naturais distribuídas em diferentes biomas, o que o posiciona como o segundo país com maior cobertura florestal natural no mundo (PIGATTO; LOPES, 2019), tendo aproximadamente 59% de sua área total coberta por diversos biomas, que representam 12% da área florestal de todo o planeta terra, portanto pode-se afirmar que o Brasil é um país florestal (FAO, 2016).

O setor florestal possui uma área de 9,55 milhões de hectares de plantios de árvores que abastecem a indústria do setor florestal, que vão para os seguintes segmentos: celulose (36%), siderurgia e carvão vegetal (12%), painéis de madeiras e pisos laminados (6%), investidores financeiros (10%), produtos independentes (29%), produtos sólidos de madeira (4%) e outros (3%), de acordo com o relatório do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2021).

Entre as espécies mais cultivadas no Brasil destaca-se as espécies de eucalipto, que representa 78% das áreas plantadas, as espécies de pinus correspondem a 18% das árvores plantadas e outras espécies como acácia, teca, paricá e seringueira respondem por 4% do total das árvores cultivadas. A produtividade média dos plantios de eucalipto e pinus são de 36,8 m³/ha (m³/ hectare) e 30,4 m³/ha ao ano, respectivamente (Figura 1). Os produtos florestais gerados por estes plantios responderam por 4,8% do total de exportações do país em 2021, o que o torna mais uma vez, o país que mais exportou celulose no mundo e o segundo maior produtor, com 21 milhões de toneladas fabricadas, onde 15,6 milhões de toneladas foram para exportação em 2021. O Brasil também é o maior produtor mundial de carvão vegetal, responsável por 12% da produção total. Este setor também é responsável por 0,9% da arrecadação dos tributos municipais, estaduais e federais, que corresponde a 12,1 bilhões de reais (IBÁ, 2021).

Além disso, estão sendo criados e realizados projetos que visam o aumento das florestas plantadas, de novas unidades de produção e a ampliação de fábricas com o investimento de 35,5 bilhões de reais até 2023. E apenas no ano de 2020 foram investidos 12 bilhões de reais, valor 24% maior que no ano de 2019 (IBÁ, 2021).

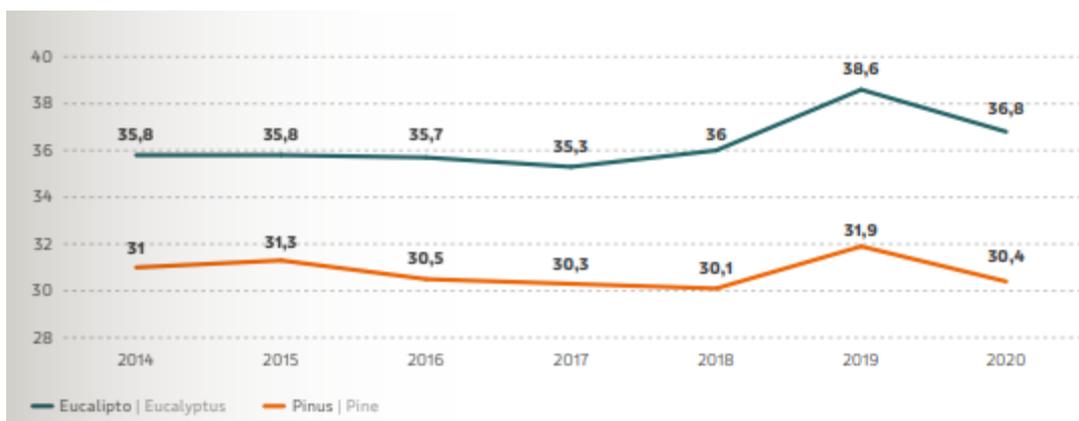


Figura 1. Evolução da produtividade de eucalipto e pinus no Brasil, 2014-2020 (m³/ha).
Fonte: (IBÁ, 2021).

2.2. Transporte de madeira

O transporte consiste no movimento de cargas, de um local para outro. É fundamental para o crescimento e desenvolvimento da economia global, sendo que nos países desenvolvidos, o transporte de cargas é responsável por até 60% do custo total da logística, chegando a ser responsável no custo bruto total do produto transportado de até 10%. Já o transporte de madeira, corresponde à movimentação da madeira do plantio florestal até o consumido final, seja para os pátios de vendas ou para as fábricas de processamento, começa no carregamento da madeira até chegar ao consumido final, incluindo o descarregamento (BERGER et al., 2003; MACHADO et al, 2009; RODRIGUES, 2007).

No Brasil, o transporte de madeira é realizado principalmente pelo modal rodoviário, que corresponde á 59% do total de madeira transportada, e em seguida vem o transporte ferroviário, que é responsável por 24%, transporte aquaviário com 13% e o tipo dutoviário e aeroviário são responsáveis por 4%. Em comparação com outros países florestais onde o transporte ferroviário é mais utilizado, como na Rússia (81%), Canadá (46%), Austrália (43%), Estados Unidos (43%), China (37%), fica demonstrada a importância das rodovias para o transporte no Brasil, que possui como vantagem o fácil deslocamento das mercadorias devido à disponibilidade de uma extensa malha viária, ligação e interligação de vários pontos (destinos das cargas) e levam grande volume de madeira transportada em uma única viagem, afinal quanto maior for à distância percorrida, maior será o custo unitário por volume da madeira (BERGER et al., 2003; SILVA et al., 2007 apud SILVERSIDES, 1976; MACHADO et al., 2009).

Segundo Machado et al (2009), entre as principais variáveis que influenciam o transporte florestal estão os tipos de modais de transporte, a distância percorrida, volume transportado, tempo e equipamentos necessários para o carregamento e descarregamento da madeira, condições das rodovias, tipos de veículos, o valor do frete por unidade e as condições das regiões.

2.3. Modais de transporte

Entre os principais modais de transporte de madeira usados na história, destacam-se o ferroviário, o rodoviário e o fluvial. À medida que a humanidade avançava no desenvolvimento da tecnologia, surgiram mais tipos de sistemas de transporte, como o dutoviário e aeroviário, que apesar de serem inovações importantes, tornaram-se menos utilizados do que outros tipos, principalmente devido a questões econômicas (MACHADO et al., 2009).

O modal ferroviário consiste no transporte através de linhas férreas onde os vagões são unidos as locomotivas dos trens, sendo pouco utilizado no Brasil devido à falta de linhas perto dos plantios florestais. Esta modalidade de transporte é mais utilizada em outros países, como na Rússia (81%) e Canadá (46%), e começou a ser implantada em meados do século XIX. Apesar de seu elevado custo inicial de implantação, destaca-se pela grande capacidade de transporte, podendo carregar um elevado volume de madeira, apresentando vantagens econômicas em relação ao consumo de energia e pelo custo da manutenção dos equipamentos, além de ter menos ocorrências de acidentes. Geralmente é utilizado em médias e grandes distâncias (RODRIGUES, 2007; MACHADO et al., 2009).

Já o modal hidroviário (fluvial ou aquaviário) foi o sistema utilizado no século XIX, principalmente no continente Europeu, podendo ser executado pela flutuação da madeira ou através de navios, barcos ou balsas. Atualmente é mais utilizado para o transporte da madeira proveniente das florestas coníferas na Sibéria e florestas tropicais nas regiões oeste da Amazônia (Brasil) e do continente Africano. O modal fluvial apresenta vantagens por ter mais vida útil, capacidade de transportar grande volume em longas distâncias e ser mais econômico em relação aos outros tipos de transportes na superfície. Entretanto, apresenta desvantagens como área limitada e velocidade baixa (MACHADO et al., 2009; SANTANA, 2008; RODRIGUES, 2007).

O modal rodoviário é o tipo mais usado para o transporte da madeira no Brasil, devido às diversas razões que influenciam a utilização deste sistema, como a história do país

e a extensa malha rodoviária disponível. Pode transportar grandes volumes de madeira em caminhões que possuem grande capacidade de carga, apresenta uma alta flexibilidade na ligação e interligação de pontos (plantios florestais e as unidades consumidoras), a regulamentação facilita a entrada de novas empresas e aumenta a competitividade no mercado interno, o que contribui para a redução do preço do frete. O sistema rodoviário é o principal responsável pelo transporte de cargas do país (MACHADO et al., 2009).

Ainda, cabe citar o modal dutoviário que é realizado através de dutos, onde a madeira tem que estar na forma de cavacos para passar com a água (MACHADO et al., 2009). De acordo com um estudo realizado no Canadá, esse tipo de transporte é mais barato quando o volume é acima de um milhão de toneladas, possui um menor custo independente da distância, em comparação ao transporte rodoviário (KUMAR, 2008). É mais utilizado por grandes empresas de outros ramos, como produtores de petróleo. No setor florestal, é conhecido como cavacoduto. Como exige um alto custo de implantação, não é recomendado para volumes pequenos ou médios de madeira. Por outro lado, para grandes volumes a serem transportados, apresenta custo menor do que outros tipos de transporte na relação tonelada/quilometro útil, afinal este modal não é muito influenciável por certas variáveis como o clima, topografia, condições edáficas da região e corta a necessidade de locais para a estocagem da madeira (MACHADO et al., 2009).

Já o modal aeroviário, apesar de ser bastante flexível em relação às rotas e reduzir custos como na implantação de estradas ou ferrovias, não é muito utilizado no Brasil, uma vez que os custos para aquisições de aviões, helicópteros, teleféricos ou balões são bastante elevados. Todavia, apresenta algumas vantagens, como flexibilidade nas rotas, facilidade de trabalho em locais de difícil acesso e economia do tempo de transporte (MACHADO et al., 2009).

O tipo de transporte deve ser escolhido levando em conta o tipo de modal que melhor atende as necessidades da empresa e se está disponível na região, a distância a ser percorrido, o volume a ser transportado, as rotas disponíveis, tempo e forma de carregamento e descarregamento das cargas, custos de aquisição, implantação e manutenção para o processo escolhido, respeitando a legislação e a regulamentação dos tipos de veículos utilizados e levando em conta os custos totais, incluindo as tarifas e impostos. Buscando sempre a redução dos custos e a otimização do processo produtivo (NOCE et al., 2005; FARIA, 2001; SILVA; PORTO, 2003; LEITE, 1992; MACHADO et al., 2009; ALVES et al., 2013; RODRIGUES, 2007).

2.4. Transporte rodoviário florestal

O transporte rodoviário florestal é feito por caminhões de vários modelos e de capacidade de cargas diferentes. Inicia na retirada da madeira nos talhões dentro dos plantios florestais até as indústrias ou pátios de vendas (destino final). No Brasil é o principal tipo de transporte que representa 65% do transporte de cargas, sendo diretamente responsável por 59% da entrega de madeira com pontos distribuídos em quase todo o território nacional (MACHADO et al., 2009).

Diversos fatores influenciam para que este modal seja o mais usado, uma vez que apresenta vantagens como à flexibilidade de rotas, podendo transportar grandes volumes de cargas, tendo interligação de pontos entre dos pátios até ao destino final da madeira, veículos e equipamentos disponíveis para o carregamento e descarregamento da madeira. Apresenta baixo valor na instalação deste tipo de sistema em comparação com os demais, fácil regulamentação, ofertas de prestações de serviços e de diversos tipos de veículos com diferentes capacidades de cargas. Por ter uma grande malha viária no país e pelo custo de implantação ser considerado baixo no início, o modal rodoviário é o mais utilizado no transporte total de cargas (SILVA et al., 2007; MACHADO et al., 2009).

Segundo Leite (1992), entre as variáveis que influenciam o custo do transporte de madeira, a mais importante é à distância, que por sua vez, é determinada da localização dos plantios florestais até as fábricas ou pátios de vendas. Quanto maior for à distância a ser percorrida pelo caminhão, maior será o custo da madeira transportada (LOPES, 2016 apud SILVERSIDES, 1976). Os custos do transporte pelo modal rodoviário são influenciados pelo preço dos combustíveis, que pode chegar até 35% do custo total (GUIMARÃES, 2014).

Portanto, a necessidade do planejamento no transporte rodoviário florestal torna-se indispensável para sobrevivência das empresas, buscando sempre a diminuição dos custos do processo. Logo é importante considerar algumas questões que influenciam no preço do transporte como os tipos de veículos mais indicados para uma determinada região, disponibilidade da rede viária, capacidade de carga, infraestrutura e tempo de carregamento e descarregamento da madeira, número de turnos para a melhor utilização dos veículos (ressaltando que geralmente caminhões que transportam madeira não levam outros tipos de produtos, portanto no retorno das viagens, não possui carga) e que aumentam a eficiência no uso dos veículos, obtendo maiores ganhos e redução do valor do frete da madeira. (SEIXAS, 1992).

2.5. Tipos de caminhão utilizados no Brasil

Os veículos mais utilizados no transporte florestal rodoviário no Brasil são classificados de acordo com sua capacidade de carga (MACHADO, et al, 2009). Segundo Leite (1992), entre os fatores que podem influenciar a eficiência do transporte da madeira e desempenho dos caminhões, destaca-se a malha rodoviária disponível, tipo de veículo utilizado, condições climáticas e edáficas, metodologia adotada para a realização do trabalho e o fator humano (treinamentos, acidentes e carga horária de trabalho).

Segundo Silva et al., (2007), os veículos podem ser classificados como: veículos leves, que têm como capacidade de carga até 10 toneladas, médios, que transportam entre 10 e 30 toneladas, veículos pesados, que transportam entre 30 a 40 toneladas e veículos extrapesados, que suportam mais de 40 toneladas.

Entre os diversos veículos usados no transporte de madeira, destacam-se o caminhão simples (possui uma única unidade de transporte) podendo ter diversos tipos de tração nas rodas como 4 x 2, 4 x 4, 6 x 2 ou 6 x 4. As carretas, que são veículos articulados, com um cavalo mecânico (onde a tração pode ser de 4 x 2, 6 x 2 ou 6 x 4) e uma única unidade de carga. O Bitrem, que possui um cavalo mecânico (onde a tração pode ser de 6 x 2 ou 6 x 4) e dois semi-reboques. O Tritrem, com um cavalo mecânico (tração 6 x 4) e três semi-reboques; dentre outros. A capacidade de carga desses conjuntos varia desde 7,5 até 59 toneladas e nenhum deles necessita licença especial para trafegar nas rodovias brasileiras por não extrapolar os 30 metros de comprimento (MACHADO et al., 2009).

A escolha do tipo de veículo se deve principalmente a fatores como a distância do trajeto a ser percorrido, volume da carga, tempo necessário para o carregamento e descarregamento da madeira, rotas disponíveis da região, qualidade das estradas, recursos necessários para os custos da aquisição e manutenção e a legislação (MACHADO et al.; 2009; ALVES et al., 2013; FIEDLER, 2012; MALINOVSKI, 2010).

2.6. Lei da balança

A lei da balança determina o limite de peso das cargas que são transportadas pelos veículos nas rodovias nacionais, de acordo com as Resoluções 210/06 e 211/06 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito). Para a regulamentação dos veículos, equipamentos e combinações entre eles, que transportam especificamente cargas indivisíveis tem-se os artigos 21 e 101 da Lei nº 9.503, 23 de setembro de 1997 do Código de Trânsito

Brasileiro (CTB), que contém as normas e tamanhos, junto com o limite da capacidade de carga dos veículos.

A Resolução nº 210, de 13/11/2006, define os limites do peso e dimensões, como largura, altura e comprimento dos veículos para poderem circular nas rodovias. Os limites impostos mudam conforme certas características como o número de eixos de cada tipo de caminhão, se possuem ou não parte articuladas, peso bruto total, tipos e posição do motor.

Por sua vez, a Resolução nº 211, de 13/11/2006, determina que as Combinações de Veículos de Carga - CVC, com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, com peso bruto total acima de 57 t ou com comprimento total acima de 19,80 m, só poderão circular portando Autorização Especial de Trânsito – AET.

Em 3 de janeiro de 2022 passou a entrar em vigor a Lei nº 14.229, que foi sancionada em outubro de 2021, consiste agora na Resolução nº 882 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), que determina que o atual limite de tolerância de excesso peso por eixo dos caminhões e ônibus. O limite de peso aumentou de 10% para 12,5%, que neste caso, se ocorre excesso do peso e se estiver dentro deste novo limite, não ocorrerá à aplicação de penalidades cabíveis.

2.7. Custo de transporte da madeira

O transporte da madeira é considerado uma das atividades de maior custo e pode representar até 66% do custo final da produção, portanto devem-se buscar maneiras de diminuir os custos da madeira transportada (SEIXAS; WIDMER, 1993; BERGER et al., 2003).

Costa et al., (2003) ressaltam que o custo de frete da madeira é influenciado principalmente pela distância, implantação e manutenção das estradas, tempo e custo da carga e descarga, intervalos e do volume de carga a ser transportada, que por sua vez é relacionado com o tipo de veículo e do consumo de combustível. Também consiste no somatório de diversos outros custos, como os custos de aquisição dos veículos, caminhões, equipamentos, máquinas, mão de obra, combustíveis, manutenção, tarifas, impostos, seguros e depreciação, além do custo de processamento do produto final (RODRIGUES, 2007; GUIMARÃES, 2014). Vale ressaltar que os custos variáveis são diretamente relacionados com a produção; por exemplo, se os veículos florestais não são novos, afetam os custos totais por causa dos custos de manutenção e combustível, ou seja, a produção depende da utilização dos veículos (LACOWINZ et al., 2002).

Freitas et al. (2004) ressaltam que a escolha do tipo de transporte a ser utilizado deve considerar os equipamentos e veículos mais adequados e que, como o transporte da madeira tem um alto custo, deve-se buscar sempre a diminuição dos custos de transporte.

Machado et al. (2009) recomenda que para diminuir os custos do frete da madeira transportada, uma alternativa seria que as futuras unidades de produção fiquem localizadas mais perto dos plantios florestais, a fim de reduzir a distância a ser percorrida.

2.8. Tamanho do caminhão

Os veículos utilizados no transporte florestal rodoviário no Brasil são classificados conforme a sua capacidade de carga (MACHADO et al., 2009). Os caminhões podem ser classificados como veículos leves, que podem transportar até 10 toneladas de volume, médios com capacidade de carga entre 10 e 30 toneladas, pesados podem transportar entre 30 a 40 toneladas e veículos extrapesados que suportam cargas com mais de 40 toneladas (SILVA et al., 2007).

A legislação determina o peso máximo por eixo (capacidade de carga por eixo do veículo), carga útil (o peso total da carga), volume útil (volume total), comprimento e dimensões dos veículos (MACHADO et al., 2009).

A madeira possui um valor específico baixo em relação a seu peso por unidade, portanto o custo de transporte é alto e varia diretamente com a distância percorrida (SILVA et al., 2007), ou seja, quanto maior o trajeto percorrido, mais elevado será o custo unitário por volume de madeira transportada (LOPES, 2016 apud SILVERSIDES, 1976). Uma alternativa, para reduzir o custo em distâncias longas é utilizar veículos com maior capacidade de carga (LEITE, 1992).

Machado et al., (2009) recomenda que para reduzir os custos do transporte, que aumente o máximo possível à utilização dos caminhões, mas mantendo a qualidade das operações florestais.

2.9. Tamanho da madeira

São as dimensões da madeira, como o tamanho, comprimento, peso e volume, que determinam os tipos de veículos que serão utilizados para o transporte da madeira (MOREIRA, 1998; MACHADO et al., 2009).

Geralmente, no transporte florestal a madeira é classificada como: toras curtas, que consiste em toretes com comprimentos de até 2,40 metros, sendo transportadas na forma longitudinal ou transversalmente. Madeira de bloco que possui comprimento entre 2,40 a 6,00 metros e são colocadas normalmente na posição longitudinal nos caminhões. E madeira longa (ou madeira de fuste), geralmente com mais de 6,00 metros de comprimento (MACHADO et al., 2009).

A madeira também pode ser transportada serrada, carbonizada (desde que tenha caminhões que atendam às exigências específicas), árvore inteira com galhos, folhas e com a parte radicular da árvore. Além da madeira fragmentada, onde passa por processo mecânico podendo ser na forma picada (cavacos) ou moída (serragem). Os fragmentos de madeira geralmente são transportados por containers. A madeira serrada consiste na madeira processada na serraria (MACHADO et al., 2009). Já a madeira convertida em carvão vegetal é geralmente transportada a granel ou sacos. Também tem a madeira para biomassa, que consiste na fragmentação dos galhos e outras partes das árvores (MOREIRA, 1998).

Segundo o estudo de Machado; Lopes (2000), o tamanho da madeira influencia no custo da colheita, no custo do transporte florestal e na produtividade. Toras de madeira com 5 e 6 metros apresentarem melhor produtividade no transporte, reduziram os custos da madeira transportada em 11,1% e o aproveitamento dos veículos apresentou um aumento de 10%.

Já Valverde (1995) destaca que árvores inteiras e toras mais compridas apresentam menores custos operacionais, pois diminuem os custos de processamento e geram economia de tempo para a execução das atividades.

2.10. Teor de umidade da madeira

O teor de umidade da madeira é a determinação da quantidade de água presente na estrutura da madeira. No início, após o abate da árvore, a madeira que possui um alto teor de umidade, naturalmente começa a perder água, devido às condições ambientais. Na madeira existem três tipos de água: a livre, a água de adesão e a água de desconstituição (JANKOWSKY, 1990; OLIVEIRA, 2015; MORESCHI, 2005).

A maneira mais utilizada para secagem da madeira após o abate e o processamento é colocando as toras empilhadas geralmente perto do local de colheita, nas margens dos talhões ou das estradas (ZANUNCIO et al., 2013). A secagem ao ar livre é de baixo custo no processo, porém exige um período de tempo e em áreas extensas, além de ser influenciado

pela posição das toras na pilha e pelas características anatômicas, como o tamanho do diâmetro da madeira (OLIVEIRA, 2015).

A secagem reduz a quantidade de água presente na madeira, diminuindo o custo de transporte e aumenta o rendimento da produção, aumenta o volume, diminui o peso, reduz o tempo necessário para a realização do processo de carbonização (OLIVEIRA, 2015; PINHEIRO, 2013). O tempo de secagem é de até 150 dias para a produção de carvão, onde se espera um teor de umidade entre 30% a 40 % (CARNEIRO; OLIVEIRA, 2013; OLIVEIRA, 2015).

Importante apontar que o tempo para a secagem da madeira varia das condições ambientais, tamanho das toras, teor de umidade natural e características anatômicas e fisiológicas (FOELKEL, 2016).

2.11. Distância de transporte

A distância é uma das variáveis mais importantes no transporte da madeira, pois afeta diretamente no custo da madeira transportada. Determina o volume a ser transportado e a quantidade de viagens necessárias, pesa para a escolha dos tipos de caminhões (MACHADO et al., 2009).

Leite (1992) afirma que a distância influencia o custo do transporte independentemente do tipo, seja ele ferroviário, hidroviário ou rodoviário. O custo da madeira transportada é determinado principalmente pela distância dos plantios florestais até às fábricas ou pátios de vendas.

O preço unitário da madeira transportada por tonelada é diretamente afetado pela distância que, quanto mais longe, maior será o custo do transporte (MACHADO et al., 2009). O tempo de carregamento e descarregamento também exercem influência no custo de transporte, principalmente em distâncias curtas, pois os veículos precisam realizar mais percursos de ida e volta. Já em longas distâncias são realizadas menos cargas e descargas, economizando tempo (ISARD, 1975).

Os custos do transporte pelo modal rodoviário também são afetados pelo preço dos combustíveis. Afinal, os combustíveis estão relacionados com a distância, uma vez que quanto maior for a distância maior será o desembolso com combustíveis (GUIMARÃES, 2014).

2.12. Volume a ser transportado

O volume a ser transportado é determinado pela capacidade de carga dos veículos florestais. Cada tipo de veículo apresenta especificações diferentes, sendo que para o transporte de madeira devem atender as normas da legislação brasileira quanto à capacidade de carga por eixo, comprimento, largura, peso total e placas e sinalizações para veículos de maiores comprimentos (SEIXAS, 2001; MACHADO et al., 2009).

A madeira possui baixo valor agregado em relação ao seu volume, ou seja, quanto maior for a distância a ser percorrida, maior será o custo da madeira transportada. As variações de volume, peso e forma da madeira e seu baixo preço unitário explicam o alto custo de transporte deste produto, portanto em grandes distâncias devem-se utilizar veículos com grande capacidade de carga para reduzir os custos (SILVA, et al., 2007 apud SILVERSIDES, 1976; LEITE, 1992).

Outro estudo afirma ainda que o comprimento das toras da madeira pode afetar o volume total transportado, onde toras de tamanho maiores têm mais volume, portanto os custos de transportes diminuem (MACHADO; LOPES, 2000).

Seixas (2001) destaca que cada veículo tem sua capacidade de carga determinada pelo o número de eixos e o peso de cada um em sua estrutura, limitado pela legislação vigente. A capacidade de carga em cada eixo é definida pelo peso que cada eixo do veículo pode suportar e o volume útil é a quantidade de carga que os caminhões podem transportar (MACHADO et al., 2009).

2.13. Tipo de estradas

A rede viária é responsável pela locomoção da madeira através das estradas que se interligam (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990) e permitem o acesso aos plantios florestais, o fluxo da madeira do talhão para os pátios (industriais ou de vendas), mão de obra, tráfego de máquinas e equipamentos para o processo da colheita (LEITE, 2002; MACHADO, 1989).

Os tipos de estradas podem ser divididos em estradas primárias, que possui 7 metros de largura, 1,5 metros comprimento nas curvas e até 25 cm de revestimento na superfície, se ligam o consumidor final e a área de produção, geralmente possuem melhor qualidade, pois transita caminhões com cargas pesadas durante o ano todo. Já as estradas secundárias são aquelas de menor qualidade, geralmente localizadas nas áreas de produção e têm ligações

até as estradas primárias. Por fim as estradas terciárias ficam nos locais de produção, usadas em determinadas épocas do ano, portanto apresentam menor qualidade e não são revestidas. Ambas as estradas secundárias e terciárias apresentam 7,0 metros de largura, variando o ângulo dos desvios e curvas, além da qualidade da estrada. Já as trilhas de extração que são abertas nas florestas plantadas, são caminhos utilizados pelas máquinas florestais (MALINOVSKI; PERDONCINI, 1990).

Os tipos de estradas são definidos quanto as suas características como a largura, geometria, posição horizontal e vertical, tipo de superfície e outras características da região. Machado et al. (2009) em sua classificação definem a velocidade, o tempo de cada viagem e o rendimento das operações florestais e a relação da qualidade das estradas aos tipos e idade dos veículos florestais como variáveis de influência no custo do transporte da madeira.

A qualidade das estradas influencia diretamente na escolha do veículo utilizado, uma vez que os caminhões com grande capacidade de carga exigem estradas de alta qualidade, pouco inclinadas e declivosas, além de pavimentadas (FIEDLER, 2012).

Uma solução para regiões que apresentam limitações das operações nas estradas é a combinações de diferentes veículos com diversas capacidades de cargas, pois veículos com maiores capacidades de cargas geralmente apontam menores custos de transporte por unidade do volume da madeira, mas sofrem com restrições das condições das estradas (MALINOVSKI, 2010).

O tipo e qualidade das estradas afetam diretamente nos custos de transporte e no desempenho energético dos veículos florestais, como na instalação e manutenção das estradas, rendimento e a durabilidade dos pneus, duração dos ciclos operacionais (MACHADO, 1989).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

Os dados foram coletados em uma empresa florestal localizada nas regiões do Jequitinhonha e do São Francisco, Estado de Minas Gerais, situadas entre os meridianos de 42°48'00" a 43°43'00" de longitude a Oeste de Greenwich e os paralelos de 16°49'00" a 17°42'00" de latitude a Sul da linha do Equador. A altitude varia entre 600 e 1.100 m.

A região abrange áreas com precipitação média anual que vão de 750 mm até 1.400 mm. Segundo a classificação climática de Köppen, os tipos climáticos predominantes na região são o Aw – tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão, e a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro e março (NASCIMENTO et al., 2011) e Cwb - temperado chuvoso e moderadamente quente, com preponderância de chuvas em verões brandamente quentes (MEIRA JUNIOR et al., 2017).

Na área de estudo, as florestas plantadas são, em sua totalidade, cultivadas por espécies de eucalipto em povoamentos de clones híbridos (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) com produtividade média de 245 m³/ha, em regime de alto fuste com rotação de 7 anos de idade, espaçamento 3 x 3 m e índice médio de sobrevivência de 95%, sempre em relevo plano a suave ondulado. Desta forma, chega-se aos sete anos com 1.055 árvores vivas por hectare e apresentando, individualmente, um volume médio de 0,2322 m³/árvore. Aos 7 anos de idade, a madeira apresenta densidade básica média de 0,650 g/cm³ (ou 0,65 t/m³). A colheita, por sua vez, é realizada através do sistema de árvores inteiras (*full-tree*), sistema em que, de acordo com Malinovski et al. (2014), a árvore é derrubada e levada para a margem da estrada ou pátio intermediário, onde é processada em forma de pequenas toras, com menos de seis metros de comprimento.

As distâncias de transporte variaram desde 25 até 170 km, com média de 55 km (ou 110 km considerando o ciclo total - viagem vazia e retorno carregado). As estradas da região de estudo são divididas em não pavimentadas sem revestimento primário (29,0%), não pavimentadas com revestimento primário (37,0%) e pavimentadas com pista de rolamento simples (34%).

3.2. Caminhões avaliados

Para as finalidades deste estudo, foram considerados os caminhões do tipo truck (Figura 2), Carreta (Figura 3), Bitrem (Figura 4) e Tritrem (Figura 5).

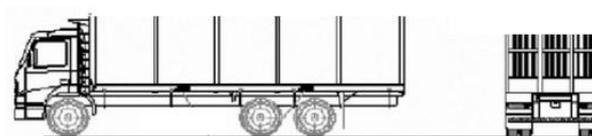


Figura 2. Caminhão Truck utilizado no transporte de madeira

Fonte: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2022/04/contran-regras-madeiras-toras.html>

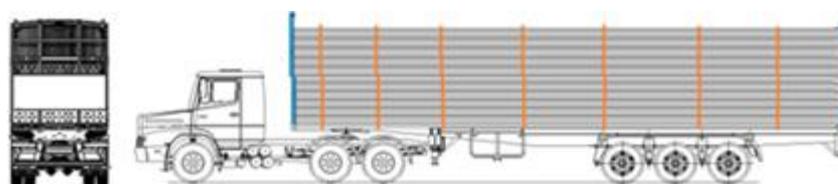


Figura 3. Carreta utilizado no transporte de madeira.

Fonte: <https://tinyurl.com/ybjz5zs6>

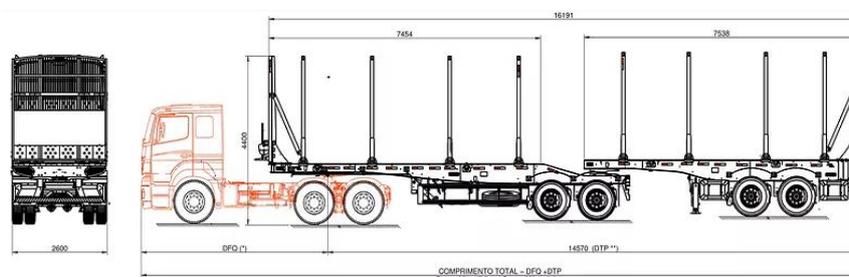


Figura 4. Bitrem florestal utilizado no transporte de madeira.

Fonte: <https://www.cmtimplementos.com>

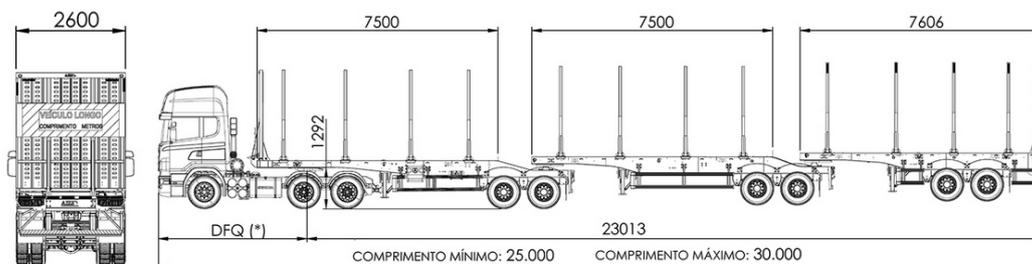


Figura 5. Tritrem florestal utilizado no transporte de madeira

Fonte: <http://www.aizimplementos.com.br/tritrem-florestal-aizimplementos.html>

Os tipos de caminhões avaliados, bem como suas especificações, encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações dos caminhões utilizados para avaliação dos custos de transporte de madeira

Caminhão Tipo	Marca/ Modelo	Tração	Consumo de Diesel (Km/l) ^{1/}	Capacidade de Carga (t) ^{1/}	Velocidade Média (Km/h) ^{2/}	Valor de Aquisição (R\$) ^{3/}
C1 (Truck)	Mercedes Attego 2426	6 x 2	3,00	15,0	45,0	479.157,00
C2 (Carreta)	Mercedes Axor 2536 LS	6 x 2	2,50	30,0	40,0	648.524,00
C3 (Bitrem Florestal)	Mercedes Axor 3344	6 x 4	2,00	37,0	35,0	736.699,00
C4 (Tritrem Florestal)	Mercedes Axor 4144 K	6 x 4	1,50	51,0	30,0	839.287,00

^{1/} Dados do fabricante.

^{2/} Considerando o ciclo completo (viagem de ida carregado e de retorno vazio), obtida a partir do estudo de tempos e movimentos.

^{3/} Caminhões novos, base Tabela FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2022), em 25/04/2022.

Com a finalidade de determinação dos tempos e velocidades médias das viagens dos caminhões, bem como do número de viagens por dia, foi realizado um estudo de tempo e movimentos do transporte pelo método de tempos contínuos, tendo sido utilizados um cronômetro digital e um formulário para o registro dos dados. Nas condições desse estudo, o ciclo operacional do transporte foi subdividido nos seguintes componentes parciais: viagem vazio; carregamento; viagem carregado; descarregamento; e pausas e interrupções.

Foram monitoradas as viagens de transporte de madeira de 16 caminhões, no período de janeiro a dezembro de 2020, totalizando 1.387 viagens de ida e volta, tendo sido considerados os seguintes dados médios por caminhão: volume de madeira (m³) por viagem; consumo médio de combustível (km/l) e velocidade média da viagem completa, ida e volta (km/h). A partir desses dados, foram realizadas as demais análises para o cálculo do custo de frete da madeira.

3.3. Custo de transporte da madeira

O custo de transporte da madeira (R\$/m³) foi calculado, para cada tipo de caminhão, utilizando a Planilha de Simulação de Custo da Operação de Transporte de Cargas, desenvolvida pela ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2017), a qual considera todos os custos fixos e variáveis simulando diferentes condições de operação, tais como valor de aquisição do caminhão, número de horas trabalhadas por mês, velocidade média do veículo, número de viagens por dia, consumo de combustível e distância de transporte. Em todas as situações avaliadas foi considerado o transporte dedicado, ou seja, os caminhões somente transportam madeira e as viagens de retorno são sem carga.

3.4. Análises estatísticas

Foi avaliado se os valores encontrados para custo de frete (em R\$/m³) apresentam associação entre si e com os valores de tamanho da madeira (em m), distância de transporte (em km), teor de umidade da madeira (em %) e capacidade de carga dos caminhões (em m³). Para isso, foi obtido o grau de associação, efetuando-se a análise da matriz de coeficiente da correlação de Pearson (r), pelo teste t a 5% de probabilidade; sendo considerada correlação forte quando $r \geq |0,50|$, média quando $|0,50| > r > |0,30|$ e baixa quando $r \leq |0,30|$, de acordo com Cohen (1988). As análises foram realizadas em ambiente Excel.

A técnica de regressão não linear utilizada foi desenvolvida por Seber; Wild (2003) e seu ajuste foi realizado para o custo do frete da madeira, visando estabelecer uma relação entre essa variável (dependente) e o tamanho da madeira, distância de transporte, teor de umidade da madeira e capacidade de carga dos caminhões, tendo sido ajustado, para cada tipo de caminhão analisado, o seguinte modelo:

$$CF = \beta_0 + \frac{\beta_1}{DT} + \frac{\beta_2}{UM} + \beta_3 * CC \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

CF = Custo do frete (variável dependente); DT = Distância de transporte; UM = Umidade da madeira; CC = Capacidade de carga (variáveis independentes); e $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros dos modelos.

As equações ajustadas foram avaliadas através do coeficiente de determinação (R^2), do coeficiente de variação (CV%) e pelo coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados ao quadrado (R_{yy}^2), tendo sido utilizado o software STATISTICA for Windows (STATSOFT Inc., 1995).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar a associação entre o custo do frete, o tamanho e o teor de umidade da madeira e a capacidade de carga dos caminhões, os resultados da análise da matriz do coeficiente de correlação de Pearson (r), por meio do teste t a 5% de probabilidade, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo e o custo de frete da madeira

Variáveis	Custo de Frete
Custo de frete	1
Tamanho da madeira	- 0,02 ^{ns}
Distância de transporte	0,92*
Teor de umidade da madeira	0,32*
Capacidade de carga dos caminhões	- 0,32*

Obs: * Significativo a 5% e 1% de probabilidade e ns - não significativo, pelo teste t com $n-2$ graus de liberdade.

Os resultados apontam que a variável distância têm uma forte correlação positiva com o custo de frete de transporte da madeira ($r = 0,92$), ressaltando que o aumento do trajeto percorrido aumenta diretamente os custos do frete da madeira transportada. Já a variável teor de umidade da madeira mostrou ter uma correlação positiva e mediana ($r = 0,32$), indicando que diminuição do teor de umidade da madeira, de forma individual, melhora o rendimento do transporte e diminui o custo do frete. A variável de capacidade de carga dos caminhões apresentou correlação negativa média ($r = - 0,32$), indicando que um aumento no volume de madeira transportada representa uma redução, embora pouco acentuada, no custo do frete da madeira. E por fim, a variável do tamanho da madeira (comprimento dos toretes) não apresentou correlação com o custo da madeira transportada.

Nas condições em que este estudo foi conduzido, o tamanho da madeira (comprimento dos toretes) não apresentou correlação com o preço de frete da madeira. Entretanto, em outra vertente, Machado; Lopes (2000) mostraram que o tamanho da madeira

é uma variável, que influencia na produtividade e no custo do transporte, uma vez que aumentou o rendimento dos veículos florestais de transporte em 10% e reduziu em 11,1% os custos da madeira transportada, quando aumentou o comprimento das toras de 5 metros para 6 metros. Portanto, sob essa ótica, a carga dos veículos terá um melhor aproveitamento se as toras de madeira tiverem maiores tamanhos em comprimento, pois representa um aumento do volume da madeira transportada, diminuindo assim os custos de transporte.

Embora as atividades de carregamento e descarregamento não tenham sido objeto de análise neste estudo, Lopes et al. (2016) apontaram que o comprimento das toras de madeira de *Eucalyptus* e *Pinus* interfere nos tempos dessas atividades, afetando a produtividade e os custos operacionais da atividade de transporte de madeira.

Por outro lado, os resultados deste estudo apontaram que a distância de transporte foi a variável que mais afetou o custo de frete da madeira, estando de acordo com muitos estudos já publicados. Alves et al. (2013) demonstraram o aumento do custo da madeira transportada para a unidade consumidora com o aumento distância percorrida pelos caminhões. Desta forma, quanto maior for à distância a ser percorrida, maior será o custo do frete da madeira transportada (LOPES, 2016 apud SILVERSIDES, 1976). Já Lopes et al. (2016) ressaltaram que a distância do trajeto percorrido interfere na produtividade dos veículos, visto que maiores distâncias propiciam maior tempo na duração das operações florestais, menor número de viagens e redução da produtividade, elevando os custos de transporte.

Enfim, Leite (1992) aponta o uso de veículos com capacidade de carga elevada para grandes distâncias a serem percorridas como uma solução para a redução dos custos de transporte de madeira. Em distâncias menores, os veículos apresentaram maiores tempos para a realização do carregamento e descarregamento da madeira, já os veículos com maior capacidade de carga para longas distâncias no ponto de vista econômico são mais viáveis (MACHADO et al., 2009).

Em outra vertente, o teor de umidade da madeira se apresentou como outra variável de influência no custo do frete, pois influencia diretamente a relação peso x volume da madeira a ser transportada. Segundo Foelkel (2016), o teor de umidade da madeira é uma importante propriedade na produção, pois afeta o volume e os custos da logística. Quanto maior for o teor de umidade da madeira ou da biomassa, maior será o peso por unidade de volume, aumentando assim os custos do transporte e de outras atividades importantes para a indústria florestal, como o estoque e processamento da madeira. Entre os diversos produtos diferentes feitos por este setor, alguns podem ser dependentes e delimitados pelo teor de

umidade da madeira, como a produção para biomassa energética, pois quanto mais água tiver na madeira maior será a energia necessária para a evaporação da mesma. Já na fabricação de painéis e de tábuas, a estabilidade dimensional exigida para o processo, é afetada diretamente pela umidade. Além disso, quanto mais água tiver na madeira, maior será seu peso, podendo comprometer a venda no comércio, obtendo um menor valor devido ao menor volume de madeira por unidade. Rezende (2009) ressalta que a umidade pode ser também um problema para a carbonização da madeira, porque grande quantidade de água pode afetar a qualidade, diminuir o rendimento e exigir um tempo maior para o processamento da madeira para a produção de carvão vegetal.

Já Jankowsky (2005) aponta que a secagem da madeira reduz a massa total, sendo uma ferramenta importante para diminuir os custos do transporte. Entre as diversas vantagens proporcionadas pela secagem da madeira, destaca-se o maior volume de madeira transportada, menor peso por unidade de volume das toras e maior poder calorífico da madeira para o biocombustível (FOELKEL, 2016).

Os resultados deste estudo evidenciaram, também, que a variável capacidade de carga têm uma correlação negativa com o custo de frete da madeira, ou seja, quanto maior o volume transportado, menores serão os custos por unidade de volume da madeira transportada, principalmente para longas distâncias percorridas. Corroborando esses resultados, Machado et al. (2009) ressaltam que a capacidade de carga é um fator determinante nos custos junto com o fato dos veículos florestais transportarem unicamente a madeira (transporte dedicado, com viagem de ida carregado e retorno vazio), elevando assim os custos de transporte. Além disso, o baixo valor específico da madeira em relação ao alto volume aumenta os custos de transporte, e o uso de veículos com alta capacidade de carga podem reduzir os custos (SEIXAS, 1992; SILVA, 2007 apud SILVERSIDES, 1976).

Dado que é o volume da madeira e não o peso, que mais afeta o transporte, o tamanho da madeira, a capacidade de carga e o teor de umidade da madeira são variáveis que influenciam no volume transportado, sendo relevante na soma total dos custos, pois quanto maior for o volume nas toras de madeira transportada, menor será o seu custo por unidade de volume transportado.

Por fim, os resultados apresentados indicam a importância do entendimento de quais são as variáveis e como estas influenciam no custo do frete de madeira, como se comportam individualmente e em conjunto, de forma a fornecer subsídios para o planejamento das operações relacionadas à colheita e transporte da madeira e, concomitantemente, garantir a redução dos custos e um melhor rendimento nas operações.

Após a análise dos dados que apontaram as variáveis que influenciam o preço do frete da madeira transportada, a partir de um modelo de regressão não linear, foram ajustadas equações para a determinação dos preços do frete da madeira transportada para diferentes tipos de caminhões avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Equações ajustadas para a determinação do preço do frete da madeira.

Tipo de Caminhão	Equação Ajustada	R²	CV	Ry²
C1 (Truck)	$533,67 - (13536,90/DT) + (9301,56/UM) - (33,53*CC)$	0,97	10,17	99,61
C2 (Carreta)	$338,32 - (8516,67/DT) + (5758,82/UM) - (10,49*CC)$	0,98	12,58	99,65
C3 (Bitrem)	$312,27 - (7973,65/DT) + (5411,59/UM) - (7,97*CC)$	0,98	13,67	99,63
C4 (Tritrem)	$273,75 - (6859,95/DT) + (4679,74/UM) - (4,98*CC)$	0,97	10,93	99,62

Onde: C1 – Truck; C2 – Carreta; C3 – Bitrem; C4 – Tritrem.

DT – Distância de transporte; UM – Teor de umidade da madeira; CC – Capacidade de carga dos caminhões.

R² = Coeficiente de determinação.

CV = Coeficiente de variação, em %.

R_{yy}² = Coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados ao quadrado.

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t” com n-2 graus de liberdade.

^{ns} = Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste “t” com n-2 graus de liberdade.

Os resultados referem-se aos parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste das equações para determinação do preço do frete da madeira a partir de dados observados em uma empresa florestal. Os valores dos coeficientes de determinação (R²), variando de 97 a 98%, indicam um alto grau de ajuste da variável dependente (preço de frete da madeira) às variáveis independentes (distância de transporte, umidade da madeira e capacidade volumétrica de carga). O coeficiente de variação (CV%), entre 10,17 e 13,67%, indica baixa variabilidade dos dados e boa capacidade para extrapolação dos resultados a partir deles.

A Figura 6 apresenta, graficamente, a elevada aderência das equações ajustadas aos dados observados, tendo sido observado o mesmo comportamento para todos os quatro tipos de caminhões avaliados, conforme os valores da correlação entre os valores observados e estimados ao quadrado, sempre muito próximos da unidade, o que fornece uma boa indicativa de um alto ajuste das equações aos dados observados.

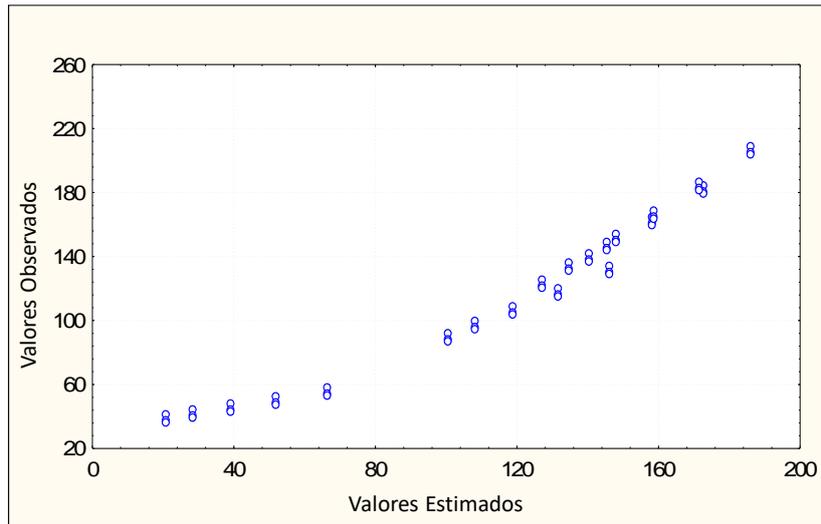


Figura 6. Representação do comportamento dos valores observados e estimados de frete da madeira com a utilização das equações ajustadas neste estudo.

Os resultados das estatísticas de ajuste do modelo são bons, indicando que este foi adequado, pois apresentou estatísticas bastante interessantes (R^2 e $Ry\hat{y}^2$ próximos da unidade e coeficiente de variação baixo) sendo, portanto, as equações ajustadas passíveis de utilização como ferramenta auxiliar na tomada de decisões envolvendo as variáveis que interferem, direta ou indiretamente, na composição do valor do frete da madeira.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi realizado, conclui-se que:

- Existe forte correlação positiva entre a distância de transporte e o valor do frete da madeira, sendo esta a variável de maior influência na formação deste custo.
- O teor de umidade da madeira apresentou correlação positiva com o valor do frete da madeira, indicando que quanto menor o seu valor, menor será o custo da atividade.
- A capacidade de carga dos caminhões, aqui representada como relação peso x volume, apresentou média correlação negativa com o valor do frete da madeira, indicando que quanto maior o volume transportado menor será o custo de transporte por unidade transportada.
- As equações ajustadas para o valor estimado do frete da madeira apresentaram um alto grau de ajuste da variável dependente, indicando apresentarem boa capacidade para extrapolação dos resultados a partir dessas variáveis.
- A busca pela melhoria no gerenciamento dos custos da atividade de transporte da madeira pode representar uma importante ferramenta para um modelo de gestão mais eficiente, visto os elevados montantes financeiros gastos na operação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. T.; FIEDLER, N. C.; SILVA, E. N.; LOPES, E. S.; CARMO, F. C. A. **Análise técnica e de custos do transporte de madeira com diferentes composições veiculares.** Revista *Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 897-904, 2013.
- ANTONÂNGELO, A.; BACHA, C. J. I. **As fases da silvicultura no Brasil.** *Revista Brasileira de Economia*, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2017. **Planilha de Simulação de Custo da Operação de Transporte de Cargas.** Disponível em: http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/42064/Planilha_de_Simulacao_de_Custo_da_Operacao_de_Transporte_de_Cargas.html. Acesso em: 04 mai. 2022.
- BERGER, R.; TIMOFEICZYK, R. Jr.; CAMIERI, C.; LACOWICZ, P. G.; SAWINSKI, J. Jr.; BRASIL, A. A. **Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear.** *Revista Floresta*, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 53-62, 2003.
- CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C. **Produção Sustentável de Carvão Vegetal.** 1 ed. Viçosa: SIF, 2013. v.1. 39p.
- CARVALHO, R.M.M.A; SOARES, T.S; VALVERDE, S.R. **Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia.** *Ciência Florestal*, v. 15, n. 1, 2005.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences.** New Jersey: Lawrence Earlbaum Associates, 1998.
- CONAMA. **Resolução nº210 de 13/11/2006 do CONAMA. Art.12-A.** Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=104243>>. Acesso em: 20 de Abril de 2022.
- COSTA, F. A.; SOUZA, R. A. T.; LEITE, A. M. P. **Transporte rodoviário de madeira: um estudo de caso na Amazônia.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte. Anais... Viçosa, MG: UFV; SIF, 2003. p. 350-362
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **GLOBAL FOREST RESOURCES ASSESSMENT 2015: How are the world's forests changing ?** Second edition, Rome, 2016.
- FARIA, S.F.S. **Fragmentos da História dos Transportes.** São Paulo: Aduaneiras, 2001.
- FIEDLER, N. C. **Colheita e transporte em áreas declivosas.** *Revista Opiniões*, São Paulo, v. 27, 2012. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=822>. Acesso em: 10/06/2022.
- FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. 2022. **Preço médio de veículos.** Disponível em: <http://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 02 mai. 2022.
- FOELKEL, C. Artigo Técnico: **Secagem na floresta e ao ar livre de toras e biomassa de eucalipto.** *Eucalyptus Online Book & Newsletter*. 2016. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/newsletter.html>. Acesso em: 19/05/2022.

FREITAS, L. C. et al. **Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem.** Revista *Árvore*, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004.

GUIMARÃES, P. P. **Consumo de combustível em duas combinações veiculares de carga no transporte rodoviário florestal.** 2014.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual IBÁ 2021.** São Paulo: Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), da Fundação Getúlio Vargas (FGV). 2021. 177 p.

ISARD, W. **Introduction to Regional Science.** 1975. Lansing. Michigan States.

JANKOWSKY, I. P. **Secagem adequada é decisiva para qualidade.** Revista da Madeira, n. 89, p. 33-37, 2005

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras.** Piracicaba: ESALQ, 1990.

KUMAR, A. **UC-Tech Transfer Forum.** San Francisco, 2008.18p.

LACOWICZ, P. G. et al. **Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal com o uso da programação linear e otimização do processo.** Revista *Floresta*, Curitiba, v. 32, n. 1, 75-87, 2002.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem.** São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 448 p.

LEITE, A. M. P. **Análise dos fatores que afetam o desempenho de veículos e o custo de transporte de madeira no distrito florestal do Vale do Rio Doce, MG. Viçosa – MG:** 1992. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa - UFV.

LEITE, Â. M. P.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C. Terceirização. In: MACHADO, C. C. (Coord.). **Colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 423-444.

LOPES, E. d. S.; VIEIRA, T.P.; RODRIGUES, C.K. **Avaliação técnica e de custos do transporte rodoviário com diferentes espécies e sortimentos de madeira.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 46, n. 3, p. 297 - 305, julho / setembro de 2016. ISSN eletrônico 1982-4688. DOI: 10.5380/rf.v46i3.36826. Data de Acesso: 24/05/2022. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/36826/29323>. Acesso em: 22/05/2022.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): Desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1989. 188p. (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1989.

MACHADO, C.C. & LOPES, E.d.S. **Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal.** CERNE, V.6, N.2, P.124-129, 2000.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H. **Elementos básicos do Transporte Florestal Rodoviário.** 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.167p.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H.; MACHADO, R.R. **Transporte rodoviário florestal.** Viçosa, Minas Gerais: Editora UFV, 2009. 217p.

MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. **Estradas de uso florestal**. Colégio Florestal de Irati - GTZ, Irati, 1990. 100p.

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2014. p. 178-205.

MALINOVSKI, R. A. **Modelo matemático para otimização dos custos operacionais de transporte de toras com base na qualidade de estradas**. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25268/t294_0346-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10/06/2022.

MEIRA JUNIOR, M. S. D., PEREIRA, I. M., MACHADO, E. L. M., MOTA, S. D. L. L., RIBEIRO, P. S. S. D. P.; OTONI, T. J. O. **Impacto do fogo em campo sujo no Parque Estadual do Biribiri, Minas Gerais, Brasil. Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, e00110814, 2017.

MORALES M.M.; NICOLI, C.M.L.; MORAES, A.C.; COAN, R.M.; PACHECO, A.R.; TONINI, H. **Caracterização do setor florestal goiano**. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas. Documentos, 241. 2012.

MOREIRA, M. F. **A utilização do transporte pesado em curtas distâncias**. Curitiba, 1998. UFPR.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira** 1ª. edição: fevereiro/ 2005; 4ª edição: novembro/ 2012. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, Prof. Dr. João Carlos Moreschi, Curitiba, Paraná.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. D. **Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller buncher**. *Cerne*, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011.

NOCE, R.; SILVA, M.L.D.; CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S. **Concentração das exportações no mercado internacional de madeira serrada**. *Revista Árvore*, v.29, n.3, p. 431-437, 2005.

OLIVEIRA, Aylson Costa. **Secagem de toras de eucalipto**. 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6848>. Acesso em: 22 de Maio de 2022.

PIGATTO, A.G.S.; LOPES, M.P. **A classificação dos biomas brasileiros em livros didáticos de biologia**. *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 1-18, 2019. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/atlante/2019/07/livros-didaticos-biologia.html>

PINHEIRO, M. A. **Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal**. 2013. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de Eucalyptus empregados na produção de carvão**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBASKI, N.G. **Conhecendo o setor florestal e perspectivas para o futuro**. Braz. J. Anim. Environ. Res., Curitiba, v. 1, n. 1, p. 44-58, jul./set. 2018.

RODRIGUES, P. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. 4.ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

SANTANA, W. A. **Proposta de diretrizes para o planejamento e gestão ambiental do transporte hidroviário no Brasil**. 2008. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – UPS/Escola Politécnica, São Paulo, 2008.

SEBER, G. A. F.; WILD, C. J. **Nonlinear regression**. Auckland: Wiley-Blackwell, 2003. 768 p.

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

SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira**. São Carlos: 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo / USP.

SEIXAS, F.; WIDMER, J.A. **Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira, utilizando-se de programação linear não inteira**. IPEF-Série técnica, v.46, p.107-18,1993.

SILVA, C.F.; PORTO, M.M. **Transportes, seguros e a distribuição física internacional de mercadorias**. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

SILVA, M. L.; OLIVEIRA, R. J.; VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; PIRES, V. A. **V. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1073-1079, 2007. Acesso em: 24/05/2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600012>.

SOARES, N. S.; SOUSA, E. P.; SILVA, M. L. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 46, 2008, Rio Branco, Acre, 20 a 28 de julho de 2008.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA for Windows, Release 5.0**. Computer program manual. Tulsa, OK: StatSoft, Inc. 1995.

VALVERDE, S.R. **Análise técnica e econômica do sistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1995. 123p. il. (Tese M.S.)

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. **Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético**. Scientia Forestalis, v. 41, n. 99, p. 353-360, 2013