

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

POMPEU PAES GUIMARÃES

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM DUAS COMBINAÇÕES VEICULARES
DE CARGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

CURITIBA

2014

POMPEU PAES GUIMARÃES

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM DUAS COMBINAÇÕES VEICULARES
DE CARGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

CURITIBA

2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Guimarães, Pompeu Paes

Consumo de combustível em duas combinações veiculares de carga no transporte rodoviário florestal / Pompeu Paes Guimarães. – 2014
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 21/07/2014.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Madeira - Transporte. 2. Transporte rodoviário - Custos. 3. Combustíveis - Custos. 4. Logística. 5. Teses. I. Arce, Julio Eduardo. II. Lopes, Eduardo da Silva. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.37



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 1047

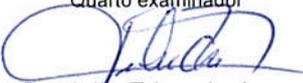
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Pompeu Paes Guimarães* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM DUAS COMBINAÇÕES VEICULARES DE CARGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.


Dr. Fernando Seixas
ESALQ/USP
Primeiro examinador


Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo
Segundo examinador


Dr. Renato César Gonçalves Robert
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Eduardo da Silva Lopes
Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO
Quarto examinador


Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 21 de julho de 2014.

Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e desafios propostos.

A meu orientador, Prof. Dr. Julio Arce pelo voto de confiança, ensinamentos, exemplo de profissional e ser humano. E a co-orientação do Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, sempre disposto a colaborar e abraçar este projeto.

Aos professores Nilton César Fiedler, Fernando Seixas e Renato Cesar Gonçalves Robert pela participação e contribuições para melhoria da tese.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, na pessoa do coordenador Prof. Dr. Antonio Carlos Batista, pelo apoio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos e possibilidade de financiamento de minha tese.

À companhia Arauco do Brasil pela possibilidade de promover este projeto em suas dependências e sistema de logística e transporte. Nas pessoas de Edmilson Maciel e Rodrigo Chaves, minha gratidão.

Aos meus pais, Sônia e Nivaldo, pela educação e motivação em realizar meus objetivos. A meus irmãos, Cínthia e Aislan, todo o carinho e disposição.

A Isadora Rodrigues, pelo carinho, dedicação e incentivo.

Aos meus amigos de república Rômulo Môra, Rafael Leite, Paulo André Trazzi, Allan Pelissari e Pedro Licio. Às minhas amigas da república vizinha Rafaella Curto, Maisa Buffon, Ana Paula Fernandes e Gabrielle Loureiro. Aos amigos Helton Andreatta e João Melhado, pela disponibilidade na coleta dos dados. A Allan Pelissari e Rômulo Môra, pela contribuição nas análises e desenvolvimento desta tese. Daniel Pereira pela colaboração na confecção dos mapas. A Ana Paula Fernandes e Gabrielle Loureiro, pela colaboração nas traduções.

Aos amigos do laboratório de Manejo de Nativas Rodrigo Miranda, Allan Pelissari, Loarena Leal, Sintia Kohler, Rogério Bamberg, Ângelo Ebling, Simone Abrão e Alexandre Behling. Aos amigos dos outros laboratórios, mas sempre presentes durante os cafés Mahayana Ferronato, Marcelo Sousa, Crismeire Isbaex, Leidimari Prado e Giovanna Aguiar.

Meu muito obrigado a todos, meu mais profundo agradecimento e admiração.

“Que a arte nos aponte uma resposta mesmo que ela não saiba e que ninguém a tente complicar, pois é preciso simplicidade para fazê-la florescer”.

Oswaldo Montenegro

BIOGRAFIA

POMPEU PAES GUIMARÃES, filho de Nivaldo Braga Guimarães e Sônia Helena Paes Guimarães, nasceu às 16 horas de 26 de Junho de 1985, em Bom Jesus do Itabapoana-RJ, Brasil.

Formou-se Técnico em Agropecuária no Colégio Técnico Agrícola Ildefonso Bastos Borges (CTAIBB – UFF), em 2002.

Em 2004, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre-ES, graduando-se em Engenharia Florestal, em fevereiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o Mestrado em Ciências Florestais, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2011.

Em agosto de 2012, começou a Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, defendendo a monografia em outubro de 2013.

Tornou-se professor da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), em Mossoró-RN, em setembro de 2013.

Iniciou, em fevereiro de 2011, o Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR, tendo em julho de 2014 a defesa de tese.

RESUMO

O transporte florestal brasileiro é dependente do modo rodoviário e condicionado às oscilações da cotação do petróleo e, por consequência, do preço dos combustíveis. Este trabalho teve como objetivo geral estimar o consumo de combustível do transporte rodoviário florestal em função de diferentes variáveis operacionais de duas composições veiculares de carga do transporte rodoviário florestal. Os dados foram coletados na operação do transporte rodoviário florestal, contemplando o trecho localizado entre as regiões de Campo do Tenente (planta florestal) e Piên (planta industrial), Estado do Paraná. O ciclo do transporte rodoviário florestal era composto pelas atividades de deslocamento interno e carregamento, viagem carregado, descarregamento e viagem vazio. Foram estudados duas composições veiculares de carga (rodotrem composto por 1 cavalo mecânico + 1 semirreboque + 1 reboque e carreta composta por 1 cavalo mecânico + 1 semirreboque), sendo utilizados para ambas o mesmo cavalo. Foi utilizado o sistema de telemetria do veículo para realização da coleta de dados de duração, distância percorrida, velocidade média e consumo de combustível de ambos os veículos, sendo calculadas as estatísticas descritivas, tais como média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação. A correlação linear foi utilizada para explicar a relação entre as variáveis duração, distância percorrida, velocidade média, consumo de combustível e carga líquida transportada. Foi obtido o rendimento energético dos veículos por meio da determinação da quantidade de madeira transportada em um quilometro consumindo um litro de combustível. Foi utilizado o procedimento *Stepwise* para a obtenção da melhor equação para estimativa do consumo de combustível dos veículos para as atividades de viagem carregado, viagem vazio e o ciclo total de transporte, utilizando como variáveis de entrada a duração, distância percorrida, velocidade média, consumo de combustível e carga líquida transportada. Os resultados mostraram que, pela análise de sensibilidade, o consumo de combustível dos veículos modificaram-se em $\pm 10\%$ os valores das variáveis de entrada individualmente. A superfície de resposta apresentou uma malha do consumo de combustível em função das modificações das variáveis selecionadas para $\pm 10\%$ conjuntamente. O maior consumo de combustível ocorreu nas viagens “carregado” nas maiores distâncias de transporte. O ciclo total de transporte com o rodotrem apresentou rendimento energético superior à carreta. A variável que mais influenciou na sensibilidade do consumo de combustível do rodotrem e da carreta foi a distância, sendo recomendado nas menores distâncias de transporte o uso de veículos com menor capacidade de carga, como a carreta, explicado pela necessidade de menor tempo de carregamento e descarregamento. Nas maiores distâncias de transporte, o uso de veículos com maior capacidade de carga e potência, como o rodotrem é recomendado, principalmente no transporte de madeira nas maiores distâncias com vistas à redução dos custos de transporte rodoviário florestal.

Palavras-chave: Logística; gestão do abastecimento florestal; e rendimento energético.

ABSTRACT

Brazilian forest transportation is dependent on the road mode and conditioning to fluctuations in the price of oil and, therefore, in the price of fuel. This work had as main objective to estimate the fuel consumption of forest road transportation according to different operating variables of two compositions vehicular load of forest road transportation. Data were collected in the operation of the forestry road transportation, contemplating the stretch located between the regions of Campo do Tenente (forest plan) and Piên (industrial plant), in Paraná state. The cycle of forest road transportation was composed by the activities of internal displacement and loading, loaded travel, unloading and empty travel. Two vehicular load compositions were used ("rodotrem" composed by 1 truck + 1 semi trailer + 1 trailer and a "carreta" composed by 1 truck + 1 semi trailer), being used for both the same horse. The telemetry system of the vehicle was used to perform the data collection of duration, the distance traveled, speed average and fuel consumption of the both vehicles, being calculated the descriptive statistics such as arithmetic mean, standard deviation and coefficient of variation. A linear correlation was used to explain the relationship among the variables duration, the distance traveled, average speed, fuel consumption and transported liquid cargo. The energy performance of vehicles was obtained by determining the amount of wood transported in one kilometer consuming a liter of fuel was obtained. Through the Stepwise procedure, it was achieved the best equation to estimate the fuel consumption of vehicles for loaded and empty travel and the total cycle of transportation using as input variables the duration, the distance traveled, speed average, fuel consumption and transported liquid cargo. The results show for the sensitivity analysis that the fuel consumption of vehicles has changed at $\pm 10\%$ the values of the variable input individually. The response surface presented a mesh of fuel consumption as a function of changes in selected variables for $\pm 10\%$ together. The higher fuel consumption occurred in travel loaded in higher transport distances. The total transport cycle with "rodotrem" presented an energy performance higher than the "carreta". The variable that most influenced the sensitivity of fuel consumption of "rodotrem" and the "carreta" was the mileage, being recommended in smaller transportation distances the use of vehicles with lower load capacity, as the "carreta", explained by the need for shorter time of loading and unloading. In larger transportation distances, the use of vehicles with higher load capacity and power, as the "rodotrem", is recommended, especially in timber transportation in greater distances in order to reduce the costs of forest road transportation.

Key-words: Logistics; management of forest supply; energy performance.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONSUMO FINAL ENERGÉTICO DO BRASIL.	22
FIGURA 2 – CONSUMO DE ENERGIA NOS TRANSPORTES.....	23
FIGURA 3 – DIFERENTES MODELOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO QUE NÃO NECESSITAM DE AET	27
FIGURA 4 – DIFERENTES MODELOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO QUE NECESSITAM DE AET.....	28
FIGURA 5 – DENSIDADE DA MALHA RODOVIÁRIA PAVIMENTADA EM DIFERENTES PAÍSES.....	39
FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DAS REGIÕES DE CAMPO DO TENENTE (PLANTA FLORESTAL) E PIÊN (PLANTA INDUSTRIAL).....	44
FIGURA 7 – ROTAS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.	45
FIGURA 8 – DADOS METEOROLÓGICOS.	47
FIGURA 9 – CAVALO MECÂNICO UTILIZADO.....	49
FIGURA 10 – ATIVIDADES DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL. ...	52
FIGURA 11 – SISTEMA DE TELEMETRIA	53
FIGURA 12 - PORCENTAGENS DA DISTÂNCIA PERCORRIDA, DA DURAÇÃO E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO.	67
FIGURA 13 – TARA DOS VEÍCULOS E CARGA LÍQUIDA TRANSPORTADA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.	70
FIGURA 14 – RENDIMENTO ENERGÉTICO PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL COM O RODOTREM E A CARRETA.....	71
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA A VIAGEM CARREGADO.....	78
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA A VIAGEM VAZIO.....	79
FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA O CICLO TOTAL DE TRANSPORTE.....	81
FIGURA 18 – SENSIBILIDADE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NA VIAGEM CARREGADO.....	83

FIGURA 19 – SENSIBILIDADE PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NA VIAGEM VAZIO.	85
FIGURA 20 – SENSIBILIDADE PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NO CICLO TOTAL DE TRANSPORTE.	87
FIGURA 21 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DO RODOTREM CARREGADO.	90
FIGURA 22 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DA CARRETA CARREGADA.	91
FIGURA 23 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DO RODOTREM VAZIO.	92
FIGURA 24 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA VIAGEM DA CARRETA VAZIA.	93
FIGURA 25 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA O CICLO TOTAL COM O RODOTREM.	94
FIGURA 26 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA O CICLO TOTAL COM A CARRETA.	95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS DE CARGA.....	26
TABELA 2 – PERFIL DE ELEVAÇÃO DAS ROTAS UTILIZADAS.	46
TABELA 3 – PRINCIPAIS SORTIMENTOS E PRODUTOS GERADOS PELO MANEJO FLORESTAL.....	48
TABELA 4 – ESPECIFICAÇÕES DO CAVALO MECÂNICO	49
TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES DAS DUAS COMPOSIÇÕES VEICULARES DE CARGA UTILIZADAS.	50
TABELA 6 – ATIVIDADES CONSTITUINTES DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	51
TABELA 7 – VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA O AJUSTE DAS EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.	57
TABELA 8 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	62
TABELA 9 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	73
TABELA 10 – EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	76
TABELA 11 – EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMAR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAF –	Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantadas
AET –	Autorização Especial de Trânsito
COPPEAD –	Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
CONTRAN –	Conselho Nacional de Trânsito
CNT –	Confederação Nacional do Transporte
CPM –	<i>Critical Path Method</i>
CVC –	Combinações Veiculares de Carga
GPS –	<i>Global Positioning System</i> ou Sistema de Posicionamento Global
IPVA –	Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotivos
MDF –	<i>Medium Density Fiberboard</i>
PERT –	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
PBO –	<i>Paint Based Overlay</i>
PBT –	Peso Bruto Total
PBTC –	Peso Bruto Total Combinado
VPL –	Valor Presente Líquido
Tep –	Tonelada Equivalente de Petróleo
UFIR –	Unidade de Referência Fiscal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	LOGÍSTICA.....	19
2.2	O TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	21
2.3	O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	23
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS VEÍCULOS DE TRANSPORTE.....	25
2.4.1	Classificação dos veículos.....	25
2.4.2	Consumo de combustível.....	30
2.4.3	Viagem vazio e carregado.....	32
2.4.4	Carregamento e descarregamento.....	33
2.4.5	Tempos improdutivos e filas.....	35
2.5	LEGISLAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	36
2.6	REDE VIÁRIA FLORESTAL.....	38
2.7	CUSTOS.....	40
2.8	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS EMPREENDIMENTOS.....	43
3	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA FLORESTAL.....	47
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.....	48
3.4	SISTEMA DE TELEMETRIA UTILIZADO.....	53
3.5	ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	54
3.6	CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS.....	55
3.7	RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	55
3.8	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	56
3.9	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	59
3.10	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS.....	61

4.1.1	Deslocamento interno e carregamento	63
4.1.2	Descarregamento	63
4.1.3	Viagem carregado	64
4.1.4	Viagem vazio	64
4.1.5	Ciclo total de transporte	65
4.2	RENDIMENTO ENERGÉTICO	71
4.3	CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS	72
4.4	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	75
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	82
4.6	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	89
5	CONCLUSÕES	97
6	SUGESTÕES	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1 INTRODUÇÃO

O valor estimado bruto da produção para o setor de florestas correspondeu a R\$ 56,3 bilhões, sendo investidos em torno de R\$ 2,0 bilhões na área de colheita e transporte florestal (ABRAF, 2013). Toda a madeira produzida, para suprir as necessidades do mercado precisa ser levada para os pátios das fábricas ou destinos finais continuamente, na quantidade, condição, lugar e hora certa, pelo menor custo possível.

No Brasil, o modal mais utilizado para o transporte florestal é o rodoviário, devido à existência de veículos de diferentes marcas e modelos, grande disponibilidade de estradas, mobilidade, flexibilidade e capacidade de permitir o transporte porta a porta.

No entanto, a madeira é um material com baixo valor agregado, possuindo grande peso e baixo valor unitário, o que torna ainda mais difícil a redução dos custos de transporte rodoviário florestal.

Além disso, há grande especificidade dos compartimentos de carga dos veículos, promovendo a viagem carregado em um sentido, aumentando os custos por unidade de transporte e não permitindo a utilização de cargas de retorno.

Para o abastecimento de madeira das fábricas, os veículos utilizados no transporte rodoviário florestal cada vez precisam percorrer maiores distâncias, trafegando continuamente em estradas de baixo padrão de qualidade, elevados custos com pedágios e combustível.

Os gastos com combustíveis representam cerca de 35% do custo total das empresas de transporte de carga rodoviária. O aumento no preço dos combustíveis causa aumento no preço do frete, que, conseqüentemente, pode ser repassado aos produtos transportados (CNT, 2014). Dentre os custos do transporte rodoviário florestal, o combustível é um dos fatores que podem inviabilizar e onerar a atividade.

Esta dependência brasileira do transporte rodoviário florestal o condiciona às oscilações da cotação do petróleo e, por consequência, do preço dos combustíveis. O comportamento dos preços dos derivados tem influenciado em grande medida nos índices de preço do consumidor. Com isso, seu aumento reflete no setor de transporte, com a elevação nas tarifas de frete.

Como as medidas relacionadas aos crescentes aumentos do preço do combustível não sinalizam ter efeito em curto prazo, é fundamental atuar com medidas que envolvam o planejamento e controle do consumo nas atividades que demandam quantidade elevada de combustível, como o transporte de madeira (SILVEIRA *et al.*, 2004).

A redução do consumo de combustível impacta diretamente na redução de custo de transporte, bem como na mitigação de gases de efeito estufa. Uma economia no consumo de combustível dos veículos de transporte pode ser conseguida com reduções de peso nos constituintes dos veículos e resistência dos pneus, melhorias na aerodinâmica e eficiência do motor.

Os custos do transporte rodoviário florestal normalmente são divididos em custos fixos e variáveis. Todos os custos que ocorrem de maneira independente do deslocamento do veículo são considerados fixos e os custos que variam de acordo com a distância percorrida são considerados variáveis. Dentre os custos variáveis, o consumo de combustível é um dos itens mais importantes; quanto menor for o consumo do veículo, menor será o custo de combustível por quilômetro rodado.

O problema do transporte rodoviário florestal pode ser caracterizado em perguntas como: qual o consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário florestal? É possível estimar o consumo de combustível dos veículos de transporte baseando-se na duração do ciclo de transporte, na distância percorrida, na velocidade média e na carga líquida transportada de madeira?

A distância percorrida no transporte rodoviário florestal é a principal variável que influencia no consumo de combustível dos veículos, sendo o consumo diretamente afetado pela elevação da velocidade média, da carga líquida de madeira transportada e da duração do ciclo operacional do transporte.

A velocidade operacional do transporte rodoviário florestal implica em maior grau de utilização do veículo, podendo ser potencializado pela menor distância do percurso (MACHADO *et al.*, 2009). Quanto maior for a velocidade operacional menor será o número de veículos necessários para transportar a mesma quantidade de madeira. Porém, o aumento na velocidade média do veículo incorrerá em alterações no consumo de combustível e nos custos de transporte.

A duração do ciclo operacional de transporte corresponde ao período em que o veículo opera de forma ativa (em viagem) e passiva (carregamento e descarregamento), sendo diretamente proporcional ao percurso (MACHADO *et al.*, 2009). Além de promover a redução da duração do ciclo total de transporte, é necessário que o maior tempo efetivo de trabalho seja utilizado ativamente.

Por isso, existe ampla variedade de combinações veiculares de carga disponíveis no mercado passíveis utilização no transporte rodoviário florestal. Deste modo, o consumo de combustível destes veículos também deve ser analisado, possibilitando escolher para as diferentes condições operacionais entre os veículos pesados e extrapesados.

Portanto, partindo deste pressuposto, há necessidade de promover estudos relativos ao transporte rodoviário florestal no intuito de avaliar as variáveis que influenciam no consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário, de forma a evitar as flutuações no consumo, melhorar a eficiência, reduzir os custos, facilitar a padronização, controle de qualidade e sustentabilidade do abastecimento florestal.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral estimar o consumo de combustível do transporte rodoviário florestal em função de diferentes variáveis operacionais de duas composições veiculares de carga do transporte rodoviário florestal, com vistas a subsidiar o planejamento e redução dos custos de transporte.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Analisar a duração do ciclo operacional, a distância percorrida, o consumo de combustível, a velocidade média e a carga líquida de madeira transportada dos veículos;
- Determinar o rendimento energético dos veículos rodotrem e carreta;
- Analisar as variações no consumo de combustível dos veículos por meio da combinação de variáveis independentes e os elementos do ciclo operacional do transporte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LOGÍSTICA

Entende-se por logística o conjunto de todas as atividades de movimentação e armazenamento necessárias, de modo a facilitar o fluxo de produtos do ponto de aquisição de matéria prima até o ponto de consumo final, como também os fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, obtendo níveis de serviço adequados aos clientes, a um custo razoável (GOEBEL, 1996).

Machado *et al.* (2009) definem logística como a parte do processo da cadeia de suprimentos que planeja, programa e controla, de forma eficiente e eficaz, a expedição, o fluxo reverso e a armazenagem de bens e serviços, assim como o fluxo de informações relacionadas, entre o ponto de origem e o ponto de consumo, com o propósito de atender às necessidades dos clientes. Quando a qualidade e o preço do produto tendem a se igualar, os diferenciais que influenciarão nos produtos finais são os processos de logística - não apenas a qualidade do produto, como também a forma como são apresentados, embalados, prazos de entrega, dentre outros.

As operações logísticas são divididas em três áreas: distribuição física – trata da movimentação de produtos acabados para entregas aos clientes; apoio à manufatura – concentra-se no gerenciamento de estoque em processo na medida em que esse flui entre as fases de fabricação; e suprimentos – abrangem a compra e organização da movimentação de entrada de materiais, de peças e de produtos acabados dos fornecedores, para as fábricas ou montadoras, depósitos ou lojas varejistas (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

O estudo de logística aplicado no planejamento das operações de transporte da matéria-prima madeira e de distribuição da produção tem tido sua importância reconhecida na busca de maior eficiência e competitividade pelas indústrias nos mais variados segmentos da economia do setor florestal no mundo todo (SOUSA, 2000).

O transporte é o elemento mais importante do custo logístico para a grande maioria das empresas transportadoras, pois o frete costuma absorver cerca de 60% do gasto logístico (MACHADO, 2006).

A demanda e a oferta se referem ao conjunto de pessoas que realizam transações de compra e venda de um produto ou serviço no mercado. Os compradores ou consumidores, em conjunto, determinam a demanda, e os vendedores ou produtores, em conjunto, determinam a oferta do produto ou serviço (SANTANA, 2005).

De preferência, a disponibilidade dos insumos deve ser contínua, sem apresentar sazonalidade. A falta de um insumo atrasa e encarece os produtos, pois o não cumprimento de compromissos com fornecedores diminui os preços de venda do produto e fortalece a concorrência do futuro empreendimento. Em relação ao fluxo de demanda, devem ser analisados os dados históricos de demanda do produto. O conhecimento do mercado comprador do produto interfere diretamente na viabilidade econômica do projeto (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

A função dos estoques no suprimento é agir como amortecedores entre suprimentos e necessidades de produção. Os benefícios gerados no sistema são a garantia de maior disponibilidade de componentes para a linha de produção e a redução do tempo previsto pela administração para ter a disponibilidade desejada, além da redução dos custos de transporte por meio de maiores embarques (GOEBEL, 1996).

O desafio diante do qual se encontra o administrador logístico é que os custos das atividades a ele subordinadas não caminham no mesmo sentido, ou seja, na medida em que os custos de uma atividade crescem, os custos de outra operação caem. Exemplo deste fato são os custos de transporte e estoque: quanto maior for o número de depósitos, menores serão os custos de transporte e maior o custo de manutenção dos estoques. Dessa forma, surgiu a ideia do *Just in Time*, que consiste em minimizar a necessidade de armazenagem e manutenção de estoques ao ajustar o suprimento e a demanda no tempo e na quantidade, de modo que os produtos ou matérias primas estejam disponíveis nos montantes requeridos, no momento justo (GOEBEL, 1996).

2.2 O TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O transporte é um serviço de consumo intermediário que movimentava cargas entre diferentes locais, contribuindo para o desenvolvimento e a sustentabilidade do sistema socioeconômico (MACHADO *et al.*, 2009). Além disso, os meios de transporte reduzem as distâncias e permitem o intercâmbio de bens entre as comunidades, contribuindo para o desenvolvimento socio-econômico de um país.

O transporte está diretamente relacionado ao desenvolvimento da civilização moderna, integrando o perfeito funcionamento de qualquer sociedade; serve também como instrumento básico de fomento para o desenvolvimento econômico de uma região, viabilizando os processos de troca de mercadorias entre as regiões produtoras e consumidoras. Sabe-se que sua indisponibilidade pode inviabilizar uma região produtora, mesmo quando há fortes demandas desses produtos em outros locais (RODRIGUES, 2007).

O transporte rodoviário brasileiro tem a característica de ser pulverizado, utilizando-se de transportadores autônomos, empresas transportadoras e transportadores de carga própria (MACHADO *et al.*, 2009).

O transporte é a área operacional da logística que posiciona geograficamente o estoque. Alguns fatores são fundamentais para o desempenho do transporte: custos – pagamento pelo transporte entre dois pontos geográficos diferentes e as despesas relacionadas ao gerenciamento e manutenção do estoque em trânsito; velocidade – tempo necessário para realizar uma movimentação específica; e consistência – variações do tempo necessário para executar uma movimentação específica, considerando diversos carregamentos (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

O Brasil vem passando por dificuldades para escoar sua produção durante os últimos anos. O crescimento do país enfrenta a falta de investimentos em obras de infra estrutura de transportes. O modo rodoviário tem sido privilegiado nas decisões de política pública, provavelmente pela ausência de análises de custos de longo prazo (ELLER *et al.*, 2011).

O principal meio de transporte usado no Brasil é o rodoviário, por sua mobilidade, flexibilidade e capacidade de permitir o transporte porta a porta, com o empecilho de necessitar de que o veículo se adapte às condições adversas de transporte, excesso de chuvas em determinadas épocas do ano e variabilidade de estradas (SEIXAS, 1992).

Para Goebel (1996), além destas vantagens existem outras, como frequência e disponibilidade de vias de acesso, maior velocidade, menor tempo de carregamento e descarregamento do veículo; facilidade de substituir o veículo por outro em caso de acidentes ou quebras dos veículos e possibilidade de despacho de cargas parceladas.

Como desvantagens, o transporte rodoviário apresenta maior custo operacional comparado ao ferroviário e ao fluvial; afeta o nível de serviço das estradas, principalmente nos períodos de safra, quando provoca grandes congestionamentos nas rodovias, além de menor capacidade de carga em comparação ao transporte ferroviário e fluvial (MACHADO *et al.*, 2009).

O consumo total de energia em 2013 foi na ordem de 260,3 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep), montante superior 2,9% ao de 2012 (253,0 milhões de tep).

Os derivados de petróleo foram as fontes energéticas mais consumidas no Brasil, ocorrendo 2,4% de aumento no consumo de 2012 para 2013 (115,4 milhões tep) (FIGURA 1A). O setor de transporte só perde para as indústrias no consumo energético brasileiro, consumindo 83,1 milhões tep, com um aumento de 5,2% em relação ao ano de 2012 (MME, 2014) (FIGURA 1B).

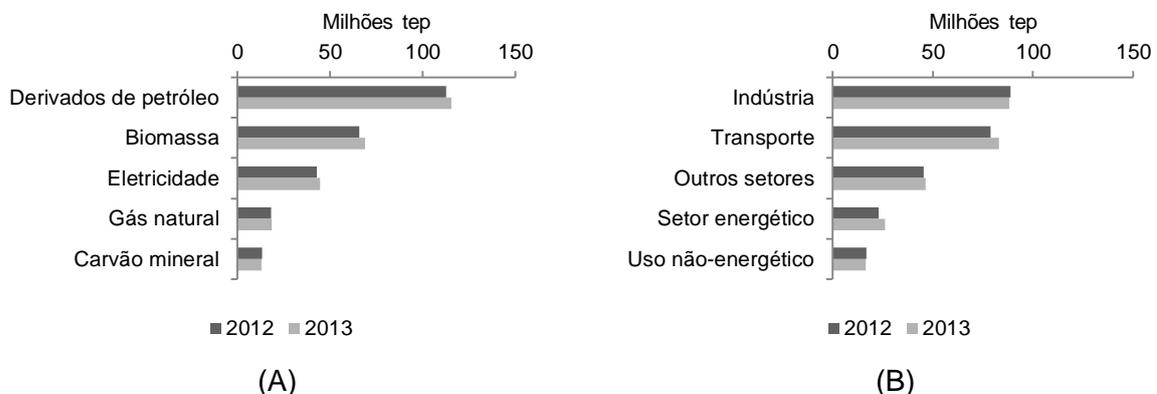


FIGURA 1 – CONSUMO FINAL ENERGÉTICO DO BRASIL.
Onde: (A) por fonte e (B) por setor.
Fonte: MME (2014).

Em 2013, o setor de transporte consumiu 83 milhões tep, sendo 81,2% provenientes de derivados de petróleo, 16,6% de bioenergia, 2,0% do gás natural e 0,2% de eletricidade (MME, 2014). A FIGURA 2 mostra o consumo de energia no setor de transportes.

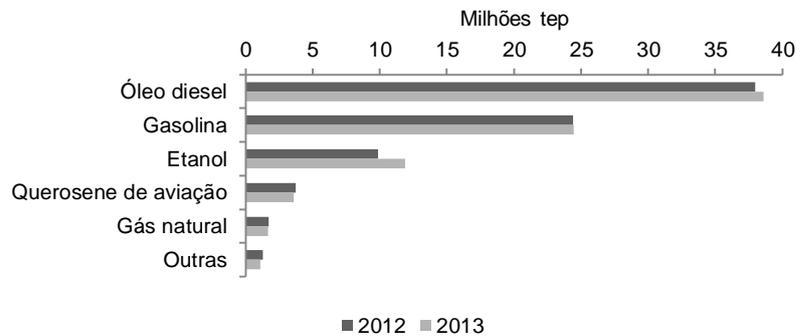


FIGURA 2 – CONSUMO DE ENERGIA NOS TRANSPORTES.

FONTE: MME (2014).

A principal fonte de energia utilizada pelo setor de transporte foi o óleo diesel, correspondendo a 48,1% e 46,4% da energia total utilizada pelo setor de transporte, respectivamente para 2012 e 2013. Após dois aumentos consecutivos em 2012, o preço do óleo diesel foi reajustado em 2013, subindo de R\$ 2,05/litro em fevereiro de 2012 para R\$ 2,25/litro em fevereiro de 2013 (CNT, 2013).

2.3 O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

O transporte rodoviário florestal é definido como a movimentação de madeira e seus derivados da floresta até o centro consumidor, sofrendo influência do tipo de veículo utilizado, da distância de transporte, do valor unitário do frete, das condições em que se encontra a malha rodoviária, do tempo de espera no carregamento e descarregamento, da carga líquida que o veículo transporta, das condições locais e dos tipos de equipamentos de carregamento e descarregamento (MACHADO *et al.*, 2009).

O transporte principal de madeira não representa uma operação isolada, sendo parte integrante de um sistema maior de abastecimento florestal. As etapas de colheita e transporte de madeira devem compor um sistema otimizado até o destino final da madeira, evitando os gargalos e com menor custo admissível (SEIXAS, 1992).

A colheita e o transporte de madeira constituem, de maneira geral, as operações com maior custo na cadeia de produção florestal. O transporte é impactado pela impossibilidade de uso de veículos de maior capacidade de carga, em função da baixa qualidade das estradas, principalmente em termos de aclives e declives acentuados e do padrão de qualidade dos pavimentos (FIEDLER, 2012).

As atividades de transporte rodoviário florestal são classificadas como processo logístico de abastecimento, pois englobam as atividades realizadas na disposição dos materiais (madeira) para produção (celulose, entre outros), utilizando técnicas de armazenamento, estocagem, transporte e fluxo de informações (MACHADO *et al.*, 2009).

Machado *et al.* (2009) enumeraram alguns fatores que influenciam no desempenho e custos do transporte rodoviário florestal, como a distância de transporte - localização do centro consumidor e as áreas de produção de madeira, principal fator que limita a quantidade e volume de madeira a ser transportada por turno de trabalho, para cada tipo de CVC; e o padrão da rede rodoviária florestal - sinuosidade longitudinal e vertical da rodovia, largura da estrada e macro e micro rugosidade da superfície da pista de rolamento.

O transporte rodoviário florestal enfrenta condições adversas quanto às vias de acesso, exigindo-se que os veículos se adaptem às condições distintas de transporte em estradas asfaltadas e de terra, além de restrições climáticas, impedindo a retirada da madeira em determinadas épocas do ano. Neste caso, as opções concentram-se na formação de estoques estratégicos, no melhoramento das vias de acesso ou na realização da operação de baldeio com a instalação de pátios intermediários (SEIXAS, 1992).

Em relação ao transporte rodoviário florestal, os tipos de veículos e processos de carregamento e descarregamento são determinados pela forma, dimensões e massa específica da madeira. Baseados nesta afirmação, Machado *et al.* (2009) classificaram, do ponto de vista técnico, o transporte florestal por grupos de sortimento: madeira curta - comprimento das toras de até 2,40 m; madeira em

bloco - comprimento das toras de 2,40 a 6,0 m; madeira longa - comprimento das toras acima de 6,0 m; árvore inteira - toras transportadas com galhagem e folhagem; árvore completa - toras transportadas com galhagem, folhagem e parte do sistema radicular; fragmento de madeira - toras transportada em forma de cavacos, serragem, madeira picada em contêineres; e, por fim, madeira serrada - madeira desdobrada.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS VEÍCULOS DE TRANSPORTE

2.4.1 Classificação dos veículos

Para as empresas, o binômio veículo-equipamento está para a produção dos serviços assim como uma máquina industrial está para a produção de bens na indústria (BARRETO, 1999).

Para determinar as possibilidades de utilização dos veículos, as seguintes características devem ser observadas: relação potência/ peso; torque; tipo de tração; relações de transmissão; tipo de pneumático; manobrabilidade; tipo de cabine (simples ou leito); tipo de composição (simples, articulada ou combinada); distância entre eixos; capacidade de subida de rampa; peso bruto total; carga líquida; raio de giro; tipo de suspensão; autonomia; sistema de freios; componentes especiais – tomada de força; tipo e dimensões da carroçaria; equipamentos auxiliares de carga e descarga; dispositivos especiais relativos à amarração e fixação de cargas, etc. (MACHADO *et al.*, 2009).

Para Silva *et al.* (2007), os estudos de transporte rodoviário florestal devem ser conduzidos para identificar o tipo de veículo mais indicado para se transportar madeira de determinada região ou empresa. Outro problema se relaciona à distância máxima viável de transporte, pois o custo elevado tem grande poder de inviabilizar todo um projeto de reflorestamento com maior distância do centro consumidor.

A terceirização é uma estratégia de gestão que vem sendo amplamente adotada pela maioria das empresas florestais, particularmente na colheita e transporte florestal (LEITE, 2002). Sousa (2000) questiona o processo de terceirização do transporte rodoviário de madeira justificando que o sistema não

terceirizado permite à indústria definir melhor o tipo de veículo mais adequado para realizar o transporte.

Machado *et al.* (2009) classificaram os veículos de cargas de acordo com a carga líquida transportada e rendimento energético (TABELA 1).

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS DE CARGA

Veículo	Carga líquida (t)	RE (t.km/l)
Leve	10	15
Médio	10 a 20	27
Semi-pesado	20 a 30	35
Pesado	30 a 40	52
Extra-pesado	> 40	60

Fonte: Machado *et al.* (2009)

A Resolução nº 12/98 discorre sobre a caracterização dos veículos do transporte rodoviário de cargas, bem como seu PBT e PBTC, além de mostrar a necessidade de AET (PBTC acima de 45 t) para cada tipo de Combinação Veicular de Carga (FIGURA 3 e 4).

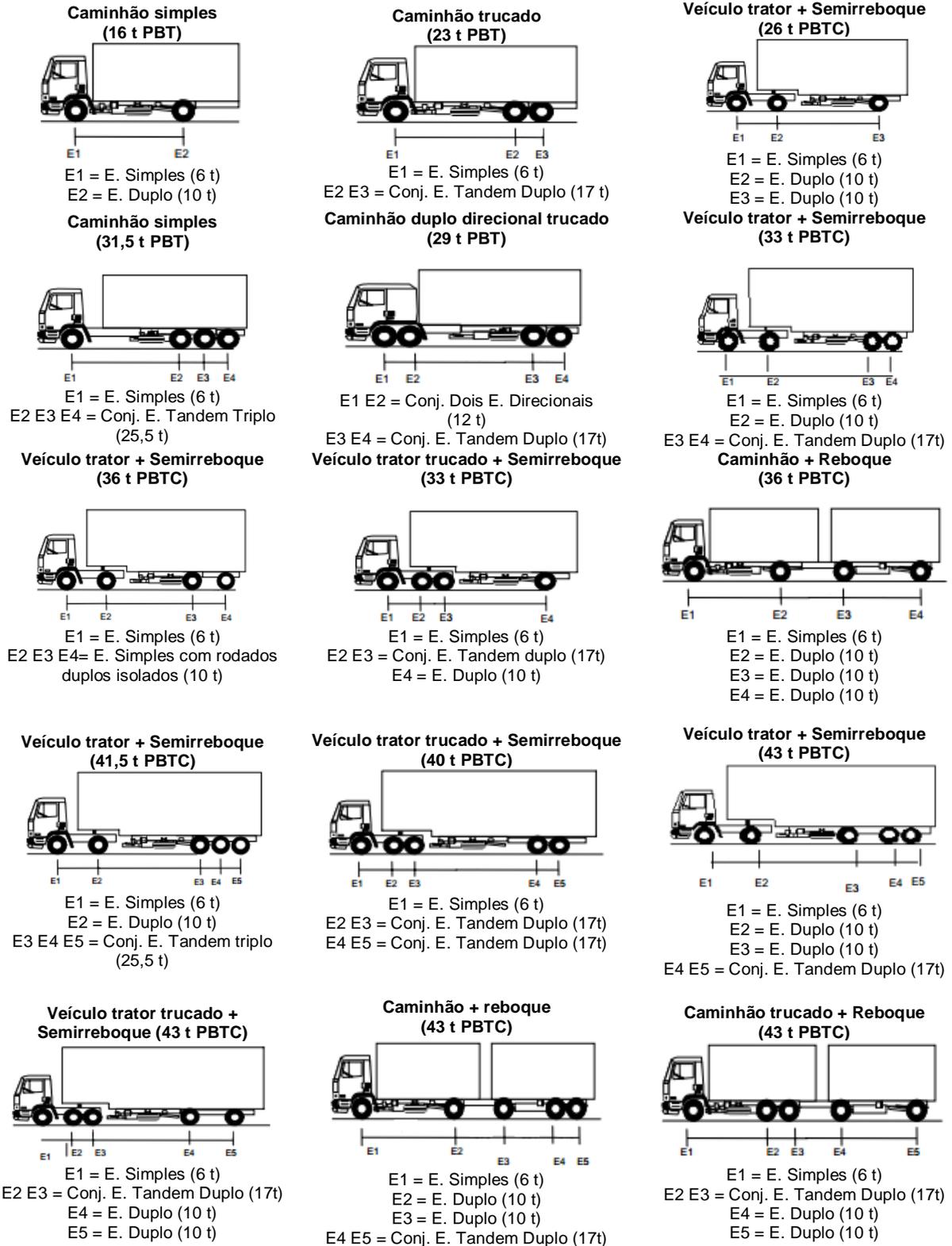


FIGURA 3 – DIFERENTES MODELOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO QUE NÃO NECESSITAM DE AET

Fonte: Resolução nº 12/98

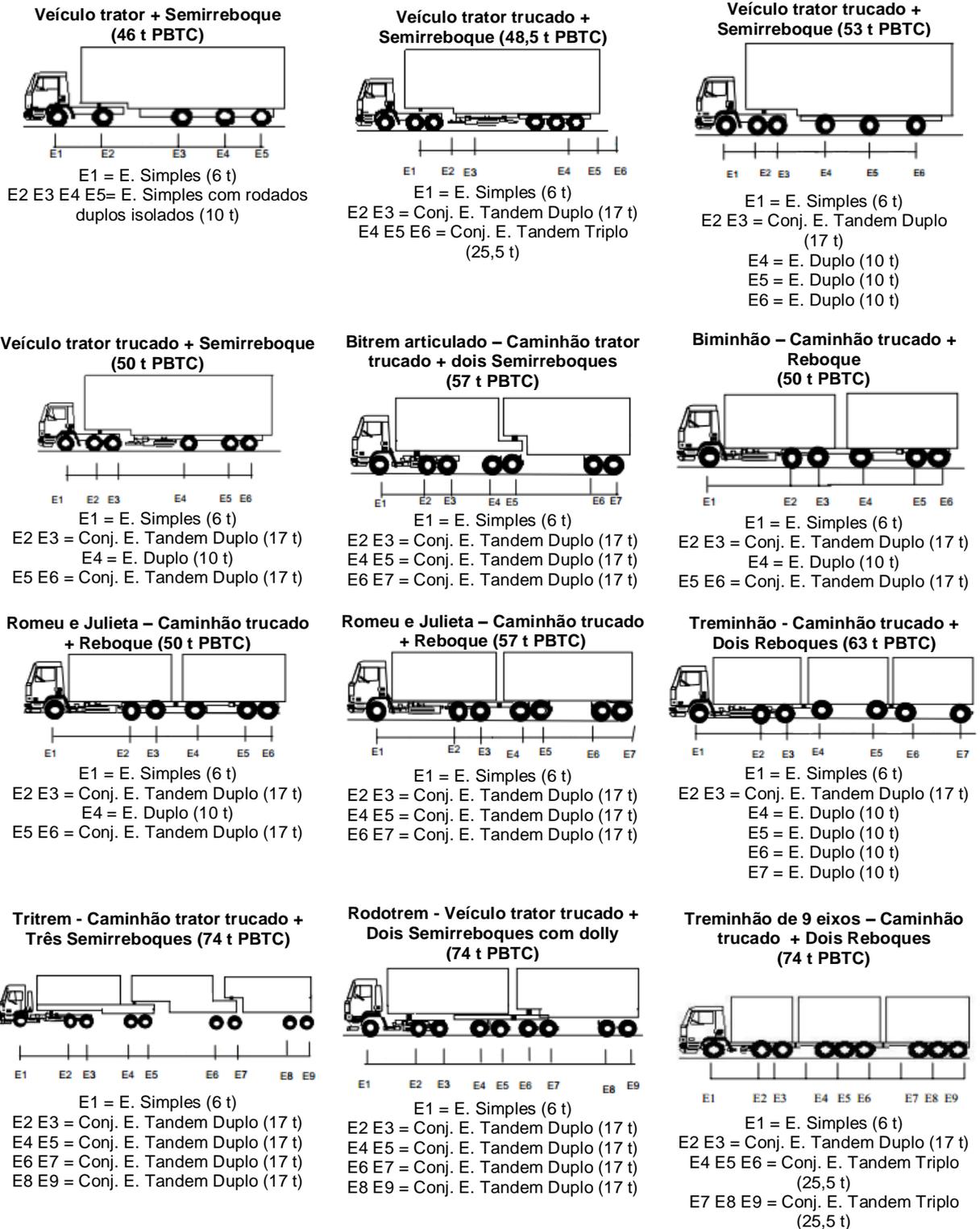


FIGURA 4 – DIFERENTES MODELOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO QUE NECESSITAM DE AET.

Fonte: Resolução nº 12/98

Com base nos dados de um produtor independente que pretendia implantar um projeto de reflorestamento e entregar madeira na fábrica, Silva *et al.* (2007) estabeleceram a distância máxima de transporte para diferentes veículos por meio de indicadores econômicos. A maior distância de transporte foi aquela que anulava o VPL (Valor Presente Líquido). Desta forma, o rodotrem poderia percorrer 226 km sem que houvesse prejuízos e o caminhão, de menor capacidade de carga que os demais veículos, 155 km. Com estes extremos, os autores promoveram uma análise de sensibilidade modificando suas variáveis principais em $\pm 20\%$. Deste modo, o preço da madeira foi a variável que mais influenciou na distância de transporte.

Ao utilizar técnicas de análise de investimentos como VPL e TIR, Savi *et al.* (2012) mensuraram a viabilidade econômica de tipos de veículos que podem ser utilizados na remoção e transporte de toras, especialmente na região de Itapeva (SP). Ao fim do estudo, tanto o veículo simples, quanto o articulado e o combinado operavam com prejuízo econômico, em virtude de os custos serem superiores às receitas.

Seixas e Widmer (1993) testaram técnicas de programação linear não inteira para solução de problemas de transporte com múltiplas origens e um único destino, concluindo que os veículos pesados do tipo treminhão e rodotrem foram mais adequados na minimização dos custos de transporte.

O longo prazo do horizonte de planejamento deve também contemplar uma linearização da quantidade de veículos, volume e distância de forma que haja máxima utilização dos recursos disponíveis, sem as flutuações indesejáveis. A Cenibra desenvolveu algumas ferramentas para o processo de gestão de logística baseados no planejamento técnico, econômico, ambiental, social, de saúde e segurança; no sistema de monitoramento de frota; no controle de combustíveis dos veículos; no monitoramento da relação de peso-volume; e na melhoria das condições de trafegabilidade das estradas (CASTILHO, 2012).

As combinações veiculares de carga, que normalmente apresentam o menor custo por unidade transportada, são as que conseguem carregar maior quantidade de carga, mas cada qual apresenta restrições operacionais ligadas ao tipo de pavimento e à rampa máxima que conseguem vencer, tanto vazio como carregado, as quais limitam sua utilização em certas condições (MALINOVSKI, 2010).

Considerando que a velocidade incompatível está associada à maioria dos acidentes graves, são adotados os seguintes limites de velocidade para veículos de transporte de madeira, como o rodotrem e a carreta, a velocidade máxima de 80,0 km/h com a pista seca em rodovias asfaltadas; 60,0 km/h com a pista molhada em rodovias asfaltadas; e 30,0 km/h com as estradas não asfaltadas ou com o carregamento no campo (FIBRIA, 2012).

2.4.2 Consumo de combustível

Com o aumento nos custos dos combustíveis é fundamental atuar em medidas que envolvam o planejamento e controle do consumo nas atividades com elevado consumo de combustíveis, como o transporte de madeira e nos fatores que possibilitam eficiência do transporte (SILVEIRA *et al.*, 2004).

Os defeitos e as irregularidades na condição da superfície impactam diretamente os custos operacionais, em virtude dos maiores gastos com a manutenção dos veículos, com consumo de combustível e pneus, elevação dos tempos de viagem, entre outros (CNT, 2014).

Uma boa manutenção do veículo possibilita melhor consumo: quanto maior for o cuidado com o veículo, mais estável será seu funcionamento, gerando benefícios no consumo e nas emissões (SILVEIRA, 2003).

Foram identificadas reduções no consumo de combustível e tempo de viagem nas viagens realizadas do transporte rodoviário e melhoria da eficiência energética observada nas viagens quando se optou por estradas com rotas de melhores condições de pavimentação (BARTHOLOMEU e CAIXETA FILHO, 2008).

Alguns estudos foram conduzidos no intuito de conhecer a variação do consumo de combustível dos veículos utilizados no transporte rodoviário florestal, segundo Klvac *et al.* (2013), Holzleitner e Kanzian (2011) e Silveira *et al.* (2004).

Klvac *et al.* (2013) estudaram o consumo de combustível no transporte rodoviário de madeira na República Tcheca para caminhões das marcas Iveco, Tatra e Mercedes Benz, com o objetivo de estabelecer o efeito entre a distância de transporte e o consumo total de combustível, encontrando consumo de combustível dos veículos correspondentes a 66,7, 72,3 e 58,3 l/100 km, respectivamente para cada marca dos veículos.

Para caracterizar o transporte rodoviário de madeira no sul da Áustria, utilizando seis carretas, com a finalidade de fornecer matéria prima para uma serraria, Holzleitner e Kanzian (2011) verificaram que ao percorrer uma distância média de 51 km (14,2% correspondentes a estradas não pavimentadas), a uma velocidade média de 13,5 km/h, houve consumo médio de combustível do veículo de 0,77 l/km (0,32 l/km para viagem vazio e 1,02 l/km para viagem carregado).

O consumo de combustível do transporte rodoviário florestal foi analisado por Silveira *et al.* (2004) utilizando como ferramenta de controle logístico o computador de bordo para marcha lenta, excesso de rotação e ponto neutro. A marcha neutra foi a maior responsável pelo desperdício de combustível, seguida do ponto neutro e do excesso de rotação do transporte de madeira.

No Brasil, os trabalhos que tratam do consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário florestal se baseiam na estimativa do consumo médio dos veículos e preço do combustível naquele momento, como nos estudos de Alves *et al.* (2013), Morais (2012) e Freitas *et al.* (2004).

Para analisar os fatores de custos do transporte de madeira com diferentes composições de carga, na região do Vale do Rio Doce (MG), Alves *et al.* (2013) reuniram os custos variáveis de combustível pela relação entre o preço do litro de combustível e o consumo médio do veículo (1,2 km/l), concluindo que o maior custo de madeira posto na fábrica ocorreu na região de maior distância de transporte e a utilização do tritrem como veículo apresentou o menor custo de transporte rodoviário florestal.

Para avaliar a verticalização e terceirização da colheita e transporte florestal, Morais (2012) calculou o custo de combustível do bitrem e tritrem utilizando uma estimativa que considerava a distância média de transporte (km), o número de ciclos, o valor do litro de combustíveis (R\$/l) e o consumo médio (km/l), concluindo que a gestão terceirizada conduzia a níveis mais elevados de custos, visto que além de incluir a margem de lucro da empresa contratada, implicava em uma soma de tributos maiores do que na estrutura verticalizada.

Freitas *et al.* (2004) compararam metodologias utilizadas para o cálculo do custo operacional de veículos de transporte florestal. O método de estimativa da FAO América do Norte, em virtude da maior proximidade com o custo real, apresentou-se como o mais adequado para o caso em estudo.

2.4.3 Viagem vazio e carregado

As características de especificidade de carga do transporte rodoviário florestal e exclusividade de frete possibilitam ao veículo operar carregado somente em um único sentido, fazendo com que os custos se tornem maiores por unidade de volume (MACHADO *et al.*, 2009).

A movimentação de veículos vazios não contribui diretamente para o lucro da empresa, mas é essencial para a continuidade das operações e manutenção do nível de serviço. A distribuição de veículos vazios para balancear a oferta e a demanda em períodos futuros é um componente central do planejamento, constituindo-se num dos maiores desafios para o gerenciamento da frota (VASCO, 2012).

Em um estudo relativo ao transporte de múltiplos produtos florestais, Arce (1997) minimizou os custos de transporte correspondente à viagem carregada com madeira dos veículos rodoviários florestais aplicando o algoritmo do modelo de transporte indicando a quantidade ótima de cada produto florestal que deveriam ser transportadas desde cada ponto de produção até cada cliente.

Este mesmo autor utilizando o algoritmo de designação dos veículos (programação dinâmica) minimizou os tempos de viagem vazia dos veículos e espera em filas nos pontos de produção e/ou nos clientes.

Para um estudo do ciclo operacional de transporte rodoviário da Cenibra no Estado de Minas Gerais os elementos que consumiram maior parte do tempo total foram a viagem com carga, seguida pela viagem vazia, da carga e descarga. Sendo diretamente influenciados pela distância de transporte (LEITE *et al.*, 1993).

Os estudos relativos ao transporte rodoviário florestal procuram caracterizar, através de estudos de tempos e movimentos, a porcentagem da duração das operações de viagem carregado e vazio, como nos trabalhos de Alves *et al.* (2013), Holzleitner e Kaznian (2011), Nurminen e Heinonen (2007) e Lacowicz *et al.* (2002).

Realizou-se um estudo de tempos e movimentos do ciclo operacional de transporte da operação de carregamento e descarregamento de madeira com diferentes composições veiculares de carga, para região de Nova Era, MG. A viagem carregado correspondeu a 47,9% e a viagem vazio a 30,8% do ciclo operacional do transporte (ALVES *et al.*, 2013).

Com o intuito de minimização dos custos de transporte no Planalto Norte catarinense contabilizou-se o tempo médio do ciclo de transporte, com 34,1% de viagem carregado e 25,7% de viagem vazio (LACOWICZ *et al.*, 2002). A viagem também foi estudada por Holzleitner e Kaznian (2011) para analisar a duração e consumo de combustível do transporte rodoviário de madeira com a utilização de um computador de bordo, sendo transcorridos 60% do ciclo operacional para transporte vazio e carregado (30% cada).

Contabilizando os tempos de viagem carregado e vazio do transporte rodoviário de madeira na Finlândia as etapas de viagem carregado (33%) e viagem vazio (19%) consumiram a metade do ciclo operacional total (NURMINEN e HEINONEN, 2007).

2.4.4 Carregamento e descarregamento

Os tempos de carregamento e descarregamento são aqueles despendidos em espera, pesagem, conferência, emissão de documentos e nas atribuições de carga e descarga propriamente ditas (MACHADO *et al.*, 2009).

O carregamento refere-se à operação em que a madeira é colocada no veículo de transporte, sendo o meio de ligação entre a extração e o transporte principal, podendo ser realizada de forma manual ou mecanizada, utilizado pelas empresas devido à sua elevada eficiência operacional (MINETTE *et al.*, 2008).

Variando de acordo com o sistema de colheita empregado o carregamento do veículo pode acontecer: na área de corte para baldeio; na área predeterminada ou em pátios, para transporte em longas distâncias; e diretamente na área de corte para o veículo que faz o transporte em longa distância (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

O descarregamento é a retirada da madeira do veículo no local da utilização final ou no pátio de transbordo. Este é o elo entre o transporte principal e o destino final da madeira (MINETTE *et al.*, 2008).

Os tempos de carregamento e descarregamento são à base dos custos terminais, tornando-se altamente expressivos quando o transporte é efetuado em pequenas distâncias, com maior número de operações de carga e descarga, e menos expressivos em grandes distâncias (MALINOVSKI, 2010).

A seleção da máquina para carregamento e descarregamento depende do comprimento das toras, massa específica da madeira, fator de empilhamento, capacidade da grua, volume do feixe, grau de eficiência do operador e da máquina, organização da madeira, tempo do ciclo de grua e disponibilidade de veículos para carga e descarga (MINETTE *et al.*, 2008).

A redução do tempo de carregamento e descarregamento dos veículos ocasiona diminuição nas horas efetivas de viagens desses e aumento na quantidade de madeira transportada por unidades de tempo (MACHADO *et al.*, 2009).

Uma medida para otimização do transporte florestal é a determinação do peso da carga na área florestal, para cumprimento da legislação vigente, oferecer segurança no trânsito, maior conservação e redução dos custos de manutenção das estradas (LOPES *et al.*, 2006).

Além da distância de transporte Lacowicz (2000) apontou o tempo de carga, descarga e fila de espera dos veículos florestais como fatores que afetam o transporte florestal, estando compreendido o custo da hora parada, onde incide apenas o custo fixo do veículo.

Um sistema de pesagem acoplado ao carregamento de madeira foi testado por Lopes *et al.* (2006) no intuito de comparar sua eficiência com as leituras efetuadas pela balança da fábrica. Mesmo tendo um aumento da duração do carregamento, não houve diferença entre as medidas coletadas, mostrando a eficiência do equipamento.

Nos estudos de tempos e movimentos, a porcentagem da duração das operações de carregamento e descarregamentos é comparada com a duração do ciclo operacional total do transporte rodoviário florestal, como nos estudos de Holzleitner e Kaznian (2011), Nurminen e Heinonen (2007) e Lacowicz *et al.* (2002).

No estudo de Holzleitner e Kaznian (2011), as fases de carregamento e descarregamento corresponderam, respectivamente, a 21,0% e 7,0% do ciclo operacional do transporte rodoviário de madeira na Áustria. O carregamento do transporte rodoviário de madeira na Finlândia levou 21,0% do ciclo operacional e o descarregamento equivaleu a 16,0% do total de transporte (NURMINEN e HEINONEN, 2007). Para Lacowicz *et al.* (2002), a fase de carregamento ocupou 14,7% e o descarregamento 4,4% do ciclo operacional de transporte rodoviário florestal na Irlanda.

2.4.5 Tempos improdutivos e filas

Tanto o tempo de espera para o carregamento quanto descarregamento demonstraram um gargalo sério na operação, principalmente na programação da saída dos veículos pela equipe de logística. Um estudo de tempos e movimentos sobre o transporte rodoviário florestal, com diferentes composições veiculares em localidades do Vale do Rio Doce (MG), determinou que a espera dos veículos para carregamento correspondeu a 7,1%, com número médio de sete veículos. Analisando o descarregamento dos veículos na fábrica, encontrou uma espera equivalente a 19,5% do tempo total desta operação, sendo que o tempo médio de esperas foi de 0,2 h, chegando até 0,7 h (ALVES, 2011).

Analisando o tempo médio do ciclo de transporte, Lacowicz *et al.* (2002), ao minimizar os períodos de espera em filas por meio da utilização da técnica de programação linear, determinaram que ao invés de 35 seriam necessários 23 veículos, sendo subdividida a atividade em viagem de ida (25,7%) volta (34,1%), carregamento (14,7%) descarregamento (4,4%), fila para carga (8,8%) fila para descarga (2,6%) e outros (9,7%).

Marques *et al.* (1995) utilizaram a técnica de PERT/CPM (Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method) para o planejamento das atividades do transporte florestal rodoviário com caminhões. Observando seus resultados, houve um aumento do tempo efetivo de trabalho de 7,9 para 8,1 h e reduziram-se os tempos de espera das operações de carga, recarga, medição e abastecimento, ou seja, houve redução dos tempos de interrupções de 3,3 para 2,1 h, com tempo total do ciclo diminuindo de 11,2 para 10,2 h.

Para Lacowicz *et al.* (2002) houve espera em fila para carregamento de 8,8% do ciclo operacional de transporte rodoviário florestal, e para descarregar foi preciso esperar menos tempo (2,6%), havendo ainda desperdício de 9,7% para outras ocorrências.

A espera para entrada na indústria na Áustria para efetuar a atividade de descarregamento da madeira correspondeu a 7,0% do ciclo operacional de transporte (HOLZLEITNER e KAZNIAN, 2011).

Arce (1997) reduziu o tempo perdido em filas e ociosidade de cada caminhão da frota por meio do algoritmo de designação dos caminhões.

2.5 LEGISLAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

No Brasil, as normas de trânsito são ditadas pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o novo Código Nacional de Trânsito. As vias rurais são divididas em rodovias e estradas, sendo indicada a velocidade permitida para o trânsito dos veículos nestas vias. Onde não existir sinalização regulamentadora, a velocidade máxima nas rodovias rurais será de 80,0 km/h e nas estradas rurais de 60,0 km para veículos de carga. A velocidade mínima não poderá ser inferior à metade da velocidade máxima estabelecida, respeitadas as condições operacionais de trânsito e da via.

A “Lei da Balança” constitui-se em um conjunto de artigos extraídos do Código de Trânsito Brasileiro e das resoluções do CONTRAN que influem diretamente nas limitações das dimensões, número de unidades e pesos dos veículos de cargas e passageiros nas estradas brasileiras.

No transporte rodoviário florestal, são utilizados veículos pesados e extrapesados. Desta forma, é necessário seguir as limitações de dimensões e pesos dos veículos e dimensões dos pneus da Autorização Especial de Trânsito (AET) (MACHADO *et al.*, 2009).

A AET fornecida pelo órgão executivo rodoviário da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal é necessária para o trânsito de veículos com PBTC superior a 57,0 t e até 74,0 t, tendo validade pelo prazo máximo de um ano para os percursos e horários previamente aprovados e fornecidos após vistoria técnica da CVC (RESOLUÇÃO Nº211, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006).

A Resolução nº 12/98 estabeleceu que o peso por eixo isolado com dois pneus dianteiros corresponde a 6,0 t, 10,0 t para eixo isolado com 4 pneus, 17,0 t para conjuntos de dois eixos em tandem, 13,5 t para conjunto de dois eixos em tandem (sendo um com apenas dois pneus), 15,0 t para conjuntos de dois eixos não em tandem e 25,5 t para conjuntos de três eixos em tandem.

Os veículos que transitarem com excesso de carga (admitidos os percentuais de tolerância quando aferido por equipamento) ou excederem a capacidade máxima de tração somente poderão prosseguir viagem depois de descarregar o que exceder os limites legais de eixo e PBT (Lei nº 9.503).

A Resolução 68/98 estabelece que a Combinação de Veículos de Carga (CVC) não poderá possuir Peso Bruto Total Combinado (PBTC) superior a 74 toneladas e seu comprimento não poderá ultrapassar 30 metros. O trânsito de Combinações de Veículos de que trata esta Resolução deverá acontecer do amanhecer ao pôr do sol com velocidade máxima de 80 km/h.

O transporte, nas vias públicas, de toras e de madeira bruta, mesmo que descascadas, deve obedecer aos requisitos de segurança fixados na Resolução 246, de 27 de julho de 2007. Nesta resolução, tora equivale à madeira bruta com comprimento superior a 2,50 m.

Para o transporte de toras dispostas verticalmente, deve-se utilizar: painéis dianteiro e traseiro na carroçaria do veículo, com toras acima de oito metros de comprimento; escoras laterais metálicas, perpendiculares ao plano do assoalho da carroçaria do veículo (fueiros), sendo necessárias no mínimo duas escoras de cada lado e cabo de aço ou cintas de poliéster, com capacidade mínima de ruptura à tração de 3.000 kgf tensionadas por sistema pneumático auto-ajustável ou catracas fixadas na carroçaria do veículo (RESOLUÇÃO 246).

A jornada diária de trabalho do motorista profissional será a estabelecida na Constituição Federal ou mediante instrumentos de acordos ou convenção coletiva de trabalho. Será assegurado ao motorista profissional intervalo mínimo de uma hora para refeição, além de intervalo de repouso diário de 11 h a cada 24 h e descanso semanal de 35 h. As horas relativas ao período do tempo de espera serão indenizadas com base no salário-hora normal acrescido de 30% (LEI Nº 12.619, DE 30 DE ABRIL DE 2012).

É proibida a remuneração do motorista em função da distância percorrida, do tempo de viagem e/ou da natureza e quantidade de produtos transportados, inclusive mediante oferta de comissão ou qualquer outro tipo de vantagem, se essa remuneração ou comissionamento comprometer a segurança rodoviária ou da coletividade ou ensejar violação das normas da presente legislação (LEI Nº 12.619, DE 30 DE ABRIL DE 2012).

2.6 REDE VIÁRIA FLORESTAL

A estrada é uma faixa de terreno sistematizada utilizada para a circulação de veículos automotores, possuindo características que dependem da sua utilização, localização, condições do terreno, bem como os próprios recursos financeiros empregados. A rede viária florestal é o conjunto de estradas construídas e mantidas por meio de um planejamento detalhado, com o objetivo de permitir a retirada de madeira do interior da floresta (QUADROS, 2004).

A rede viária florestal abrange um tipo de empreendimento que deve atender aos aspectos sociais, apresentando exequibilidade técnica, definida por meio do melhor traçado com o menor custo de implantação e manutenção, com vistas à redução dos efeitos danosos ao ambiente (CORRÊA *et al.*, 2006).

A malha rodoviária brasileira tem uma extensão de 1.713.885 km distribuídos conforme a jurisdição da seguinte forma: 32,1% de rodovias federais, 54,7% de rodovias estaduais e 13,2% de rodovias municipais (CNT, 2013).

As estradas pavimentadas ainda apresentam alguma deficiência no pavimento, na sinalização ou na geometria da via. Este cenário compromete a qualidade e a segurança dos fluxos de carga e de pessoas, restringindo a integração com os demais modais e gerando custos operacionais elevados – em razão de problemas mecânicos que ocorrem nos veículos, principalmente nos de carga (CNT, 2013).

A disponibilidade de infraestrutura rodoviária pavimentada no Brasil ainda é reduzida, comparativamente a países de grandes dimensões (Rússia, Estados Unidos, China, Canadá e Austrália). A densidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil é a menor entre estes países: 23,8 km de infraestrutura para cada 1.000 km² de área (CNT, 2013) (FIGURA 5).

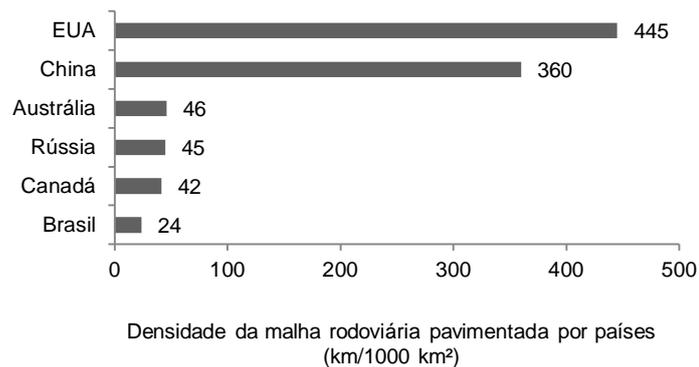


FIGURA 5 – DENSIDADE DA MALHA RODOVIÁRIA PAVIMENTADA EM DIFERENTES PAÍSES.

Fonte: CNT (2013).

As estradas são utilizadas desde a abertura da área para o preparo do solo, servindo de acesso aos povoadamentos para as operações de manejo e proteção florestal, assumindo papel de destaque durante a colheita e transporte de madeira (CORRÊA, 2005).

Sendo assim, é comum fazer um planejamento global da rede viária em duas etapas: a primeira por ocasião da implantação e a segunda, chamada de complementar, por ocasião da colheita florestal. É importante fixar também os locais destinados à estocagem de madeira (pátios de estocagem, estaleiros, pátios de desdobro, entre outros), os quais devem ter condições de receber toda a madeira oriunda dos locais de exploração e possibilitar acessos aos meios de transporte (MALINOVSKI e PERDONCINI, 1990).

O padrão das estradas florestais define o tipo dos meios de produção a ser utilizados no transporte florestal. Categorias inferiores de estradas refletem na utilização de veículos de baixa tonelagem, altos custos de manutenção da frota e sazonalidade de operações (MALINOVSKI e PERDONCINI, 1990).

Oliveira *et al.* (2013a) e Oliveira *et al.* (2013b) realizaram uma análise de processo hierárquico com base nos defeitos das estradas florestais de Minas Gerais e verificaram que 42,5% delas estavam em boas condições, sendo os principais problemas a secção transversal inadequada e drenagem lateral imprópria.

Dentre outros parâmetros a serem considerados durante a construção de estradas, tem-se a estimativa da densidade ótima de estradas, fator determinante na composição dos custos do empreendimento, pois, quanto maior for a densidade de estradas, maiores serão os custos de construção e manutenção, tendo como consequência a redução da área produtiva (CORREA *et al.*, 2006).

Em um estudo onde analisando a densidade ótima de estradas em condições de relevo plano com floresta de *Pinus taeda*, baseando-se nos custos de estradas de uso florestal, extração de madeira com *skidder* e custos de perda de área produtiva, Zagonel *et al.* (2008) encontraram uma densidade ótima de estradas para duas fazendas, sendo respectivamente, 30,5 m/ha e 25,5 m/ha.

Comparando a densidade de estradas em diversas propriedades rurais com plantios de eucalipto com a densidade ótima calculada para estes povoamentos em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo, Carmo *et al.* (2013) concluíram que as áreas possuíam densidade de estradas muito acima do ótimo recomendado, mostrando a falta de conhecimentos e critérios no planejamento e aproveitamento dos plantios.

2.7 CUSTOS

No ambiente empresarial é preciso ficar atento às diferenças entre os conceitos de gastos, custos e despesas. Gasto significa o sacrifício financeiro arcado pela empresa para obtenção de um produto ou serviço. Custo está diretamente relacionado à execução efetiva de um serviço. E despesa existe quando se torna necessário separar de suas receitas uma porcentagem para cobrir comissões ou quaisquer gastos diretos (NOVAES, 2010).

O setor florestal, que possuía concessões protecionistas até a década de 70, como subsídios e incentivos governamentais que lhes permitiam repassar todos os custos ao cliente, se encontra hoje em um ambiente exigente de eficiência no fornecimento de novos serviços e de produtos com características mais inovadoras. Mediante tantos desafios, os administradores florestais começaram a se voltar para as informações de custo, confrontando os dados da contabilidade, fundamentais para tomada de decisões gerenciais com as suas necessidades de monitorar a

evolução em direção às metas estabelecidas e atentar para situações de investimentos futuros (ALMEIDA e BRUNSTEIN, 1999).

Os custos podem ser classificados em fixos e variáveis. Os custos fixos são custos estruturais que ocorrem período após período. É a parte da despesa que não é afetada pelo nível de produção. Os custos variáveis são aqueles que se alteram de acordo com o volume de atividade, exemplo: gastos com matérias primas, material e componentes necessários para produção de bens e serviços (combustíveis, pneus, mão de obra utilizada na manutenção). Todos os custos que ocorrem independentemente do uso do veículo são considerados fixos, ao passo que os variáveis em função da distância percorrida são denominados custos variáveis. Os principais itens de custo são: depreciação do veículo, remuneração do capital (custo do capital imobilizado), motorista e encargos, seguro do veículo, IPVA e seguros obrigatórios, custos administrativos, combustível; pneus, lubrificantes, manutenção e pedágios (MACHADO *et al.*, 2009).

Braga *et al.* (2011) estudaram os custos de transporte utilizando bitrem e concluíram que o custo rodoviário é formado, em grande parte, por variáveis representadas por despesas com combustíveis, lubrificantes, filtros, manutenção, pedágios e conjunto de rodagem.

Quando os pátios de estocagem ou estaleiros estão situados em locais de difícil acesso aos veículos de alta tonelagem e as distâncias de transporte são elevadas, é comum se utilizar de entrepostos. Porém, aumenta-se o custo da madeira na medida em que haja mais manipulações (cargas e descargas) (MALINOVSKI e PERDONCINI, 1990).

Estimativas indicam que cerca de R\$ 118 bilhões de excesso de estoque são mantidos pelas empresas brasileiras ao longo das cadeias produtivas como forma de se proteger das ineficiências do transporte, consequência de atrasos, acidentes e roubos de carga. Um setor de transporte mais confiável e eficiente poderia diminuir sobremaneira este valor, liberando recursos da ordem de bilhões de reais que poderiam ser reinvestidos em atividades produtivas (CNT; COPPEAD, s.d.).

Klan *et al.* (2010) enumeraram alguns fatores que podem determinar variações significativas nos custos ou em sua composição. No caso do transporte rodoviário de cargas, tem-se: quilometragem percorrida - quanto maior for a distância de transporte, menor será o custo final por quilômetro; tipo de tráfego - em

áreas urbanas, o veículo consome mais combustível; tipo de via - as condições da rodovia influenciam o desempenho dos veículos de transporte e os custos; região - variações no valor dos salários, combustíveis, impostos, dentre outros; porte do veículo - quanto maior for a capacidade de carga do veículo, menor será o custo da tonelada transportada por quilômetro, além de desequilíbrio nos fluxos - quando não há carga de retorno, ocorre aumento no custo do transporte.

Estudando os impactos econômicos do transporte rodoviário florestal utilizando o rodotrem na Noruega para madeira em toras, Tromborg *et al.* (2009) comprovaram que a maior quantidade de madeira transportada só era possível se não houvesse gargalos nas estradas, como, por exemplo, pontes que permitam a utilização de veículos com mais de 50,0 t de carga. Quanto maior for a velocidade média de transporte por hora, menor será o custo de transporte.

O preço de equilíbrio de mercado para a operação de determinado serviço de transporte de carga é normalmente conhecido como frete. Além da distância percorrida, já citada como influente no estabelecimento do preço do frete, Corrêa Junior *et al.* (2010) indicaram outras variáveis, como os custos operacionais, a possibilidade de carga de retorno, a carga e descarga, a sazonalidade da demanda por transporte, a especificidade da carga transportada e do veículo utilizado, as perdas e avarias, as vias utilizáveis, os pedágios e fiscalização, o prazo de entrega e os aspectos geográficos.

A qualidade de serviço é determinada pela capacidade produtiva alocada à produção. Um mercado competitivo de serviços de transporte faz com que os usuários paguem tarifas maiores para os serviços de melhor qualidade, expressos por menor tempo e variabilidade no tempo de entrega ou menor possibilidade de dano, menores riscos de atrasos e ocorrências imprevistas e com maiores probabilidades de o transportador encontrar frete de retorno ou equivalente (CASTRO, 2003).

Em suma, não basta produzir ao menor custo: os custos de transporte interferem nos custos da comercialização do produto podendo por isso reverter uma vantagem tanto absoluta quanto relativa de custos. Então, além de produzir ao menor custo, a região tem que distribuir a um custo compativelmente baixo para alcançar a condição que lhe assegurará a especialização produtiva, possibilitada por maior escala de produção, que se verterá a toda a sociedade na forma de bem-

estar, resultante da dedicação ao ato de produção com maior produtividade e consumo de outros produtos a menor preço (MARTINS e CAIXETA FILHO, 1998).

2.8 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS EMPREENDIMENTOS

A localização de um projeto é a situação espacial da parte física do investimento, não existindo, entretanto, uma solução científica para determinar sua melhor localização, mas somente uma solução prática, mediante comparações entre as variáveis disponíveis. Dentre os fatores a serem considerados na localização das atividades econômicas, destacam-se: oferta e demanda de produtos e insumos, custo de transporte, custo e produtividade das terras, distribuição da população, sistemas de formação de preços, mão de obra, condições climáticas, facilidade de acesso e comunicação e políticas governamentais (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

A elevada participação dos custos do transporte principal no produto final é explicada pelas diferenças entre volume, peso e forma da matéria prima e dos produtos finais, juntamente com o baixo valor unitário da madeira (SOUSA, 2000).

As empresas normalmente possuem várias unidades de produção de madeira em regiões rurais, nem sempre próximas das indústrias de transformação. Além disso, convivem com diversas restrições ligadas às condições de estradas, comunidades, legislação, pessoal operacional, carregamento e descarregamento, condições meteorológicas, tipos de combinações de veículos de carga utilizados e prestadores de serviços. Devido a esse extenso número de variáveis, as empresas florestais têm dificuldades em planejar o transporte de matérias primas das áreas de produção para as indústrias de forma contínua e programada (COSTA, 2012).

Em relação ao abastecimento de madeira, a tendência é que as indústrias se situem próximas dos seus consumidores, caso os custos de transporte do produto final sejam superiores aos custos de transporte da matéria prima (madeira) (MACHADO *et al.*, 2009).

As florestas dispostas em um raio de distância próximo às fábricas evitam a manutenção de estoques e o corte antecipado, bem como possibilitam redução dos custos de transporte (BUAINAIN e BATALHA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em uma empresa florestal, localizada no município de Piên, Paraná. Os dados foram coletados na operação do transporte rodoviário florestal, contemplando o trecho localizado entre as regiões de Campo do Tenente (planta florestal) e Piên (planta industrial) (FIGURA 6).

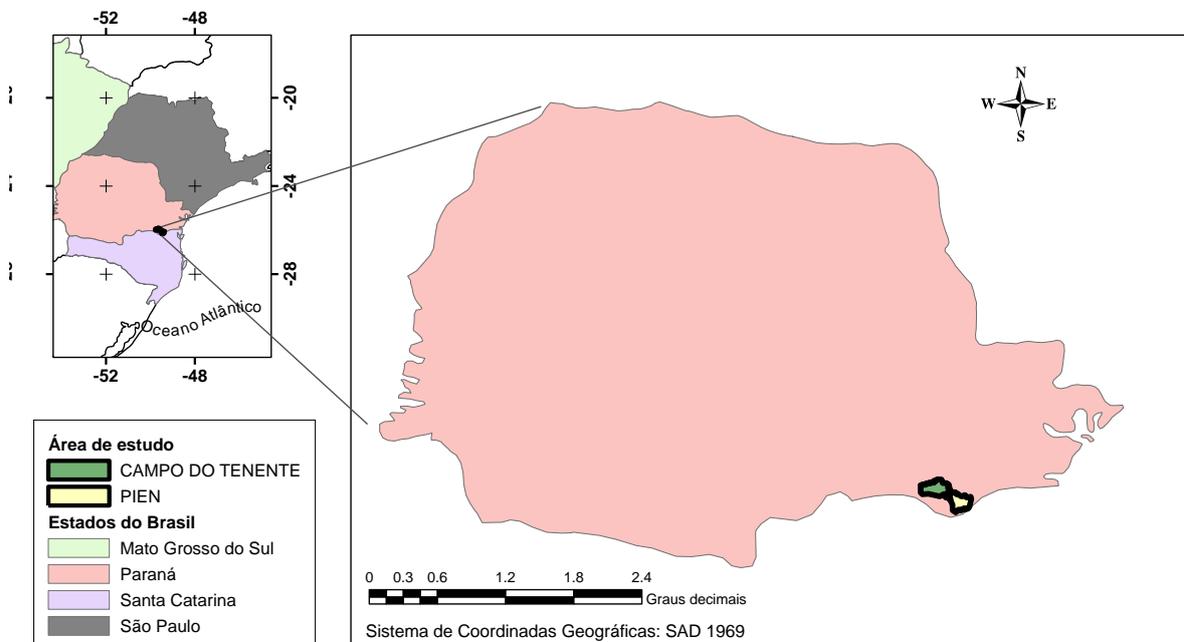


FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DAS REGIÕES DE CAMPO DO TENENTE (PLANTA FLORESTAL) E PIÊN (PLANTA INDUSTRIAL).

Fonte: o autor.

A FIGURA 7 mostra as rotas utilizadas no transporte rodoviário florestal.

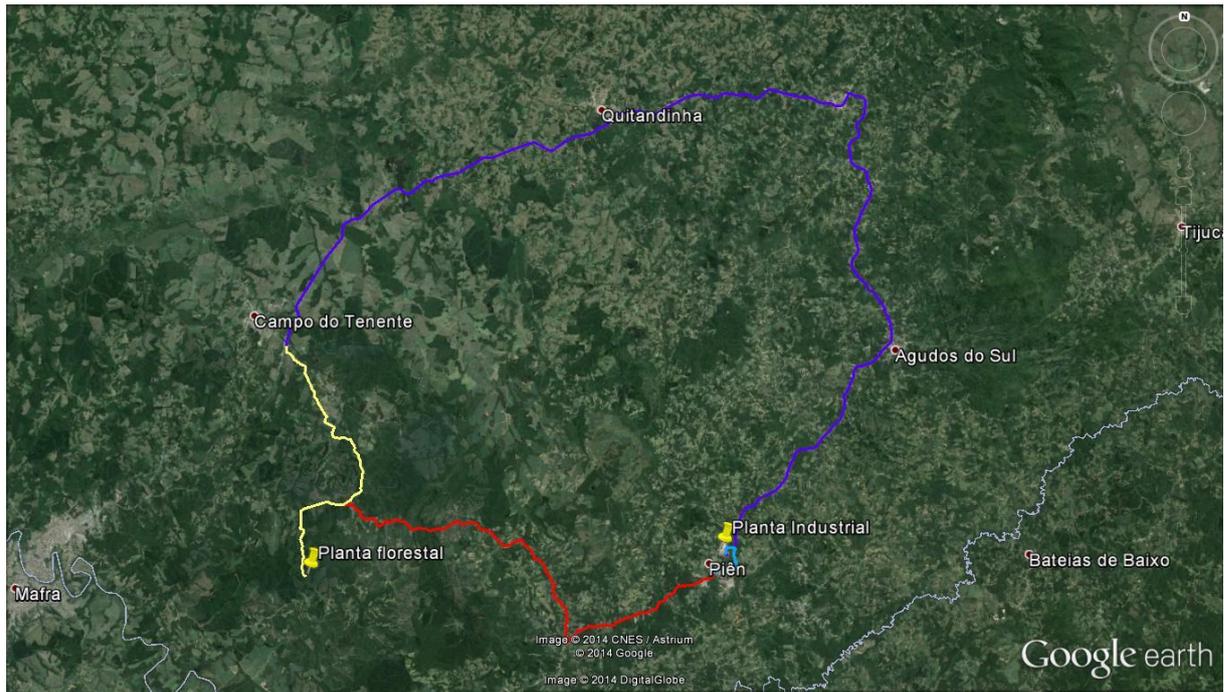


FIGURA 7 – ROTAS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

Fonte: GOOGLE EARTH-MAPAS (2014).

O percurso entre Piên (planta industrial) e Campo do Tenente (planta florestal) era realizado pelos veículos de transporte utilizando-se duas rotas. A primeira, equivalente à viagem dos veículos carregados, ocorria em um percurso de 89,3 km, dos quais 3,1% possuíam estradas pavimentados (asfaltadas), caracterizadas pelo traçado em roxo e amarelo. A segunda rota era utilizada pelos veículos na viagem vazio, em um percurso de 44,1 km, no qual 7,7% da rota possuíam pavimentação com asfalto, caracterizada pelo percurso em amarelo e vermelho. A rota percorrida pelos veículos caracterizada pela cor azul refere-se ao trecho de estradas que possuíam revestimentos asfálticos (3,5 km).

Na TABELA 2, é indicado o perfil de elevação das rotas utilizadas.

TABELA 2 – PERFIL DE ELEVAÇÃO DAS ROTAS UTILIZADAS.

	Distância (km)	Altitude (m)		Inclinação Máxima (%)	
		Menor	Maior	Aclive	Declive
Percurso azul	3,4	826,0	857,0	10,4	10,4
Percurso roxo	71,6	805,0	929,0	10,0	16,6
Percurso amarelo	17,9	806,0	914,0	28,0	21,3
Percurso vermelho	34,2	812,0	921,0	16,8	9,0

As áreas da região de Campo do Tenente estão inseridas no primeiro e segundo Planalto Paranaense, na porção Sul-Sudeste do Estado do Paraná; inseridas nas bacias hidrográficas do Iguaçu, Tibagi e Ribeira. Os solos são de baixa fertilidade natural, baixa profundidade, onde existe a predominância de Cambissolos associados com Argissolos e Latossolos.

Piên se encontra no Primeiro Planalto Paranaense. As características geomorfológicas da região de Piên são divididas em duas partes: a primeira é formada pelas escarpas que se estendem a oeste do município e a segunda está diretamente ligada à geologia e ao recorte do terreno pela rede hidrográfica, com predominância de terrenos acidentados, com áreas planas e levemente onduladas. Os principais rios em volume de água são: Rio Piên e Rio Poço Frio.

O clima, de acordo com a classificação climática de Köeppen, é Cfb, ou seja, clima temperado, temperatura média no mês mais frio de 18° C (mesotérmico), com geadas, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente de 22° C e sem estação seca definida. A vegetação na região está inserida predominantemente em área de campos naturais e Floresta Ombrófila Mista.

Os dados meteorológicos para 2012 e 2013 são apresentados na FIGURA 8.

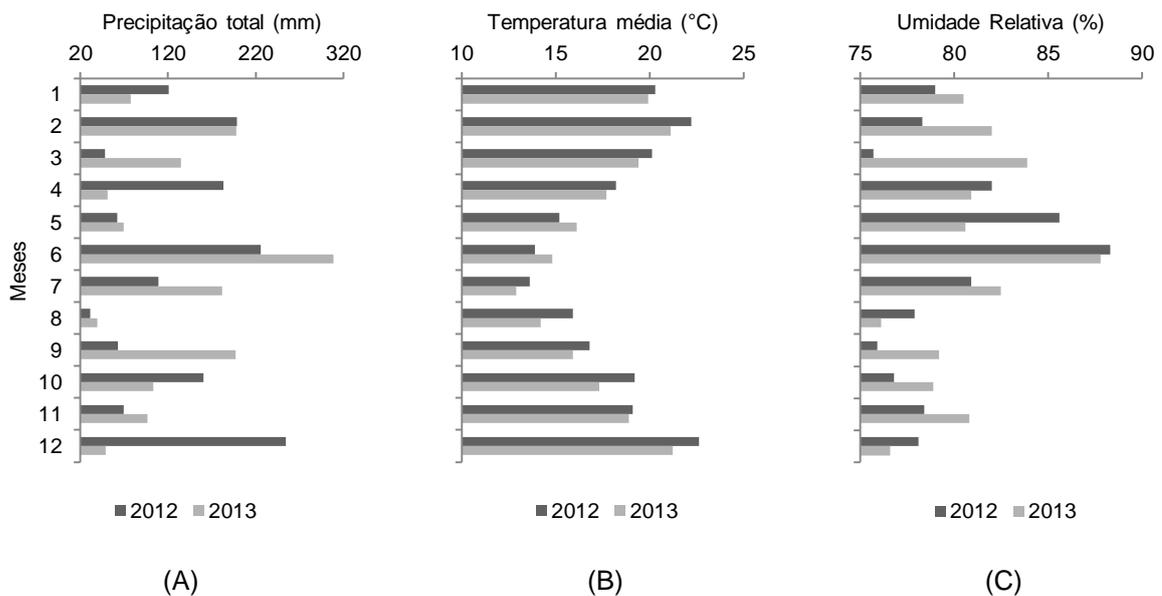


FIGURA 8 – DADOS METEOROLÓGICOS.

Em que: (A) precipitação total (mm); (B) temperatura média (°C); e (C) umidade relativa (%).

Fonte: INMET (2014).

Em relação à precipitação total para o período de coleta, houve precipitação média de 151,8 mm. Com isso, a umidade relativa média para o período de coleta esteve em torno de 80,0%. A temperatura média para 2012 e 2013 foi semelhante, sendo, respectivamente de 18,1 e de 17,4° C. Para o período de coleta dos dados, a temperatura média foi de 20,4°C.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA FLORESTAL

Na empresa, é plantado o gênero *Pinus*, com destaque para espécie *Pinus taeda*. O manejo florestal visa principalmente ao fornecimento de madeira de processo para consumo da indústria e toras para venda ao mercado regional. Os principais produtos fabricados são os painéis e revestimentos em PBO e MDF, bem como resinas.

Desta forma, a estratégia de manejo é um plantio inicial de 1.600 árvores/hectare e corte raso aos 15 anos, com produtividade média estimada nesta idade de 40 m³cc/ha/ano em plantios que não foram submetidos a desbastes.

A colheita florestal consiste nas atividades de corte das árvores e extração da madeira até a margem das estradas. O sistema de colheita utilizado na região de Campo do Tenente era o sistema de toras curtas (*cut-to-length*), com uso do *harvester* na derrubada e processamento e *forwarder* na extração das toras.

A empresa florestal utilizava o sistema de colheita a frio para madeira de processo, esta permanecendo por três meses empilhada antes de ser transportada, formando estoques de madeira na floresta. Para uso no processo as toras eram extraídas com 2,6 m de comprimento, ao passo que para o mercado as toras eram extraídas com 1,80 a 4,05 m de comprimento, com variação de diâmetro, gerando diferentes sortimentos (TABELA 3).

TABELA 3 – PRINCIPAIS SORTIMENTOS E PRODUTOS GERADOS PELO MANEJO FLORESTAL.

Produtos	Classes de diâmetro (cm)
Madeira para processo	8 – 18
Toras finas	18 – 25
Toras médias	25 – 35
Laminação	Acima de 35

Fonte: o autor.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

Foram utilizados para o mesmo cavalo mecânico da marca Mercedes Benz dados referentes a um rodotrem e uma carreta. A FIGURA 9 ilustra o cavalo mecânico utilizado.



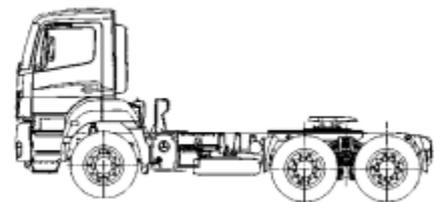
FIGURA 9 – CAVALO MECÂNICO UTILIZADO.

Fonte: Mercedes Benz (2012).

As especificações do cavalo mecânico são apresentadas na TABELA 4.

TABELA 4 – ESPECIFICAÇÕES DO CAVALO MECÂNICO

Cavalo mecânico equipado com dois eixos traseiros com uma composição denominada trucado, ano de fabricação 2012.



Cabine de condução	Leito baixo
Carga máxima no eixo simples	6 t
Carga máxima no conjugado de eixos em tandem duplo	17 t
Balanço dianteiro	1440 mm
Distância mínima do centro do eixo a carroçaria	900 mm
Distância entre eixos	3300 mm
Peso chassi com cabina no eixo dianteiro (kg)	4812
Peso chassi com cabina no eixo traseiro	3850
Peso chassi com cabine total	8662
Relação potência/ peso	40/25
Tração	6 x 2
Entre eixos x 100 (mm)	33
Sistema de freios	Pneumático a disco

Fonte: Diretrizes para montagem de carroçarias e equipamentos geral AXOR (2014) e Resolução nº 12/98.

As especificações das duas combinações veiculares de carga são apresentadas na TABELA 5.

TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES DAS DUAS COMPOSIÇÕES VEICULARES DE CARGA UTILIZADAS.

	Composição	Cavalo mecânico + semirreboque + reboque
	Carga máxima no conjunto de eixos em tandem triplo do semirreboque	25,5 t
Rodotrem	Carga máxima no eixo duplo traseiro e dianteiro	20,0 t
	PBTC	68,5 t
	PBTC + 5%	72,0 t
	AET	Necessita
	Período de coleta	17/10/2012 (5 h e 42 min) a 07/11/2012 (11 h e 22 min)
	Ciclos operacionais	22,0
	Composição	Cavalo mecânico + semirreboque
	Carga máxima no conjunto de eixos em tandem triplo do semirreboque	25,5 t
Carreta	PBTC	48,5 t
	PBTC + 5%	51,0 t
	AET	Necessita
	Período de coleta	07/11/2012 (22 h e 45 min) a 22/02/2013 (4 h e 24 min)
		Ciclos operacionais

Fonte: Resolução N° 12/98

O ciclo de transporte foi composto pelas seguintes fases: deslocamento interno e carregamento, viagem carregado, descarregamento e viagem vazio (TABELA 6).

TABELA 6 – ATIVIDADES CONSTITUINTES DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL

Atividades	Subatividades
Deslocamento interno e Carregamento	Chegada do veículo de transporte rodoviário florestal à guarita da planta florestal
	Deslocamento para o local de carregamento
	Carregamento propriamente dito
	Amarração da carga
	Deslocamento até a guarita da planta florestal
	Medição da carga (manual) e emissão de nota fiscal
Viagem carregado	Deslocamento do veículo de transporte rodoviário florestal desde a guarita da planta florestal até a portaria da planta industrial
Descarregamento	Etapa de Pré-registro, pesagem e volume
	Deslocamento para o local do descarregamento
	Retirada de cintas
	Descarregamento propriamente dito
	Limpeza da composição veicular de carga
	Deslocamento de volta para pesagem na balança e saída
Viagem vazio	Pesagem do veículo vazio
	Deslocamento do veículo do transporte rodoviário florestal descarregado desde a portaria da planta industrial até a guarita da planta florestal

Fonte: o autor.

O carregador florestal era composto por uma máquina base de escavadeira de acionamento hidráulico com esteiras da marca Caterpillar, modelo CAT 312D L, motor 3054C, potencia nominal de 90,0 HP, equipada com garra da marca *Timber Forest*, com área útil de 0,8 m² e alcance médio de 9,0 m.

O descarregador de madeira na fábrica era composto por uma máquina base de escavadeira de acionamento hidráulico com esteiras da marca *Volvo*, modelo EC210, potencia nominal de 143 HP, equipada com garra da marca J de Souza, com área útil de 1,35 m² e alcance médio de 10,8 m.

A FIGURA 10 ilustra as atividades do transporte rodoviário florestal.



FIGURA 10 – ATIVIDADES DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

Em que: (A) guarita da planta florestal; (B) estrada florestal; (C) carregamento; (D) amarração da carga com cinta; (E) medição da carga; (F) portaria da planta industrial, pré-registro e; (G) veículo no pátio para descarregamento; e (H) limpeza da composição veicular de carga.

Fonte: o autor.

3.4 SISTEMA DE TELEMETRIA UTILIZADO

O sistema de telemetria é um serviço de *internet* para comando e otimização da administração técnica e logística da frota. O *hardware* consiste de um dispositivo de recepção GPS, unidade de bordo para processamento de dados e interface com o sistema eletrônico do veículo, ativado por um cartão magnético (FIGURA 11). O sistema de telemetria coletava os dados no próprio veículo e os transferia por radiotelefonia móvel (GSM/GPRS) ao servidor central (DAIMLER FLEETBOARD, 2008).



FIGURA 11 – SISTEMA DE TELEMETRIA

Onde: (A) portal de serviços; (B) *hardware* fixado na cabina do veículo; (C) *hardware*; (D) cartão de ativação do *hardware*.

Fonte: DAIMLER FLEETBOARD (2008).

Por meio do sistema de telemetria do veículo, foi contabilizado seu registro de viagem, como o tempo de paradas e viagens, seguindo os seguintes critérios: uma viagem começava após um período de mais de dois minutos como veículo em movimento, esta retardação era proposital afim de que breves movimentos de manobras não fossem erroneamente interpretados como viagem; uma viagem era finalizada após uma parada de mais de cinco minutos (velocidade igual a 0 km/h); uma viagem terminava de modo automático quando a ignição era desligada.

Do período de viagem do veículo armazenado pelo sistema de telemetria coletaram-se as seguintes informações: duração (min.) – representou a duração do ciclo operacional; distância percorrida (km) – representou o trajeto percorrido pelo veículo dentro do ciclo operacional; velocidade média (km/h) – representou a velocidade média desenvolvida pelo veículo durante o ciclo operacional; consumo de combustível (l) – representou o consumo total de combustível pelo veículo durante o ciclo operacional.

A partir de registros dos horários de saída do veículo de transporte da guarita da planta florestal e portaria da planta industrial, foi possível filtrar os tempos das etapas de deslocamento interno e carregamento, viagem carregado, descarregamento e viagem vazio.

Os dados referentes à carga líquida transportada por ciclo também foram disponibilizados pela empresa, a partir da diferença entre os pesos do veículo carregado (PBTC) e o peso do veículo vazio (Tara), obtidos na balança da indústria, obtendo-se, o peso da carga líquida transportada. Portanto, o veículo era pesado ao chegar à portaria da planta industrial (veículo carregado) e ao sair (veículo vazio).

3.5 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Para cada etapa do ciclo operacional de transporte florestal (deslocamento interno e carregamento, viagem carregado, descarregamento, viagem vazio e ciclo total) e variáveis (duração, distância percorrida, consumo de combustível, velocidade média e carga líquida transportada), contabilizou-se o número de amostras coletadas e calcularam-se as estatísticas descritivas ,tais como média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação.

3.6 CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS

Foi utilizada a correlação linear para explicar a relação entre as variáveis, indicando valores entre ± 1 . Para o cálculo da correlação linear entre as variáveis do transporte rodoviário florestal, foi utilizada a correlação de Pearson (r_{xy}).

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y} \quad (1)$$

Onde: r_{xy} = coeficiente de correlação de Pearson, S_{xy} = covariância e S_x e S_y = desvios padrão da variável x e variável y .

Os valores zero representaram a ausência de correlação linear; até 0,3 indicando fraca correlação; de 0,3 a 0,7 correlação moderada; e valores acima de 0,7, forte correlação (PELISSARI, 2012). Os coeficientes obtidos foram submetidos ao teste t , ao nível de 5% de probabilidade, para constatação da significância.

$$t = \frac{r_{xy} \cdot \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r_{xy}^2)}} \quad (2)$$

Onde: t = valor da estatística, r_{xy} = coeficiente de correlação de Pearson e n = número de valores observados.

3.7 RENDIMENTO ENERGÉTICO

O rendimento energético (t.km/l) dos veículos de transporte, que se refere à quantidade de madeira transportada em um quilômetro consumindo um litro de combustível foi calculado segundo Machado *et al.* (2009):

$$RE = \frac{M.Q}{C} \quad (8)$$

Onde: RE = Rendimento energético (t.km/l), M = Carga líquida transportada (t), Q = Distância percorrida (km) e C = Consumo de combustível (l).

3.8 EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Foi utilizado o procedimento *Stepwise* para alcançar a melhor equação de regressão por meio da inserção de variáveis, sendo uma regressão passo a passo. Nesse procedimento, depois de entrar no modelo, as variáveis foram testadas cada vez que entrou uma nova variável, de forma a verificar se sua contribuição era significativa. Após a entrada da nova variável, se a variável anterior não contribuiu significativamente, foi removida do modelo (SCOLFORO, 2005).

O procedimento foi realizado utilizando o programa SAS 9.0 (SAS INSTITUTE, 2008). Dessa forma, foram construídas equações aritméticas e logarítmicas com o intuito de selecionar a que melhor estimava o consumo de combustível do transporte rodoviário florestal com uso dos veículos rodotrem e carreta.

As variáveis utilizadas para gerar a equação foram as variáveis independentes - duração das etapas do ciclo operacional, distância percorrida, velocidade média e carga líquida transportada em sua forma pura, inversa, combinada, quadrática e logaritmizada - e dependente - consumo de combustível na sua forma pura e logaritimizada. As variáveis utilizadas para gerar os modelos para estimativa do consumo de combustível são apresentadas na TABELA 7.

TABELA 7 – VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA O AJUSTE DAS EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

Variáveis			Unidades			Variáveis			Unidades		
Y	C	l	x13	$Q.M$	km.kg						
y1	$\log(C)$	$\log(l)$	x14	V	km/h						
x1	D	min	x15	$\frac{1}{V}$	$(\text{km/h})^{-1}$						
x2	$\frac{1}{D}$	min^{-1}	x16	V^2	$(\text{km/h})^2$						
x3	D^2	min^2	x17	$\log(V)$	$\log(\text{km/h})$						
x4	$\log(D)$	$\log(\text{min})$	x18	$V.M$	km/h.kg						
x5	$D.Q$	min.km	x19	M	kg						
x6	$D.V$	min.km/h	x20	$\frac{1}{M}$	kg^{-1}						
x7	$D.M$	min.kg	x21	M^2	kg^2						
x8	Q	km	x22	$\log(M)$	$\log(\text{kg})$						
x9	$\frac{1}{Q}$	km^{-1}	x23	\sqrt{D}	$\text{min}^{1/2}$						
x10	Q^2	km^2	x24	\sqrt{Q}	$\text{min}^{1/2}$						
x11	$\log(Q)$	$\log(\text{km})$	x25	\sqrt{V}	$(\text{km/h})^{1/2}$						
x12	$Q.V$	km.km/h	X26	\sqrt{M}	$\text{kg}^{1/2}$						

Onde: D = Duração (min); Q = Distância percorrida (km); C = Consumo (l); V = Velocidade média (km/h); e M = Carga líquida (kg).

A precisão das estimativas das variáveis foi avaliada com base no coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{YX}) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{YX}(\%)$).

3.9 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para efetuar a análise de sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudança dos valores das variáveis independentes, foi necessário definir uma equação (*Stepwise*) cujo resultado era dependente dos valores assumidos pelas variáveis independentes. Estas variáveis independentes podem assumir um conjunto de valores, limitados por valores mínimos e máximos (SILVA e BELDERRAIN, 2004).

A análise de sensibilidade foi realizada com base na variação dos valores das principais variáveis do consumo de transporte. Foi realizada uma análise de sensibilidade modificando em $\pm 10\%$ os valores dos principais componentes do consumo de combustível do transporte rodoviário florestal, seguindo metodologia aplicada por Silva *et al.* (2007).

O Diagrama Tornado permitiu realizar a análise de sensibilidade de cada variável em um conjunto de muitas variáveis, comparando-as. Dessa forma, ordenaram-se as variáveis de acordo com sua importância para o resultado final (SILVA e BELDERRAIN, 2004).

Foi utilizado também o gráfico para análise de sensibilidade *spiderplot*. Com a equação matemática ajustada para cada variável analisada, calculou-se o consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário florestal usando desde o valor mínimo até o valor máximo da variável de entrada, passando por todos os valores intermediários unitários (SILVA e BELDERRAIN, 2004).

3.10 SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

As variáveis independentes (duração, distância percorrida, velocidade média e carga líquida transportada) foram apresentadas em um gráfico tridimensional (*surfaces*) em relação ao comportamento do consumo de combustível (variável dependente), denominado superfície de resposta.

As variáveis que mais influenciaram no consumo de combustível com a utilização dos veículos do transporte rodoviário florestal na análise de sensibilidade foram modificadas para $\pm 10\%$, constituindo uma malha do consumo de combustível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O transporte rodoviário florestal ocorreu em ciclos operacionais que envolveram as atividades de deslocamento interno e carregamento, viagem carregado, descarregamento e viagem vazio.

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Durante o deslocamento interno e carregamento e o descarregamento, os veículos de transporte consumiam combustível enquanto se deslocavam da guarita da planta florestal ou portaria da planta industrial até o local de carregamento ou descarregamento, respectivamente. Durante a maior parte destas etapas, o veículo permanecia parado, sendo utilizado o carregador ou descarregador florestal para a realização destas operações. Os veículos foram mais exigidos nas etapas de viagem (quando estavam em movimento e em maiores rotações do motor). A TABELA 8 indica as estatísticas descritivas do transporte rodoviário florestal.

TABELA 8 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

			N Ciclo	Média	Desvio padrão	CV (%)
Deslocamento interno e Carregamento	Rodotrem	D	22	306,6	206,5	67,4
		Q	22	25,2	8,5	33,8
		C	22	31,2	9,4	30,1
		V	22	14,3	3,9	27,3
		M	22	41.586,1	4.279,3	10,3
	Carreta	D	107	258,6	376,7	145,6
		Q	107	19,3	10,0	51,8
		C	107	20,0	7,5	37,8
		V	107	16,6	4,5	27,0
		M	107	34.433,5	4.119,8	12,0
Descarregamento	Rodotrem	D	22	122,0	57,5	46,1
		Q	22	1,4	0,3	22,2
		C	22	3,0	0,8	26,4
		V	22	2,8	2,3	80,3
		M	22	41.586,1	4.279,3	10,3
	Carreta	D	107	118,3	51,3	43,3
		Q	107	1,4	0,3	20,2
		C	107	2,8	1,1	40,6
		V	107	3,0	3,4	110,1
		M	107	34.433,5	4.119,8	12,0
Viagem Carregado	Rodotrem	D	22	191,4	103,3	54,0
		Q	22	76,1	4,6	6,0
		C	22	63,9	5,5	8,6
		V	22	39,8	7,0	17,6
		M	22	41.586,1	4.279,3	10,3
	Carreta	D	107	157,6	109,8	69,7
		Q	107	72,6	15,1	20,8
		C	107	56,9	8,8	15,5
		V	107	40,0	10,3	25,7
		M	107	34.433,5	4.119,8	12,0
Viagem Vazio	Rodotrem	D	22	69,9	29,5	42,2
		Q	22	58,3	16,3	27,9
		C	22	29,8	7,6	25,4
		V	22	57,3	12,9	22,5
		M	-	-	-	-
	Carreta	D	107	97,2	85,3	87,8
		Q	107	52,5	17,9	34,0
		C	107	28,2	9,4	33,5
		V	107	49,4	18,4	37,2
		M	-	-	-	-
Ciclo Total	Rodotrem	D	22	689,6	250,3	36,3
		Q	22	160,6	20,9	13,0
		C	22	129,0	18,9	14,6
		V	22	12,5	2,3	18,6
		M	22	41.586,1	4.279,3	10,3
	Carreta	D	107	634,0	391,6	61,8
		Q	107	147,0	30,2	20,5
		C	107	108,8	17,6	16,2
		V	107	24,4	6,3	25,7
		M	107	34.433,5	4.119,8	12,0

Em que: D = Duração (min); Q = Distância percorrida (km); C = Consumo (l); V = Velocidade média (km/h); e M = Carga líquida (kg).

4.1.1 Deslocamento interno e carregamento

Em relação à duração do deslocamento interno e carregamento, o tempo consumido médio nesta etapa equivaleu a 306,0 min para o rodotrem, ao passo que para a carreta foi de 258,0 min, podendo ser explicado pela menor capacidade de carga do veículo.

O longo período de deslocamento interno e carregamento pode ser explicado pelo longo percurso entre a guarita e o local de carregamento, pela quebra dos veículos pesados e extrapesados aos arredores da planta florestal, dificultando seu deslocamento e manutenção, além das chuvas que promoviam atolamento dos veículos, e ao acúmulo de veículos na mesma frente de carregamento, que forçava os motoristas a esperar em filas.

A baixa velocidade média no deslocamento interno e carregamento dos veículos (14,3 km/h para o rodotrem e 16,6 km/h para a carreta) foi decorrente do baixo padrão de qualidade das estradas florestais, que apresentavam geometria horizontal e vertical adversas, pista simples e não pavimentada.

Durante a etapa de deslocamento interno e carregamento, o rodotrem consumiu em média 31,2 litros de combustível, percorrendo distância média de 25,2 km, tendo uma eficiência de 1,2 l/km, ao passo que a carreta apresentou eficiência superior ao rodotrem, equivalendo a 1,0 l/km.

4.1.2 Descarregamento

O descarregamento, por ocorrer na planta industrial, transcorreu com maior controle da operação em relação ao carregamento. Mesmo com diferentes combinações veiculares de cargas, o rodotrem e a carreta no descarregamento consumiram em média 122,0 min e 118,3 min, respectivamente, contabilizando os tempos de pesagem, deslocamento até o local de descarga, filas, manobras, limpeza, pesagem vazio e deslocamento de volta à portaria.

Na etapa de descarregamento dos veículos do transporte rodoviário, houve velocidade média inferior à velocidade média da etapa de deslocamento interno e carregamento em cerca de 3,0 km/h na pequena distância percorrida de 1,4 km dentro da planta industrial.

Dessa forma, a eficiência do descarregamento foi semelhante entre os veículos, com eficiência 2,1 l/km para o rodotrem e 2,0 l/km para a carreta.

4.1.3 Viagem carregado

A duração média da viagem do rodotrem carregado equivaleu a 191,4 min e a viagem da carreta carregada equivaleu, em média, a 157,6 min. Foram necessários 33,8 min a mais para completar a viagem carregado com a utilização do rodotrem.

Quando se compara a velocidade média alcançada pelos veículos na operação de viagem carregado, a carreta foi ligeiramente mais veloz do que o rodotrem, sendo em média 0,2 km/h mais veloz.

Durante a viagem carregado o rodotrem percorreu em média 76,1 km com velocidade de 39,8 km/h e consumiu 63,9 l de combustível por viagem, perfazendo um consumo médio de 0,8 l/km. A carreta também consumiu 0,8 l/km de combustível durante a viagem carregado, em um percurso médio de 72,6 km com uma velocidade média de 40,0 km/h.

De acordo com a rota traçada pelo planejamento estratégico para as viagens, era necessário aos veículos percorrer uma distância de 89,3 km para viagem carregado e 44,1 km para viagem vazio. Com o rodotrem e a carreta carregados, percorreu-se uma distância menor do que a rota programada e, para a viagem dos veículos vazios, foi percorrida uma distância maior do que a rota programada. Isso pode ser explicado por pequenas mudanças propositais nas rotas dos veículos pelo planejamento operacional para desviar de pontos problemáticos da estrada, como áreas propensas a atolamento, aclives, declives e curvas acentuadas.

4.1.4 Viagem vazio

A viagem vazio com a utilização do rodotrem foi mais rápida do que a viagem da carreta vazia, chegando à planta florestal com antecedência média de 27,3 min. Apesar de a carreta percorrer uma distância média 5,8 km inferior que à distância percorrida pelo rodotrem, a duração da viagem com a carreta foi maior, o que pode ser explicado pela velocidade média do rodotrem ter sido, em média, 7,9 km/h superior à velocidade média da carreta.

Quando o veículo foi conduzido vazio, atingiu-se uma velocidade média de 39,8 km/h e 40,0 km/h para o rodotrem e a carreta, respectivamente. A velocidade média dos veículos pode ser considerada baixa quando comparada com os estudos de Seixas e Widmer (1993) e Leite *et al.* (1993).

Silveira (2003), analisando o consumo de combustível do transporte rodoviário florestal com tritrem, considerou infração exceder a velocidade de 80,0 km/h, com a combinação veicular de carga vazia, sendo a velocidade máxima para a composição carregada de 70,0 km/h. Com isso, o rodotrem não ultrapassou a velocidade máxima estabelecida por Silveira(2003) em suas viagens vazio e carregado.

A distância percorrida no percurso de volta à planta florestal foi menor do que no percurso de viagem carregado, com redução média para 58,3 km (rodotrem) e 52,5 km (carreta). Tal resultado ocorreu devido ao veículo ter transitado vazio por rotas alternativas, onde o percurso foi menor.

O percurso de viagem vazio também foi menor do que no percurso de viagem carregado nos estudos de Nurminen e Heinonen (2007), os quais demonstraram que a distância média percorrida pelo veículo carregado (68,0 km) representou o dobro da distância percorrida pelo veículo vazio (33,0 km).

E em relação à eficiência da viagem vazio, ambos os veículos estudados consumiram 0,5 l/km rodado.

4.1.5 Ciclo total de transporte

Para o ciclo total, a duração do tempo para o rodotrem e a carreta se mostrou elevadas. Em média, o ciclo de transporte com o rodotrem demandou 11,5 h e a carreta, 10,6 h. Reduzindo o período de tempo do ciclo total de transporte, mais viagens podem ser feitas durante a jornada de trabalho, evitando perda de tempo com os veículos parados e possibilitando maior carga líquida destinada à planta industrial.

Durante o ciclo de transporte rodoviário com o rodotrem, foram percorridos 160,6 km de distância entre a rota planta florestal e industrial. Segundo Silva *et al.* (2007) o transporte rodoviário florestal com rodotrem era viável até uma distância máxima de 226,0 km. Portanto, a distância percorrida pelo rodotrem foi viável economicamente para transporte rodoviário florestal.

O ciclo total de transporte utilizando a carreta foi, em média, 11,9 km/h mais veloz do que o ciclo total de transporte com o rodotrem. Como o ciclo total de transporte envolve todas as operações, a velocidade média baixa do carregamento e descarregamento tenderam a reduzir a velocidade média do ciclo total de transporte.

Com rodotrem, foi possível obter eficiência no consumo de combustível 0,8 l/km rodado com uma velocidade média de 12,5 km/h, ao passo que com a carreta o consumo médio de combustível por quilometro rodado equivaleu a 0,7 l/km, com velocidade média de 24,4 km/h, percorrendo em média 147,0 km.

Valores semelhantes da eficiência do consumo de combustível utilizando a carreta para o transporte florestal foram encontrados por Holzleitner e Kanzian (2010), que determinaram o consumo de combustível do transporte rodoviário com carreta para transporte de toras na Áustria demandou em média 0,8 l/km.

Para os veículos com menores compartimentos de cargas, há menor eficiência do consumo de combustível, porém reduz-se a quantidade de madeira transportada. O transporte de madeira no norte da Escócia utilizando um veículo de no máximo 55,0 t em uma distância de transporte de 60,0 km, consumiu 0,5 l/km, sendo efetuados 3,0 carregamentos por dia (RÖSER *et al.*, 2011).

Em uma jornada de trabalho de 24,0 h, foi possível realizar 2,1 ciclos com a utilização do rodotrem e 2,3 ciclos com a carreta, levando em consideração a duração média do ciclo de transporte, transportando 41.586,1 e 34.433,5 kg de madeira, respectivamente.

Na Figura 12, apresentam-se as porcentagens da distância percorrida, da duração e do consumo observado de combustível para o transporte rodoviário com o rodotrem e a carreta.

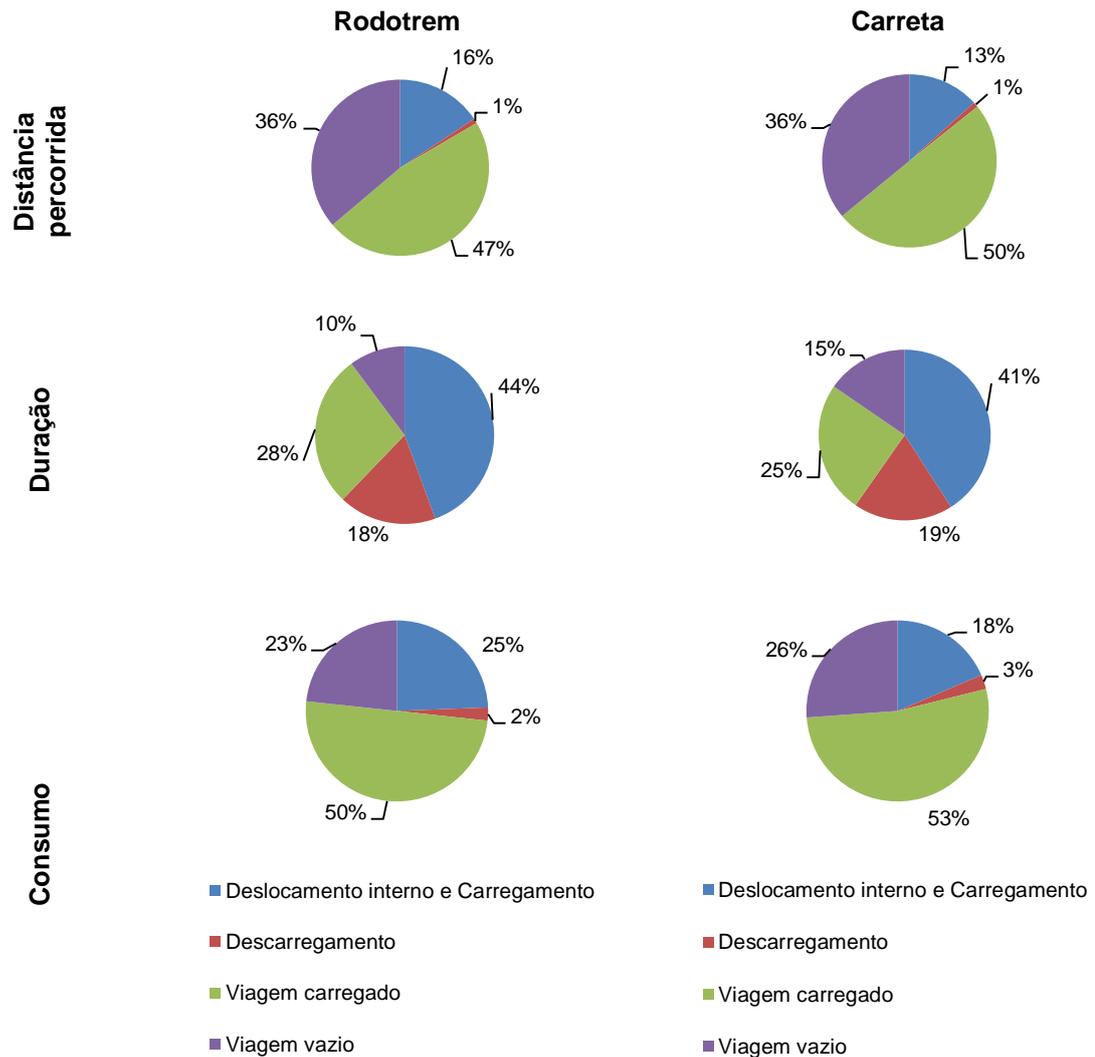


FIGURA 12 - PORCENTAGENS DA DISTÂNCIA PERCORRIDA, DA DURAÇÃO E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO.

Fonte: o autor.

O transporte rodoviário florestal com o rodotrem percorreu distância média de 160,6 km, 83,0% destes equivalentes ao transporte propriamente dito, nas etapas de viagem vazio e carregado. Os outros 16,0% de distância percorrida corresponderam ao deslocamento interno e carregamento, e apenas 1,0% ao descarregamento.

Para o ciclo de transporte utilizando a carreta, houve melhor aproveitamento da distância percorrida para as viagens carregado e vazio, equivalentes a 86,0% da distância percorrida.

A maior distância percorrida ocorreu nas viagens carregado, pelo fato de haver rotas limitadas entre a planta florestal e a industrial para o veículo transitar carregado, precisando fazer caminhos alternativos para fugir de vias movimentadas e urbanizadas. Com o veículo descarregado, outras possibilidades de rota poderiam ser utilizadas percorrendo-se caminhos mais curtos.

Ao se analisar a duração das atividades que dependeram de menor distância, como o deslocamento interno e carregamento e o descarregamento, houve um grande período de tempo para serem concretizadas. Estas etapas estão mais ligadas à eficiência do operador e da máquina de carregamento/d Descarregamento do que do motorista e veículos de transporte. Outro ponto se que reflete na duração do transporte é um eficiente planejamento com adequada distribuição da frota para que se evite a formação de filas, principalmente no carregamento.

No descarregamento, em que o veículo percorreu 1,0% da quilometragem total, houve a necessidade de consumo de 18,0% do período de transporte com o rodotrem e 19,0% do transporte com a carreta.

Por ocorrer na planta florestal, a atividade de deslocamento interno e carregamento ficava dependente das variações climáticas, da eficiência das máquinas de carregamento e da organização do transporte. Sendo assim, são muitas as complicações para que a atividade ocorra sem interferências e acontecia o surgimento de filas e espera para realização do carregamento. Por conseguinte, 44,0% do tempo de transporte foram consumidos no deslocamento interno e carregamento do rodotrem e 41,0% da carreta.

Normalmente, a etapa de carregamento é contabilizada a partir do momento em que o veículo de transporte começa a ser carregado. O grande período de tempo decorrido se originou do longo deslocamento dentro da planta florestal para chegar à frente de carregamento e percurso até a guarita para iniciar a viagem carregado. Sendo assim, ficou evidente a necessidade de promover melhor distribuição da frota de veículos a fim de que durante o deslocamento interno e carregamento se evite a formação de filas. Além disso, a equipe de apoio à atividade de carregamento deve estar distribuída nos pontos principais onde mais ocorrem os atolamentos a fim de reduzir os tempos perdidos dos veículos durante o período de carregamento.

Seixas e Widmer (1993) afirmaram a importância dos tempos de espera para carregamento nas fazendas e de descarga na indústria, que se refletem no tempo total gasto no ciclo de transporte.

De todo o transporte rodoviário, apenas 38,0% foram utilizados para viagens com o rodotrem e 40,0% com a carreta. A maior parte do transporte rodoviário florestal correspondeu às etapas de deslocamento interno e carregamento e descarregamento.

Em comparação aos estudos de Holzleitner e Kanzian (2011) que analisaram as características do transporte rodoviário de madeira roliça para uma serraria da Áustria com a utilização de uma carreta, para uma distância de transporte de 50,0 km, as viagens ocuparam 60,0% do período de transporte (30,0% relativos à viagem vazio e os outros 30,0% para a viagem carregado), a etapa de carregamento correspondeu a 21,0% do ciclo de transporte, 9,0% de fila para entrada na indústria, 7,0% de fila para carregamento e 3,0% de outras atividades.

Outros estudos de tempos e movimentos devem ser realizados para que não haja flutuações no tempo de transporte e possa se promover um fluxo constante do abastecimento florestal, uma padronização de toda a atividade, controle do processo produtivo sem oscilações na oferta de matéria prima a planta industrial, redução dos tempos de carregamento e descarregamento e aumento no percentual do tempo nas viagens do transporte rodoviário florestal.

Como esperado, os maiores consumos de combustível ocorreram nas viagens carregado e vazio, tanto para o rodotrem quanto para a carreta.

Para o rodotrem, a etapa de carregamento consumiu proporcionalmente a maior porcentagem de combustível que a viagem vazio. Atenção especial deve ser dada à etapa de carregamento, para que seja realizada com maior rapidez, com menores deslocamentos e, conseqüentemente, menor consumo de combustível e rápida liberação dos veículos para as viagens propriamente ditas.

Silveira *et al.* (2004) estudaram o consumo de combustível com o tritem e concluíram que o maior desperdício de combustível era explicado pela utilização dos veículos em marcha lenta, seguidos pelo ponto neutro e excesso de rotações. É possível reduzir o desperdício de consumo de combustível causado pela marcha lenta se houver racionalização do tempo de espera (carregamento, descarregamento, filas e paradas obrigatórias).

Os veículos foram pesados carregados e vazios na chegada da portaria da planta industrial e ao saírem da etapa de descarregamento, respectivamente. Com isso, foi possível contabilizar a carga líquida transportada e a tara dos veículos utilizados no transporte rodoviário florestal (FIGURA 13).

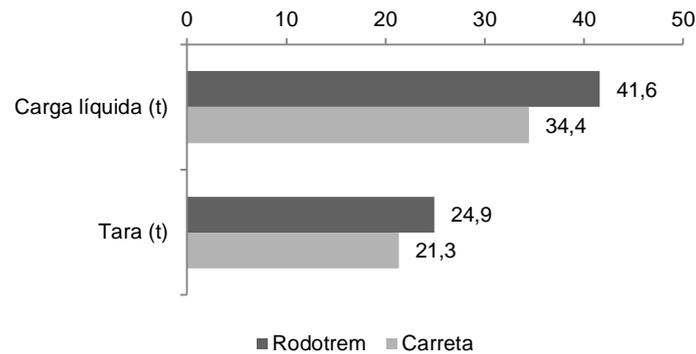


FIGURA 13 – TARA DOS VEÍCULOS E CARGA LÍQUIDA TRANSPORTADA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

Fonte: o autor.

A tara correspondeu a 37,4% (rodotrem) e a 38,2% (carreta) do peso bruto total combinado. O rodotrem vazio pesou, em média, 24.922,2 kg, transportando em média 41.586,1 kg, estando abaixo do limite permitido de 68,5 t. Quando se analisa a carga transportada com a carreta, ela vazia pesou em média 21.326,8 kg, transportando em média 34.433,5 kg de carga líquida, ocorrendo excesso de carga transportada, estando acima dos 48,5 t permitidos. O rodotrem transportou 17,3% a mais de madeira em relação à carga transportada com a carreta.

A carga líquida transportada com o rodotrem estava dentro do limite permissível (abaixo de 68,5 t). Por outro lado, a carga líquida transportada com a carreta excedeu o limite de 48,5 t em 7,2 t. Uma quantia acima de 5.001,00 kg excedentes de carga incorre em multa de 50,0 UFIR, retenção do veículo e transbordo da carga excedente para que o veículo possa voltar a transitar (RESOLUÇÃO 231, de 15 de março de 2007).

O excesso de carga por eixo reduz a vida útil do pavimento das estradas, do eixo do próprio veículo, molas e freios, causando seu desgaste prematuro, além de aumentar os riscos de acidentes no percurso. O excesso de carga também dificulta a subida dos veículos rodoviários florestais no aclave e potencializa a velocidade nos declives.

E o principal motivo para transportar apenas a quantidade de madeira limite permissível é a redução dos danos aos motoristas e outras vítimas. Em um estudo sobre o perfil dos motoristas do transporte rodoviário florestal, Guimarães *et al.*(2013) pontuaram que 26% dos motoristas avaliadas já sofreram acidentes, 80% destes provocados por tombamento do veículo de transporte.

4.2 RENDIMENTO ENERGÉTICO

O rendimento energético representa a quantidade de madeira (em toneladas), que o veículo transporta no espaço de 1,0 km consumindo 1,0 litro de combustível. Desta forma, veículos pesados e extrapesados possuem rendimento energético em torno de 52,0 e 60,0 t.km/l, respectivamente (MACHADO *et al.*, 2009).

A FIGURA 14 indica o rendimento energético para o transporte rodoviário florestal com o rodotrem e a carreta.

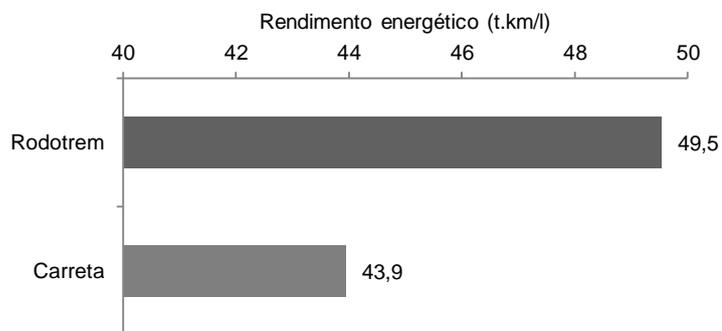


FIGURA 14 – RENDIMENTO ENERGÉTICO PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL COM O RODOTREM E A CARRETA.

Fonte: o autor.

O transporte rodoviário florestal com a utilização do rodotrem possuiu rendimento energético superior ao da carreta. Para o mesmo ciclo de transporte, foi possível transportar 5,6 t (11,3%) a mais de madeira com o rodotrem em relação à carreta, para 1 km e com 1 l de combustível. Mesmo assim, o rendimento energético

com o rodotrem e a carreta foi menor do que o rendimento energético apresentado por Machado *et al.* (2009).

Em um estudo para avaliar o rendimento energético do transporte de cana, para uma carga transportada de 48,0 t, a eficiência energética correspondeu a 37,0 t.km/l (CARRERA, 2010), rendimento inferior ao do rodotrem - que transportou cerca de 42,0 t de madeira com rendimento energético de 49,5 t.km/l da carreta, transportando 34,5 t de madeira com rendimento energético de 43,9 t.km/l.

Desta forma, o transporte rodoviário florestal é mais vantajoso com a utilização do veículo rodotrem, ou seja, de maior capacidade de carga em relação à carreta.

O rendimento energético apresentado pelo rodotrem (49,5 t.km/l), quando comparado com a tabela de rendimento energético líquido por diversas classes de estradas proposta por Machado (1989), indicou uma classe de estradas de primeiro nível (49,23 t.km/l). Cabe ressaltar que houve elevação na tecnologia dos veículos de transporte, com aumento da potência e redução da tara dos veículos.

4.3 CORRELAÇÕES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS

A TABELA 9 indica a correlação linear entre as variáveis apresentadas para o transporte rodoviário florestal com o rodotrem e a carreta.

TABELA 9 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

		D	Q	C	V	M	
		Duração (min)	Distância Percorrida (km)	Consumo de Combustível (l)	Velocidade Média (km/h)	Carga Líquida (kg)	
Viagem Carregado	Rodotrem	D					
		Q	0,3125 ^{ns}				
		C	0,4269 [*]	0,6898 [*]			
		V	-0,2846 ^{ns}	-0,0729 ^{ns}	-0,4030 ^{ns}		
	Carreta	M	0,2480 ^{ns}	0,4496 [*]	0,6524 ^{ns}	-0,0395 ^{ns}	
		D					
		Q	0,2484 [*]				
		C	0,2927 [*]	0,8559 [*]			
Carreta	V	-0,1982 [*]	0,4664 [*]	0,2270 [*]			
	M	0,0248 ^{ns}	-0,0510 ^{ns}	0,1836 ^{ns}	-0,1847 ^{ns}		
	D						
	Q	-0,0161 ^{ns}				-	
Viagem Vazio	Rodotrem	C	0,0018 ^{ns}	0,9589 [*]		-	
		V	-0,4740 [*]	0,7383 [*]	0,6824 [*]	-	
		M	-	-	-	-	-
		D					-
	Carreta	Q	0,0718 ^{ns}				-
		C	0,1254 ^{ns}	0,9460 [*]			-
		V	-0,2037 [*]	0,5907 [*]	0,4332 [*]		-
		M	-	-	-	-	-
Ciclo Total	Rodotrem	D					
		Q	0,1942 ^{ns}				
		C	0,2826 ^{ns}	0,8389 [*]			
		V	-0,2464 ^{ns}	0,4330 [*]	0,2921 ^{ns}		
	Carreta	M	0,4490 [*]	0,3804 ^{ns}	0,5440 [*]	0,1321 ^{ns}	
		D					
		Q	0,1643 ^{ns}				
		C	0,2455 [*]	0,9246 [*]			
Carreta	V	-0,0918 ^{ns}	0,4524 [*]	0,2842 [*]			
	M	0,0253 ^{ns}	-0,0996 ^{ns}	0,1029 ^{ns}	-0,2106 [*]		

Fonte: o autor.

Durante a etapa de viagem carregado do rodotrem, o consumo de combustível foi moderadamente correlacionado à duração e à distância percorrida. Assim, quanto maior a duração do transporte rodoviário e a distância percorrida, maior o consumo de combustível utilizando o rodotrem.

A distância percorrida para efetuar a viagem carregado com o rodotrem também foi significativa ao ser correlacionada ao aumento da carga líquida de madeira transportada. Desta forma, houve proporcionalidade positiva, na qual, quanto maior a carga líquida de madeira transportada, maior a distância percorrida pelo rodotrem.

Para a viagem carregada com a carreta, não houve correlações significativas entre a carga líquida transportada e as outras variáveis. Assim como na viagem carregada com o uso do rodotrem, houve correlação significativa entre o consumo de combustível e a distância percorrida pela carreta, com forte correlação. Tal resultado indicou que, com o aumento da distância do percurso de viagem carregada, maior é o consumo de combustível pelo veículo.

Com a utilização da carreta durante a etapa de viagem carregada, também houve outras correlações significativas, porém fracas, entre a duração da viagem carregada e a distância percorrida e a duração e consumo de combustível, sendo ambas diretamente proporcionais. Para a viagem carregada da carreta com o aumento da duração, elevaram-se a distância do percurso e o consumo de combustível necessário.

Leite *et al.* (1993) fizeram uma análise de correlação entre a duração e a distância percorrida pelas viagens carregado e vazio da carreta também obtendo correlações positivas.

A velocidade média da carreta foi inversamente proporcional à duração da etapa de viagem carregado, e diretamente proporcional à distância percorrida e ao consumo de combustível. Então, para maiores velocidades médias da carreta carregada, menor a duração da viagem, maior a distância da viagem e consumo de combustível.

Tanto na utilização do rodotrem quanto da carreta vazios houve correlações significativas entre a velocidade média e as outras variáveis. Quanto maior a velocidade média das viagens vazio, maior a distância percorrida, com correlações fortes para o rodotrem e moderadas com a carreta.

Para maiores velocidades dos veículos, menores foram as durações das viagens, ao passo que foi maior o consumo de combustível para a viagem do rodotrem e carreta vazios.

A distância percorrida e o consumo de combustível foram as variáveis com maiores correlações em todas as etapas avaliadas do transporte rodoviário florestal, estando acima de 90%. Desta forma, a distância percorrida é a variável que mais influencia no consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário florestal.

Assim, para o ciclo total de transporte com o rodotrem e a carreta, fortes correlações também foram encontradas entre a distância percorrida e o consumo de combustível, bem como entre a velocidade média do ciclo total de transporte e a distância percorrida, com correlações moderadas e diretamente proporcionais.

Para o ciclo total de transporte com a utilização do rodotrem, ainda houve correlações moderadas entre a carga líquida transportada e a duração e o consumo de combustível. Quanto maior a carga transportada, maior o período de transporte e o consumo de combustível.

Já para o ciclo total de transporte com a carreta, houve correlações fracas entre o consumo de combustível e a duração do ciclo total de transporte, bem como entre o consumo de combustível e a velocidade média do transporte. O maior consumo de combustível ocorreu com o aumento da duração do transporte florestal e a redução da velocidade média. E para o aumento da carga transportada, menor foi a velocidade média do ciclo de transporte (correlação fraca).

4.4 EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A análise dos modelos de regressão por *Stepwise* para o ajuste da equação original e logaritmizada para estimativa do consumo em função da distância percorrida, velocidade média, carga líquida e duração são apresentadas na TABELA 10.

TABELA 10 – EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO FLORESTAL.

Viagem Carregado	Rodotrem	$C = \beta_1 * Q + \beta_2 * V * M + \beta_3 * M^2$ $R^2_{aj(\%)} = 69,73 \quad s_{yx(\%)} = 4,86$	$\beta_1 = 0,7542 \quad \beta_2 = -5,55 * 10^{-6}$ $\beta_3 = 8,99 * 10^{-9}$
	Rodotrem	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * Q * M + \beta_2 * V * M$ $R^2_{aj(\%)} = 58,95 \quad s_{yx(\%)} = 2,85$	$\beta_0 = 3,7952 \quad \beta_1 = 1,66 * 10^{-7}$ $\beta_2 = -1,01 * 10^{-7}$
Viagem Carregado	Carreta	$C = \beta_0 + \beta_1 * Q^{-1} + \beta_2 * Q^2 + \beta_3 * M^2$ $R^2_{aj(\%)} = 90,38 \quad s_{yx(\%)} = 4,64$	$\beta_0 = -31,8856 \quad \beta_1 = 1,65 * 10^3$ $\beta_2 = 1,01 * 10^{-2} \quad \beta_3 = 7,01 * 10^{-9}$
	Carreta	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * Q^{-1} + \beta_2 * \ln Q + \beta_3 * M^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 90,38 \quad s_{yx(\%)} = 4,84$	$\beta_0 = -14,4285 \quad \beta_1 = 1,58 * 10^2$ $\beta_2 = 3,7502 \quad \beta_3 = 1,22 * 10^{-10}$
Viagem vazio	Rodotrem	$C = \beta_0 + \beta_1 * Q^2$ $R^2_{aj(\%)} = 92,54 \quad s_{yx(\%)} = 7,12$	$\beta_0 = 14,1705 \quad \beta_1 = 4,36 * 10^{-3}$
	Rodotrem	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * \sqrt{Q}$ $R^2_{aj(\%)} = 91,63 \quad s_{yx(\%)} = 7,55$	$\beta_0 = 1,6373 \quad \beta_1 = 0,2313$
	Carreta	$C = \beta_0 + \beta_1 * Q + \beta_2 * V^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 91,96 \quad s_{yx(\%)} = 9,53$	$\beta_0 = -6,4854 \quad \beta_1 = 0,5626$ $\beta_2 = 1,97 * 10^{-2}$
	Carreta	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * Q + \beta_2 * Q^2 + \beta_3 * V^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 91,63 \quad s_{yx(\%)} = 9,73$	$\beta_0 = 1,8327 \quad \beta_1 = 3,04 * 10^{-2}$ $\beta_2 = -1,00 * 10^{-4} \quad \beta_3 = 6,4517$
Ciclo Total	Rodotrem	$C = \beta_0 + \beta_1 * Q^2 + \beta_2 * Q * M + \beta_3 * M^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 81,04 \quad s_{yx(\%)} = 6,71$	$\beta_0 = 4,00 * 10^2 \quad \beta_1 = 6,82 * 10^{-3}$ $\beta_2 = -3,22 * 10^{-5} \quad \beta_3 = -9,62 * 10^{-5}$
	Rodotrem	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * Q^2 + \beta_2 * Q * M + \beta_3 * M^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 82,53 \quad s_{yx(\%)} = 6,29$	$\beta_0 = 6,7887 \quad \beta_1 = 4,98 * 10^{-5}$ $\beta_2 = -2,30 * 10^{-7} \quad \beta_3 = -6,99 * 10^4$
	Carreta	$C = \beta_0 + \beta_1 * D^{-1} + \beta_2 * Q^2 + \beta_3 * Q * M + \beta_4 * V^{-1}$ $R^2_{aj(\%)} = 92,10 \quad s_{yx(\%)} = 4,58$	$\beta_0 = 54,8072 \quad \beta_1 = -2,47 * 10^{-3}$ $\beta_2 = 1,17 * 10^{-3} \quad \beta_3 = 5,57 * 10^{-6}$ $\beta_4 = 90,7373$
	Carreta	$\ln C = \beta_0 + \beta_1 * D^{-1} + \beta_2 * Q + \beta_3 * V^{-1} + \beta_4 * M^2$ $R^2_{aj(\%)} = 91,50 \quad s_{yx(\%)} = 4,75$	$\beta_0 = 3,8328 \quad \beta_1 = -20,2667$ $\beta_2 = 4,92 * 10^{-3} \quad \beta_3 = 0,8301$ $\beta_4 = 1,01 * 10^{-10}$

Onde: C = Consumo estimado (l); Q = Distância percorrida (km); V = Velocidade média (km/h); M = Carga líquida (kg); e D = Duração (min)

$R^2_{aj(\%)}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; e $S_{yx(\%)}$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem.

Fonte: o autor.

As equações para estimativa do consumo de combustível dos veículos do transporte rodoviário florestal (rodotrem e carreta) apresentaram bons ajustes frente às suas variáveis independentes.

Para a viagem do rodotrem carregado, tanto a equação ajustada original quanto a logaritmizada apresentaram valores de $R^2_{aj(\%)}$ moderados, sendo que a equação ajustada original apresentou melhor ajuste em relação à equação transformada, considerando que o $R^2_{aj(\%)}$ foi próximo a 70,0%.

Ao se analisar o $S_{yx(\%)}$, que mede a dispersão entre os valores do consumo observado e estimado, optou-se pela equação transformada como melhor ajuste da viagem carregado com o rodotrem, por apresentar menores valores de dispersão em relação à linha estimativa.

As equações ajustadas, exceto a viagem carregado com o rodotrem, apresentaram valores de $R^2_{aj(\%)}$ superiores a 90,0% e $S_{yx(\%)}$ variando de 4,58 a 9,73%.

Uma equação foi ajustada no intuito de se estimar o consumo de combustível por 100,0 km de distância percorrida com um caminhão da Mercedes Benz para o transporte de madeira na República Tcheca. Por meio da utilização da variável independente logaritmizada distância percorrida, estimou-se o consumo de combustível com um $R^2_{(\%)}$ de 43,9% (KLVAC *et al.*, 2013).

O melhor ajuste ocorreu para o ciclo de transporte total com a utilização da carreta. No entanto, todas as equações ajustadas, originais e logaritmizadas estimaram bem o consumo de combustível em função de suas variáveis independentes.

A variável independente distância percorrida foi aquela que apresentou maior correlação com o ajuste dos modelos para estimativa do consumo de combustível, estando presente em todas as equações.

Outras pesquisas mostram que a distância percorrida foi a variável principal para estimar a duração do ciclo e também dos custos do transporte rodoviário florestal. Leite *et al.* (1993) estimaram a duração do ciclo de transporte para viagem carregado e vazio com utilização da carreta em função da distância de transporte, conseguindo um $R^2_{aj(\%)}$ de 52,7 e 68,3%, respectivamente.

A distância percorrida da carreta no transporte de toras na Grécia foi a variável de entrada utilizada para estimar o custo do transporte, conseguindo um $R^2_{aj(\%)}$ de 94,6% (KARAGIANNIS; TSIORAS; e KARARIZOS, 2012).

Em complementaridade ao $R^2_{aj(\%)}$ e $S_{yx(\%)}$ para a escolha das equações que estimaram o consumo de combustível, procedeu-se à análise gráfica da distribuição dos resíduos. Os gráficos das estimativas dos erros em porcentagem da variável consumo estimado para as equações originais e logaritmizadas para a viagem carregado são mostrados na FIGURA 15.

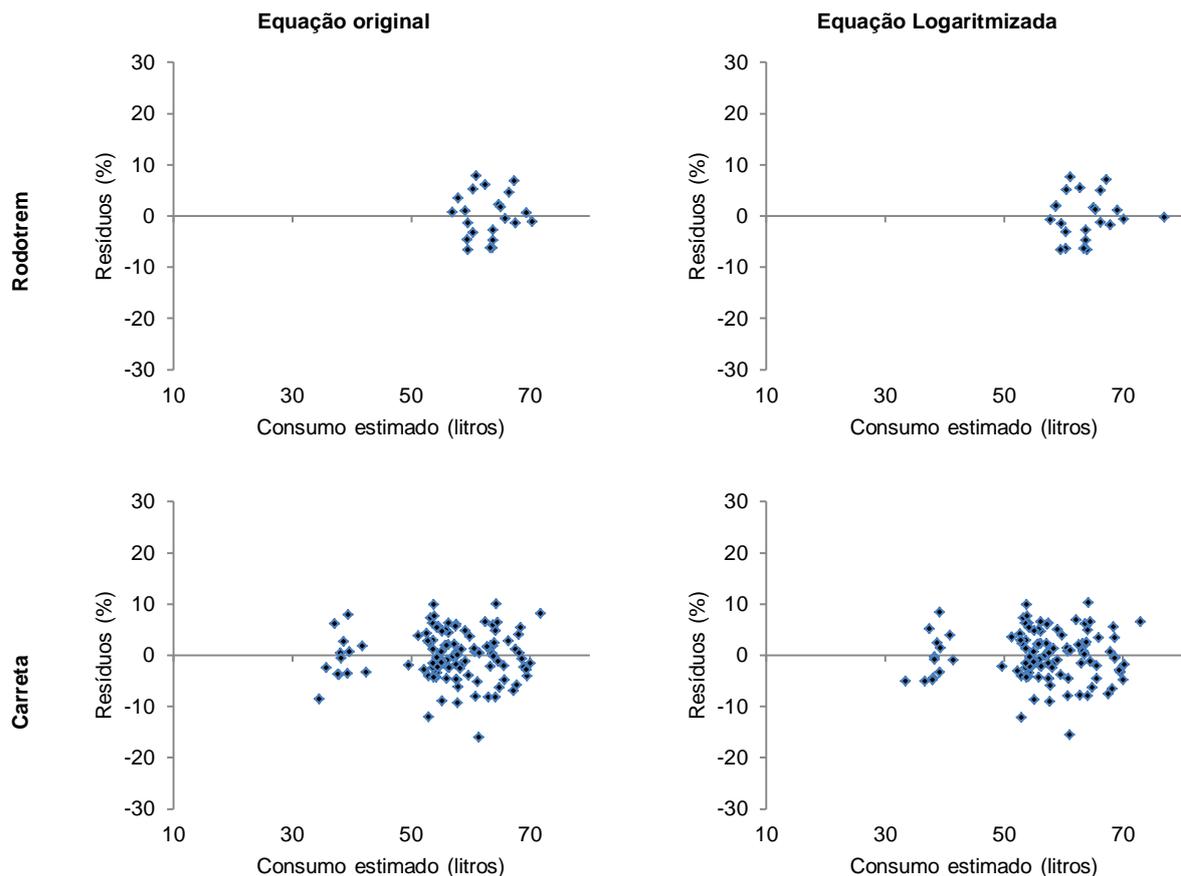


FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA A VIAGEM CARREGADO.

Fonte: o autor.

Observando a FIGURA 15, o gráfico de distribuição dos resíduos do consumo de combustível da viagem carregado com o rodotrem utilizando a equação original apresentou dispersão, que se concentrou de 57,0 a 70,4 l/viagem carregado, com uma tendência de superestimação por volta de 60,0 e 65,0 l/viagem carregado com o rodotrem.

Ao utilizar o transporte rodoviário florestal carregado com a carreta, a distribuição da estimativa dos resíduos do consumo de combustível oscilou entre 35,0 a 70,0 l/viagem. Tanto para a equação original como para a equação logaritmizada, houve superestimação do consumo de combustível por viagem ao redor de 60,0 l/viagem, ao passo que para a equação logaritmizada houve superestimativa do consumo abaixo de 38,0 l/viagem.

A FIGURA 16 indica a distribuição dos resíduos do consumo estimado para a viagem vazio.

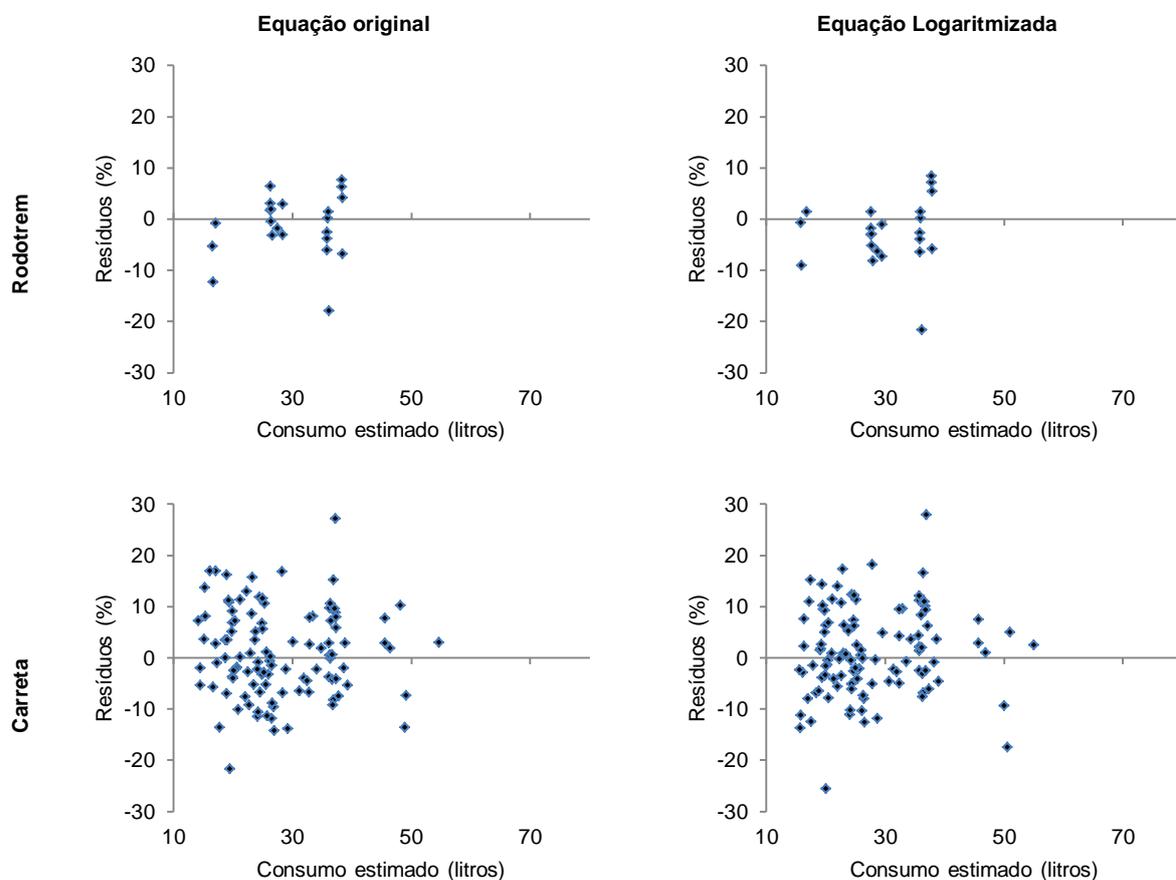


FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA A VIAGEM VAZIO.

Fonte: o autor.

Na viagem vazio com o rodotrem, a distribuição dos resíduos do consumo de combustível apresentou superestimação com valores entre 15,0 e 35,0 l/viagem utilizando a equação original. Ao logaritmizar a equação, além de superestimar o consumo de combustível como a equação original, ainda se superestimou aos 28,0 l/viagem. A maior dispersão dos dados da viagem vazio com rodotrem mostrou uma superestimação dos resíduos do consumo no decorrer de toda a linha estimativa.

Quando se procedeu à viagem vazio com a carreta, houve maior uniformidade entre a dispersão do erro do consumo de combustível, sendo que com valores próximos a 40,0 l/viagem o valor consumido apresentou-se subestimado para as equações original e logaritmizada. Entretanto, em contra partida, quando se atingiu perto do consumo de 50,0 l/viagem vazio ocorreu superestimativa do consumo de combustível.

Ao analisar a dispersão dos erros do consumo de combustível (l/ciclo) de todo o transporte rodoviário florestal com o rodotrem e a carreta, a distribuição foi equivalente no decorrer da linha estimativa (FIGURA 17).

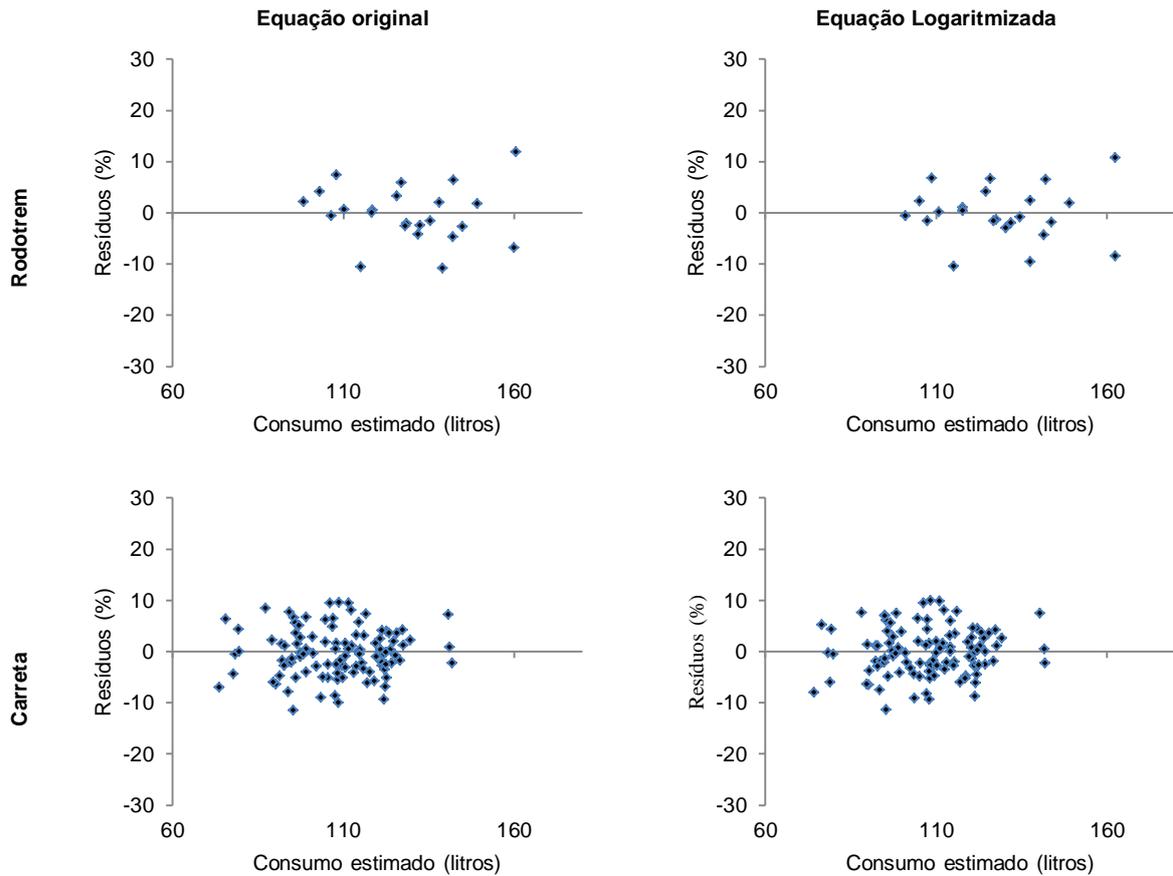


FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO CONSUMO ESTIMADO PARA O CICLO TOTAL DE TRANSPORTE.

Fonte: o autor.

Para o ciclo total do transporte com o rodotrem, ocorreu subestimação do consumo de combustível abaixo de 110,0 l/ciclo para as duas equações ajustadas. A partir de 135,0 l/ciclo, o consumo de combustível apresentou valores levemente superestimados.

Na utilização da carreta para o transporte rodoviário florestal, o consumo de combustível concentrou-se de 70,0 a 150,0 l/ciclo, apresentando distribuição homogênea neste intervalo.

Baseado no Coeficiente de determinação ajustado (%), erro padrão da estimativa (%) e distribuição dos resíduos do consumo estimado do transporte rodoviário florestal, foram selecionada-se as equações da TABELA 11 para promover as análises de sensibilidade e superfície de resposta.

TABELA 11 – EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA ESTIMAR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS DO TRANSPORTE RODOVÁRIO FLORESTAL

Atividades	Veículos	Equação
Viagem carregado	Rodotrem	Original
	Carreta	Logaritmizada
Viagem vazio	Rodotrem	Original
	Carreta	Logaritmizada
Ciclo total	Rodotrem	Original
	Carreta	Logaritmizada

Fonte: o autor.

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Durante o percurso de viagem carregado com o rodotrem, a distância percorrida, a carga líquida transportada e a velocidade média causaram modificações no consumo estimado de combustível, resultando em um consumo médio de 63,8 l/viagem.

Quando percorrida a viagem carregado com a carreta, as variáveis selecionadas que mais interferiram no consumo de combustível estimado foram: distância percorrida e carga líquida transportada. Ao utilizar a média destas variáveis, foi necessário um consumo estimado de combustível de 52,6 l/viagem para a equação logaritmizada.

A FIGURA 18 apresenta a análise de sensibilidade para o consumo de combustível dos veículos para a viagem carregado.

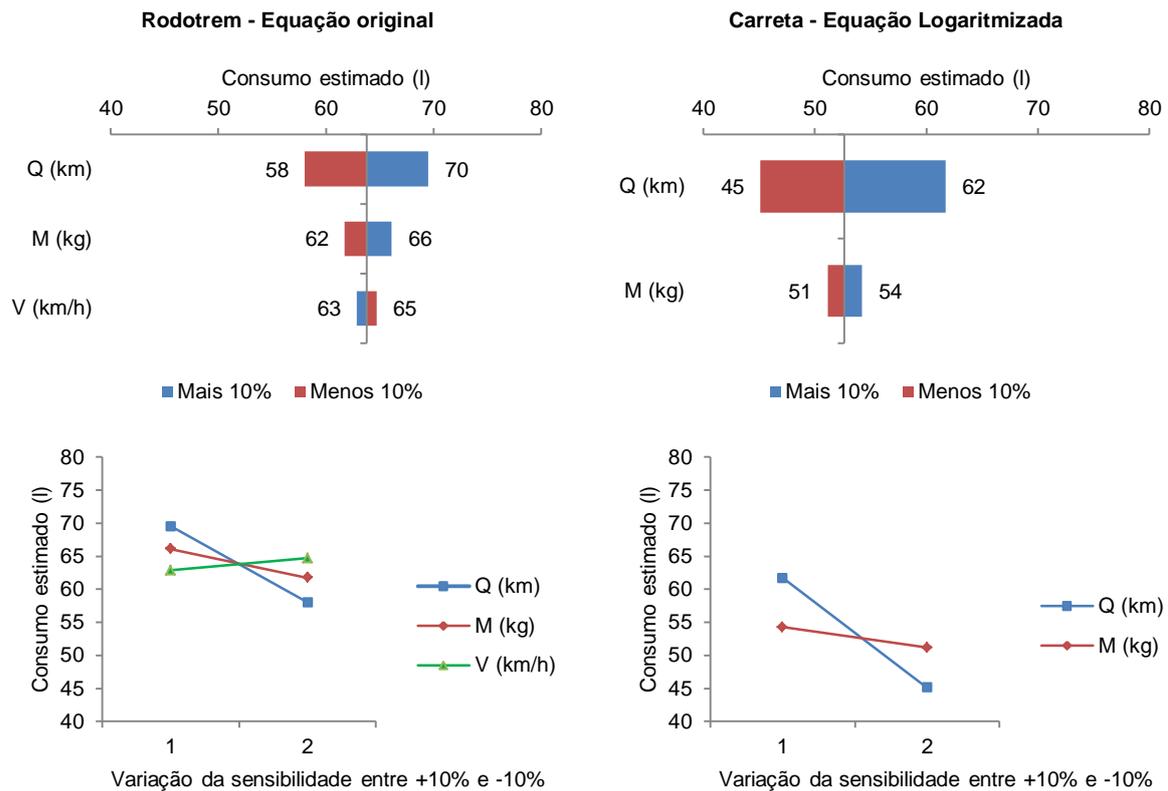


FIGURA 18 – SENSIBILIDADE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NA VIAGEM CARREGADO.

Fonte: o autor.

Com a utilização da equação original ajustada para estimativa do consumo de combustível utilizando o rodotrem em função das variáveis independentes apresentadas, houve diferença entre as angulações das retas das três variáveis.

As variáveis distância percorrida e carga líquida foram decrescentes, indicando proporcionalidade direta com a redução do consumo estimado, sendo a distância percorrida a variável de maior influência no consumo de combustível estimado para a viagem carregado com o rodotrem. Já a velocidade média apresentou uma reta crescente e de pequena inclinação, inversamente proporcional ao aumento do consumo estimado.

Para a equação original a distância percorrida alterou o consumo diretamente para mais 10% desta, em um aumento de 6,2 l de combustível por viagem do rodotrem carregado.

Quando se analisa a carga líquida transportada pelo rodotrem, com 10% a mais de carga houve aumento de 2,2 l no consumo de combustível, ao passo que ao carregar o rodotrem com 10% a menos de carga houve redução em 1,8 l no consumo de combustível.

O rodotrem deve transitar com o máximo de carga líquida permissível a fim de que consiga aumentar o rendimento energético por ciclo de viagem. No entanto, ao se acrescentar 10% de carga líquida, extrapola-se a quantidade de madeira permitida total e por eixo, chegando a um PBTC de 70,7 t. Assim, deve-se trafegar no máximo com a carga líquida de 43.500,0 kg.

Quando acrescidos 10% à velocidade média do rodotrem (39,8 km/h) ocorreu redução de 0,8 l/viagem, ao passo que redução de 10% na velocidade média elevou o consumo de combustível 1,2 l.

Com base no gráfico tornado ficou evidente que a distância percorrida de viagem carregado causou maiores variações no consumo de combustível estimado do que a carga líquida transportada com a carreta. Pelo *spiderplot*, percebe-se a proporcionalidade direta da distância percorrida e carga líquida transportada com a redução do consumo de combustível.

Para a viagem do rodotrem carregado recomenda-se adotar os maiores percursos de viagem (10% a mais da distância percorrida), com a carga transportada máxima de 43.500,0 t e velocidade média 10% maior (35,8 km/h). Para maximizar a quantidade de madeira transportada pelo rodotrem, haveria aumento de 5,8 l/viagem do rodotrem carregado.

Pela equação logaritmizada, a redução do percurso da carreta em 10% proporcionou redução de 7,6 l/viagem carregado. Quando se aumentou em 10% a distância percorrida, aconteceu uma elevação em 9,4 l/viagem, indicando a necessidade de promover o transporte rodoviário com a carreta sempre nos menores percursos possíveis para redução dos custos da atividade.

Carregar a carreta com $\pm 10\%$ da carga líquida não trouxe mudanças bruscas no consumo de combustível. No entanto, a carreta apresentou carga líquida de madeira elevada, devendo-se seguir as normas da AET para o tráfego, respeitando os limites de carga por eixo do veículo. As alterações em $\pm 10\%$ da carga líquida, para a equação logaritmizada apresentaram uma variação média de $\pm 1,5$ l/viagem para a viagem carregado da carreta.

Para que a carga líquida transportada pela carreta seja adequada, seria necessário transportar 21% a menos de madeira por viagem. Com 10% a menos de distância percorrida, haveria redução do consumo de combustível em 9,9 l/viagem.

Durante a viagem do rodotrem vazio, foi estimado um consumo médio de combustível de 29,0 l, sendo influenciado pela distância percorrida.

Para equação ajustada para viagem vazio com a carreta, as variáveis que influenciaram no consumo estimado de combustível foram a distância percorrida e a velocidade média. Mantendo a média destas variáveis houve, consumo médio de 26,7 l/viagem vazio.

A FIGURA 19 mostra a sensibilidade para o consumo de combustível dos veículos para viagem vazio.

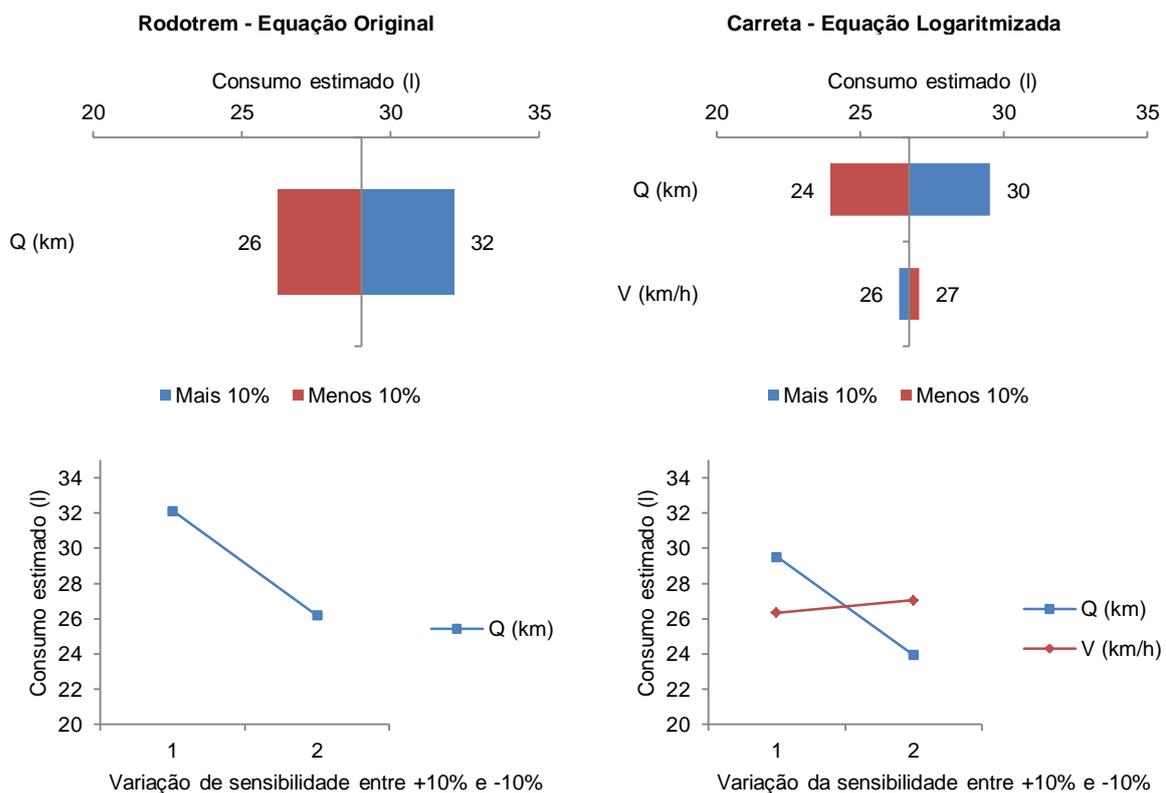


FIGURA 19 – SENSIBILIDADE PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NA VIAGEM VAZIO.

Fonte: o autor.

A principal variável selecionada que modificou as flutuações do consumo de combustível da viagem vazio com o rodotrem foi a distância percorrida para a equação original, variando em $\pm 3,0$ l/viagem para uma modificação $\pm 10\%$ da distância percorrida média.

Uma distância percorrida 10% menor acarretaria um consumo estimado de 2,7 l a menos de combustível com a utilização da carreta, da mesma forma que ocorre um aumento de 3,3 l/viagem vazio para um percurso 10% maior. Dessa forma, a carreta deve ser utilizada nos menores percursos para a redução no consumo de combustível também na etapa de viagem vazio.

Em relação à velocidade média da viagem vazio com a carreta para equação ajustada logaritimizada, o veículo ao deslocar-se com 10% a mais de velocidade teve redução de 0,3 l/viagem vazio. No entanto, a redução da velocidade em 10% acarretou 0,7 l/viagem a mais no consumo. Quanto maior a velocidade média, menor o consumo estimado de combustível da carreta.

A velocidade média, tanto na viagem carregada como vazio, deve estar dentro do limite máximo permitido. Com o aumento da velocidade média condizente com a rotação certa do motor da carreta, reduziu-se o consumo de combustível.

Depois de analisada a sensibilidade do consumo de combustível das viagens carregado e vazio com o rodotrem e a carreta, mostra-se o comportamento do consumo de combustível para o ciclo total de transporte com os mesmos veículos (FIGURA 20).

O ciclo de transporte rodoviário florestal teve consumo médio de 129,6 l/ciclo para o rodotrem, para equação original, para uma distância percorrida média e carga líquida transportada média.

Quando o veículo de transporte utilizado foi a carreta, todas as variáveis do ciclo operacional influenciaram no consumo de combustível. Mantendo sua média, foram consumidos 107,6 l/ciclo de transporte, para a equação ajustada logaritimizada.

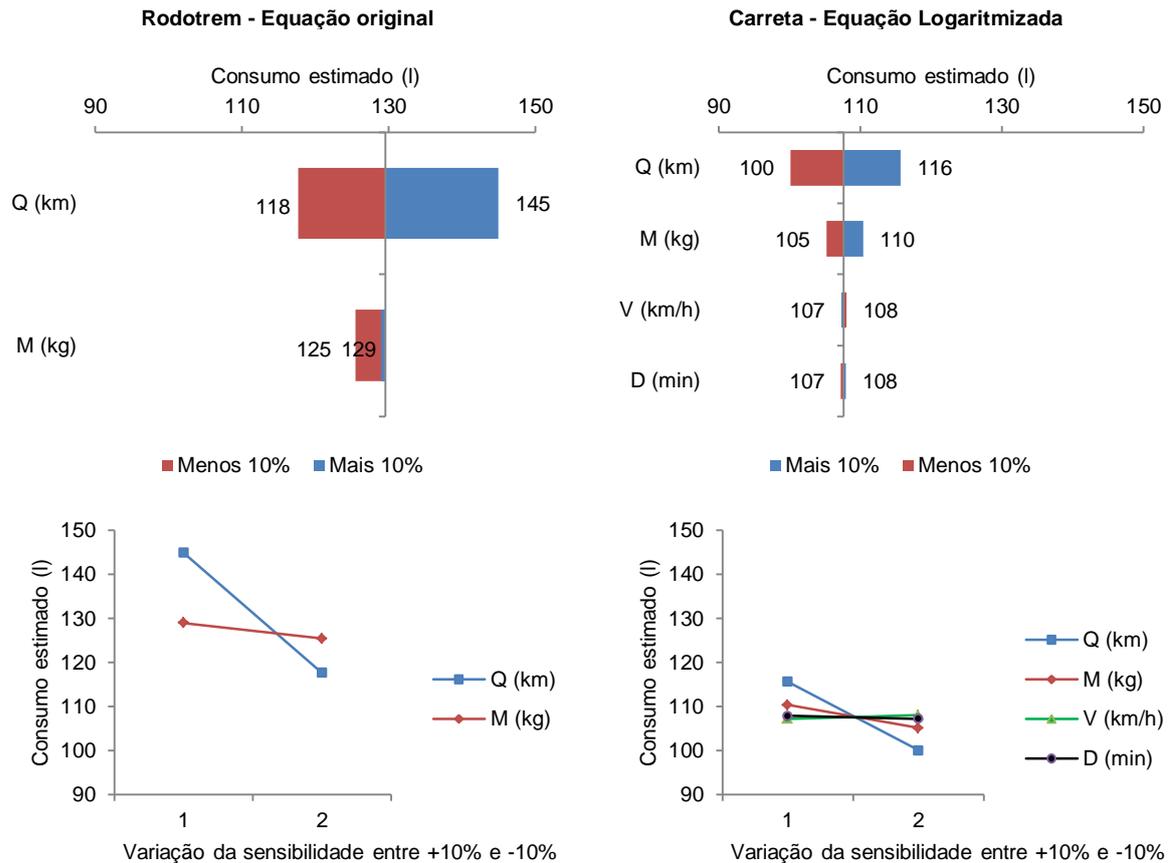


FIGURA 20 – SENSIBILIDADE PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS NO CICLO TOTAL DE TRANSPORTE.

Fonte: o autor.

Ao variar a distância percorrida em menos 10% para o ciclo total de transporte com o rodotrem mantendo a média da carga líquida transportada, houve redução do consumo de combustível de 11,6 l/ciclo de transporte, com a utilização da equação ajustada original, ao passo que, com o aumento de 10% da distância percorrida houve maior consumo de combustível estimado na faixa de 15,4 l/ciclo.

Reduzindo 10% da carga líquida transportada pelo rodotrem, houve redução em 4,6 l/ciclo de transporte, acrescentando 10% para a carga líquida transportada, também houve redução de 0,6 l/ciclo de transporte. Essa variação foi inerente à equação ajustada.

Deve-se transportar com a utilização do rodotrem uma carga líquida de 43.500,0 t para trafegar com a quantidade máxima de madeira permitida pela legislação.

O rodotrem deve ser utilizado para os maiores percursos (distância percorrida 10% maior) e carga transportada de 43.500,0 t, resultando em aumento de 14,7 l/ciclo para maximizar a quantidade de madeira transportada.

Para o transporte florestal com a carreta, todas as variáveis independentes analisadas influenciaram nas flutuações do consumo de combustível. Foi possível ranquear a distância percorrida, a carga líquida transportada, a velocidade média e a duração em ordem decrescente de importância quanto às alterações no consumo de combustível da carreta, como exemplificado no gráfico tornado da FIGURA 20.

Pelo gráfico *spiderplot*, a distância percorrida e a carga líquida causaram maiores modificações no consumo estimado, sendo diretamente proporcionais a seu aumento. A duração também foi diretamente proporcional ao consumo de combustível. A velocidade média manteve-se levemente crescente e contrária ao aumento do consumo estimado.

Em um percurso 10% menor na distância percorrida, reduz-se 7,6 l/ciclo de transporte com a carreta, para a equação ajustada logaritmizada, da mesma forma que transportar 10% a menos de carga promoveu consumo estimado menor em 2,6 l/ciclo. Seguindo esta lógica, 10% a menos no tempo do ciclo de transporte com a carreta reduziria o consumo estimado em 0,6 l.

Para uma redução em 10% da velocidade média seria necessário 0,6 l de combustível a mais para completar o mesmo ciclo de transporte com a carreta.

Seixas e Widmer (1993) demonstraram a importância da determinação, mais apurada possível, dos valores de velocidade média que representem de maneira bastante aproximada o desempenho dos veículos nas situações particulares de cada empresa. Modificando a velocidade média de diversos veículos e várias rotas de transporte, quando utilizaram a carreta, o número de veículos necessários aumentou a partir da redução de 2% em sua velocidade média.

Ao buscar a madeira em maiores quilometragens no percurso indústria e floresta (10% a mais na distância percorrida) utilizando a carreta, houve aumento em 8,4 l/ciclo, assim como com uma carga líquida adicional de 10% de carga de madeira precisaria de 2,4 l de combustível a mais por ciclo, considerando a equação ajustada logaritmizada.

A redução na quantidade de madeira transportada pela carreta deveria ser na ordem de 21% para se adequar à carga líquida permitida pela legislação (27.286,96 t). Para as menores distâncias de transporte (distância percorrida 10% menor), com uma duração menor em 10% e uma velocidade média 10% superior (26,8 km/h) haveria redução de 12,6 l/viagem.

Para que haja maior segurança e se mantenha a constância no abastecimento florestal, deve-se localizar a planta florestal o mais próximo possível da área de produção, e quando as florestas se localizam distante da indústria, a alternativa encontrada para redução dos custos de transporte é a utilização de veículos com maior capacidade de carga e potência, como o rodotrem.

Para menores percursos, transportando a quantidade de madeira máxima permissível, reduziu-se os tempos do carregamento e do descarregamento, ocorreu menor consumo estimado de combustível e redução do ciclo de transporte com a carreta. Conclui-se que, para menores distâncias de transporte deve-se utilizar veículos com menor capacidade de carga, permitindo agilidade das etapas de carregamento e descarregamento.

Ao variar em $\pm 10\%$ a velocidade média dos veículos e a duração do ciclo de transporte com carreta, não houve mudanças expressivas no consumo final do ciclo de transporte rodoviário florestal quanto às modificações em distância percorrida e carga líquida transportada.

4.6 SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

As variáveis selecionadas que mais causaram alterações no consumo estimado de combustível para o rodotrem e a carreta, nas etapas de viagem carregado, vazio e ciclo total foram plotados à superfície de resposta, de modo a avaliar o padrão do consumo estimado de combustível mediante o crescimento nos valores das variáveis de entrada.

Para a malha do consumo estimado de combustível da viagem carregado com o rodotrem, foram plotados à superfície de resposta para a equação ajustada original, levando em função a distância percorrida e a carga líquida transportada, mantendo o valor da velocidade média em 39,8 km/h (FIGURA 21).

Equação Original

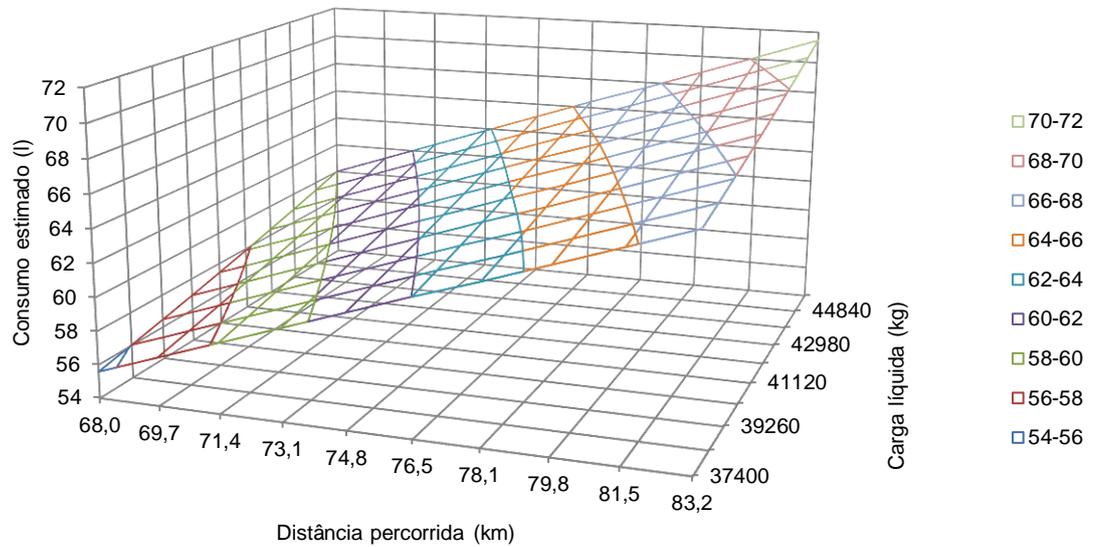


FIGURA 21 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DO RODOTREM CARREGADO.

Fonte: o autor.

O padrão no aumento do consumo estimado mostrou-se diretamente proporcional ao crescimento da distância percorrida e da carga líquida transportada. As classes de consumo estimado foram divididas em nove, de 54,0 a 72,0 l/viagem, mudando de classe a cada 2,0 l.

A equação original apresentou o consumo estimado com maior centro de classe equivalendo a 71,0 l/viagem carregado com o rodotrem, para uma carga líquida variando de 43.910,0 a 45.770,0 kg e distância percorrida a partir de 81,5 km.

Para as maiores distâncias de transporte, devem-se utilizar veículos com maiores compartimento de carga. Portanto, carregar o rodotrem até a carga líquida máxima de 43.500,0 t, para que não exceda os 68.500,0 kg de PBTC. Assim, para a maior distância percorrida, haveria um consumo de combustível de 70,2 l.

Na FIGURA 22 é mostrada a superfície de resposta para o consumo estimado de combustível durante a viagem carregado com a carreta, para a equação logaritmizada em função da carga líquida transportada e da distância percorrida.

Equação Logaritmizada

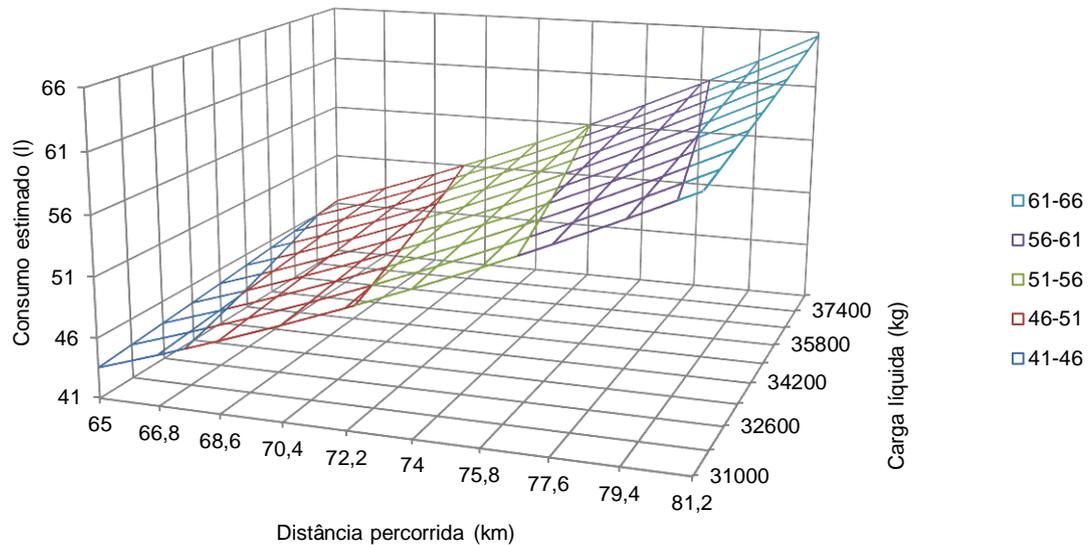


FIGURA 22 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DA CARRETA CARREGADA.

Fonte: o autor.

O consumo estimado de combustível para a viagem carregado com a carreta em função da distância percorrida e carga líquida transportada apresentou tendência de aumento direto entre eles.

A distância percorrida variou de 65,0 a 81,2 km e a carga líquida de 31.000,0 a 38.200,0 kg transportados pela carreta. Deste modo, estimando o consumo de combustível para um fluxo crescente entre as variáveis respostas, ele se concentrou em cinco classes, de 41,0 a 66,0 l/viagem, com mudanças de classe a cada 5,0 l.

Os maiores consumos estimados estiveram compreendidos acima de 79,4 km de distância da planta florestal a industrial e 35.000,0 kg transportados de madeira.

Utilizando a distância percorrida média com a carreta carregada (72,2 km) e a carga líquida transportada média (34.344,5 t), seriam consumidos 52,0 l de combustível.

Para que a carreta possa ser utilizada dentro do PBTC limite, deve-se transportar uma carga líquida máxima de 27.500,0 kg de madeira, sendo recomendada a utilização da carreta para as menores distâncias de transporte (65 km), obtendo um consumo de combustível de 42,5 l.

A FIGURA 23 indica a superfície de resposta para o consumo estimado de combustível do rodotrem para a viagem vazio.

Equação Original

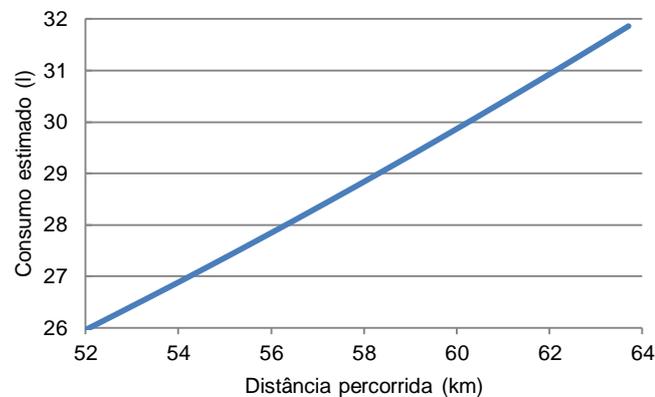


FIGURA 23 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA A VIAGEM DO RODOTREM VAZIO.

Fonte: o autor.

A variável que influenciou no consumo estimado de combustível para a viagem vazio com o rodotrem foi a distância percorrida. A equação original apresentou relação direta entre as variáveis dependente e independente.

Na medida em que a distância percorrida aumentava de 52,0 a 64,0 km de distância, o consumo estimado de combustível para a viagem vazio do rodotrem aumentou de 26,0 para 32,8 l/viagem vazio.

Com a distância percorrida média de 58,3 km pelo rodotrem vazio, seria necessário um consumo de 29,1 l de combustível.

Como o rodotrem foi recomendado para as maiores distâncias, percorrendo 64 km, houve consumo de 34,0 l de combustível.

A FIGURA 24 mostra a superfície de resposta para consumo estimado da viagem vazio com a carreta.

Equação Logaritmicada

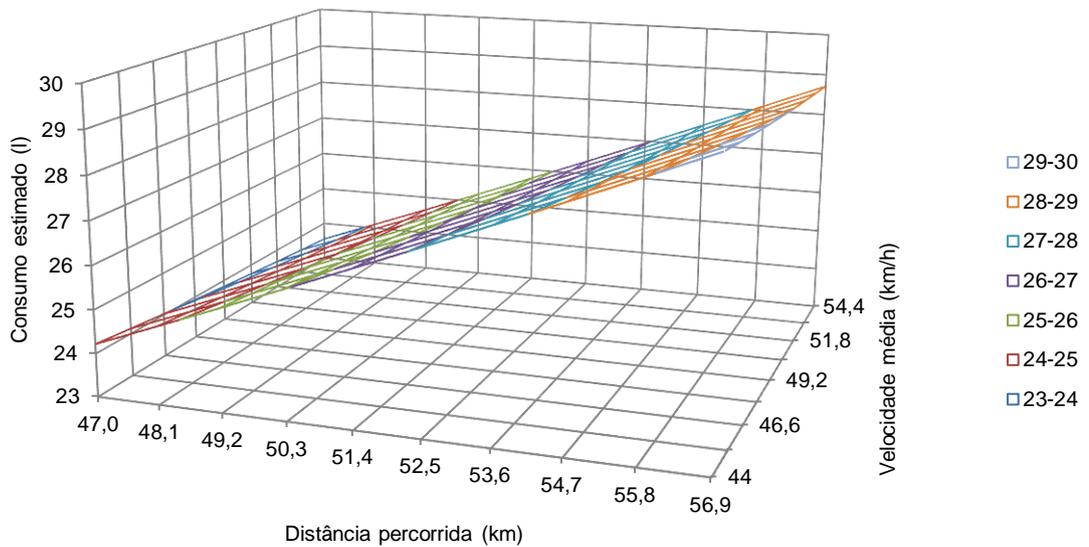


FIGURA 24 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA VIAGEM DA CARRETA VAZIA.

Fonte: o autor.

Por meio da equação ajustada logaritmizada, além da distância percorrida, a velocidade média modificou o consumo estimado de combustível da viagem vazia com a carreta.

Com sete classes de consumo de combustível da viagem vazia da carreta, variando de 23,0 a 30,0 l consumidos, percorrendo uma distância de 47,0 a 56,9 km a uma velocidade média de 44,0 a 54,4 km/h.

Para a distância percorrida média de 52,5 km a uma velocidade média de 49,2 km/h, houve consumo de 26,7 l.

O consumo de combustível da carreta vazia cresceu com o alongamento da distância percorrida e redução da velocidade média. Quanto menor a velocidade média da viagem da carreta vazia, maior foi o consumo de combustível.

O aumento no consumo de combustível em maiores distâncias percorridas pela carreta já era um resultado esperado. No entanto, a redução da velocidade média da viagem vazia também resultou em maior consumo de combustível, o que pode ser explicado pela baixa velocidade média. Uma velocidade média excessiva incorre em aumento de consumo de combustível, assim como, uma velocidade média mais baixa que a ideal.

Como a carreta possui menor compartimento de carga, foi recomendada para menores distâncias de transporte (47,0 km), e para reduzir o consumo de combustível na viagem vazio da carreta, deve-se utilizar a maior velocidade média obtida (54,4 km), tomando o cuidado de trocar as marchas no momento ideal. Com estes dados, obteve-se um consumo de 23,6 l de combustível.

A superfície de resposta para o consumo estimado de combustível do rodotrem para o ciclo total de transporte em função da distância percorrida e carga líquida transportada é mostrada na FIGURA 25.

Equação Original

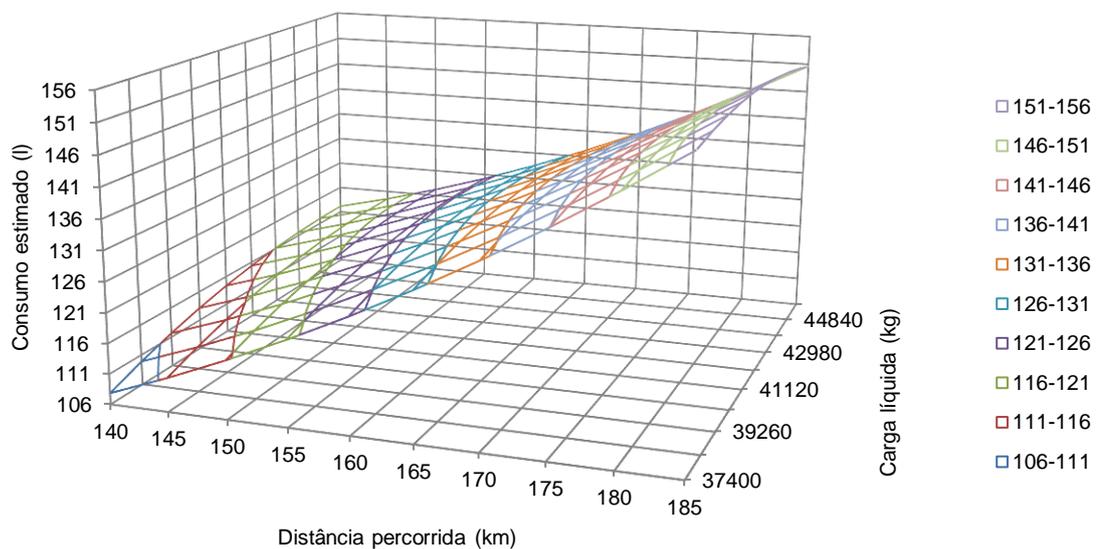


FIGURA 25 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA O CICLO TOTAL COM O RODOTREM.

Fonte: o autor.

Com o rodotrem carregado de 37.400,0 a 45.770,0 kg de madeira e percorrendo uma distância de 140,0 a 185,0 km durante o ciclo total de transporte, houve consumo estimado de 106,0 a 156,0 l/ciclo de transporte (equação original), com 10 centros de classe de consumo de combustível.

Para o ciclo total de transporte com o rodotrem, percorrendo distância média de 160,0 km, carregado em média de 41.586,1 t de madeira, houve consumo de 129,2 l de combustível.

O máximo de carga transportada pelo rodotrem deve ser de 43.500,0 t para que não exceda os 68.500,0 kg de PBTC. Com esta carga, para a maior distância de transporte de 185 km, haveria um consumo estimado de 153,1 l.

A Figura 26 mostra a superfície de resposta do consumo estimado de combustível para o ciclo total de transporte utilizando a carreta.

Equação Logaritmizada

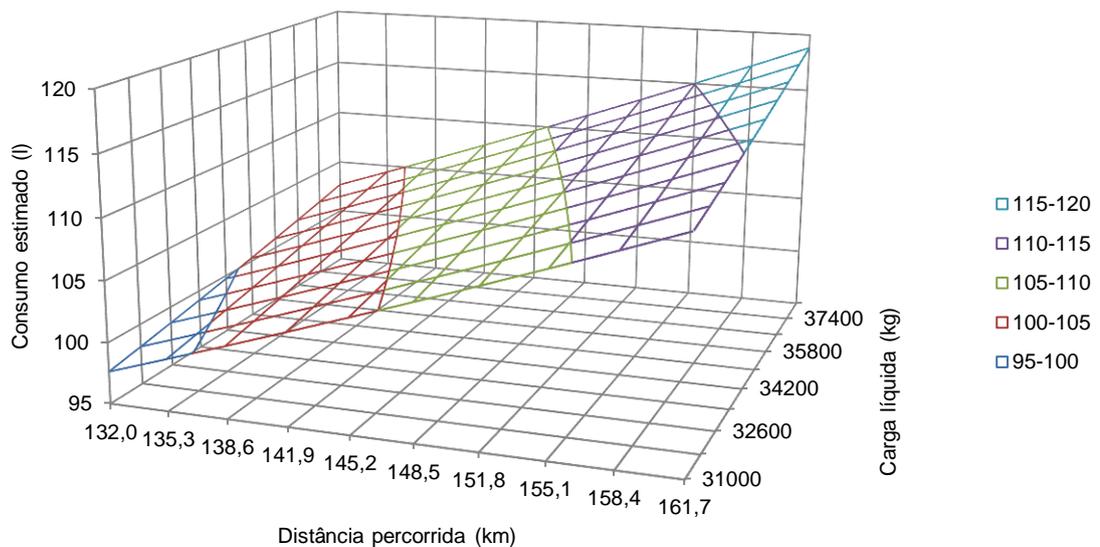


FIGURA 26 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTAS PARA O CICLO TOTAL COM A CARRETA.

Fonte: o autor.

Para a construção da superfície de resposta do consumo estimado de combustível no ciclo total de transporte com a carreta foi preciso utilizar a duração média de 634,0 min e a velocidade média de 24,4 km/h, já que estas variáveis influenciaram menos na variação do consumo estimado.

A superfície de resposta foi elaborada com a distância percorrida variando de 132,0 a 161,7 km com uma carga líquida transportada de 31.000,00 a 38.200,0 kg. Destes, houve consumo estimado de 95,0 a 120,0 l/ciclo de transporte, divididos em cinco classes de consumo, mudando de classe a cada 5,0 l.

Percorrendo 148,5 km de ciclo total do transporte rodoviário florestal com a utilização da carreta, carregada em média de 34.200,0 kg de madeira, seriam consumidos 108,2 l de combustível.

Para a menor distância de transporte (132,0 km), com uma carga líquida de 27.500,0 kg de madeira (quantidade máxima para que não exceda 48.500,0 kg de madeira permitidos pela legislação), haveria um consumo de 95,6 l de combustível.

5 CONCLUSÕES

A análise de variáveis que interferem no consumo de combustível dos veículos de transporte rodoviário florestal é importante para a redução de custos, permitindo identificar as situações nas quais o transporte deixa de ser vantajoso devido ao aumento do consumo de combustível.

Por transportar uma carga líquida de madeira maior, o rodotrem apresentou consumo de combustível superior ao da carreta, ocorrendo maior consumo de combustível nas operações de viagens carregado, deslocamento interno e carregamento e viagem vazio proporcionais à distância percorrida.

Mesmo a carreta apresentando menor consumo de combustível por ciclo operacional total, a maior carga líquida transportada e distância percorrida pelo rodotrem explicaram seu maior rendimento energético.

As equações ajustadas expressaram bem o consumo estimado de combustível em função da distância percorrida, da carga líquida transportada, da velocidade média e da duração nas viagens carregado, vazio e ciclo total de transporte rodoviário florestal.

A variável que mais influenciou na sensibilidade do consumo de combustível do rodotrem e carreta foi a distância percorrida, seguida pela carga líquida transportada e a velocidade média.

A superfície de resposta para o consumo estimado em função das variáveis selecionadas permitiu identificar qual a combinação de distância percorrida e carga líquida transportada na qual ocorre o menor consumo de combustível em cada elemento do ciclo operacional do transporte rodoviário com o rodotrem e a carreta.

Nas menores distâncias de transporte é recomendado o uso de veículos com menor capacidade de carga, permitindo a redução do tempo de carregamento e descarregamento, ao passo que nas maiores distâncias recomenda-se o uso de veículos de maior capacidade de carga e potência, permitindo a obtenção de maior velocidade operacional e menor tempo de viagem.

A redução nos custos do transporte florestal é impactada pelo consumo de combustível dos veículos sendo possibilitada pela adoção de estratégias tais como aumento da eficiência da direção, sistemas de gestão eficientes e aumento da tecnologia em veículos e acessórios.

6 SUGESTÕES

Algumas sugestões são propostas visando à melhor eficiência do transporte rodoviário florestal com a utilização do rodotrem e da carreta.

Sendo assim, recomenda-se:

- Adotar um sistema de controle mensal em relação à duração, distância percorrida, velocidade média e carga líquida transportada das viagens carregado e vazio, carregamento e descarregamento dos veículos, no intuito de alcançar metas e prazos e, conseqüentemente, reduzir os custos de transporte rodoviário florestal;
- Reforçar o treinamento dos motoristas, envolvendo além da segurança da atividade, a utilização do sistema de telemetria, mais especificamente sobre a utilização das mensagens entre o motorista e a central de controle, facilitando a comunicação entre o motorista e a equipe de logística e maior rapidez na transmissão das informações;
- Utilizar o sistema de telemetria do veículo para controle da distribuição espacial dos veículos e melhor organização da frota, principalmente na chegada dos veículos de transporte às frentes de carregamento, evitando a formação de filas e reduzindo os tempos de viagem;
- A carga líquida transportada deve ser condizente com o PBTC, sendo responsabilidade do operador da carregadora não extrapolar a carga de madeira permitida. Para o rodotrem, transportar uma carga líquida máxima de 43.500,0 kg e para a carreta, 27.500,0 kg de madeira;
- Promover cartilhas que mostrem aos motoristas, com fácil linguagem, como utilizar a rotação e marchas corretas do motor, velocidade mínima e máxima para as etapas de viagem vazio e carregado, envolvendo também o trânsito em áreas pavimentadas e não pavimentadas, em áreas planas e declivosas e em dias secos e chuvosos;
- Para a etapa de descarregamento, deve-se manter a atividade da balança e da descarregadeira em funcionamento por 24 horas. A formação de filas no descarregamento é decorrente das paradas e mudança de turnos. Uma nova

equipe deve estar pronta a substituir a equipe que estiver em paradas operacionais;

- Para menores percursos, utilizar a carreta como veículo de transporte, pois mesmo transportando menos madeira reduz os tempos com carregamento e descarregamento, ao passo que para maiores distâncias, deve prevalecer o uso do rodotrem, com maior capacidade de carga e redução de custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anual Estatístico ABRAF 2013, ano base 2012**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf> Acesso em: 23/04/2012.

ALMEIDA, A. R. C.; BRUNSTEIN, I. Gestão de custos florestais: um estudo de caso utilizando o activity-based costing. **Gestão e Produção**. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 127-140, 1999.

ALVES, R. T. **Análise técnica e de custos do transporte florestal rodoviário**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2011.

ALVES, R. T.; FIEDLER, C. N.; 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**, v. 37, n. 5, p. 897-904, 2013.

ARCE, J. E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando à minimização de custos**. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1997.

BARRETO, J. R. F. **Indicadores da função transporte para empresas de Utility: um estudo de caso**. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1999.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA FILHO, J. V. Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso. **Revista Economia e Sociologia Rural**. v. 46, n. 3, p. 703-738, 2008.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo da integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 600 p, 2001.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de madeira**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Brasília: Gráfica e Editora Qualidade, 82 p, 2007.

BRASIL, Lei nº12.619, de 30 de abril de 2012. Dispõe sobre o exercício da profissão de Motorista para regular e disciplinar a jornada de trabalho e o tempo de direção do Motorista profissional; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Pg. 5, maio de 2012, Seção 1.

BRASIL, Resolução nº12, de 6 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a classificação dos veículos de transporte rodoviário. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Pg.89, fevereiro de 1998, Seção 1.

BRASIL, Resolução nº 211, de 13 de Novembro de 2006. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Pg. 78, abril de 2013. Seção 1.

BRASIL, Resolução nº246, de 27 de Julho de 2007. Requisitos técnicos de segurança para o transporte de toras de madeira bruta por veículo rodoviário de carga. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Pg. 104, dezembro de 2013, Seção 1.

BRASIL, Resolução nº231, de 15 de março de 2007. Estabelece o sistema de placas de identificação de veículos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Pg. 65, outubro de 2012, Seção 1.

BRAGA, A. X. V.; SOUSA, M. A.; BRAGA, D. P. G. Custo operacional de caminhão-bi-trem: aplicação atualizada e adaptada do método FAO/ América do Norte. **Custo e agronegócio on line**. Pernambuco, v. 7, n. 3, 2011. Disponível em: <www.custoseagronegocioonline.com.br>. Acesso em: 23/05/2012.

CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; LOPES, E. S.; PEREIRA, D. P.; MARIN, H. B.; SILVA, E. N. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 451-459, 2013.

CARREIRA, M. L. **Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de açúcar: um estado de caso**. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2010.

CASTILHO, A. S. Colheita e logística. **Revista Opiniões**, São Paulo, v. 27, 2012. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=805>>. Acesso em: 24/05/2012.

CASTRO, N. Formação de preços no transporte de carga. **Pesquisa e planejamento econômico**. Rio de Janeiro, v.33, n.1, 2003.

CORRÊA, C. M. C. **Perdas de solo e a qualidade da água procedente de estradas de uso florestal no Planalto Catarinense**. 310f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R.; ROLOFF, G. Bases para planejamento da rede viária em reflorestamento no Sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p.277-286, 2006.

CORRÊA JUNIOR, G.; REZENDE, M. L.; MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. Oferta de transportes: fatores determinantes do valor do frete e o caso das centrais de cargas. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S (org.). **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, p. 88-105, 2010.

COSTA, M. F. **Aplicação de meta-heurísticas no escalonamento de motoristas para o transporte de madeira**. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2012.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2013**. Confederação Nacional do Transporte, 2013. 384 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/Livros/Pesquisa_Rodovias_2013_HIGH_30.10.13.pdf>. Acesso em: 12/03/2014.

_____. **Elevação do preço do diesel em 2013**. Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/ECONOMIA%20FOCO/ECONOMIA_EM_FOCO_21_fevereiro_2013.pdf>. Acesso em: 21/03/2013.

CNT, COPPEAD. **Transporte de cargas no Brasil: ameaça de oportunidades para o desenvolvimento do País**. Disponível em: <http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2062408.PDF>. Acesso em: 29/05/2012.

DAIMLER FLEETBORAD. **Gestão do veículo: Manual do usuário**. 2008. Disponível em: <www.fleetboard.com> Acesso em: 01/03/2012.

DIRETRIZES PARA MONTAGEM DE CARROÇARIAS E EQUIPAMENTOS GERAL AXOR. Disponível em: <http://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/manual-de-implementacao/manual-de-implementacao-euro-3-axor-pt.pdf> Acesso em: 29/07/2014.

ELLER, R. A. G.; SOUSA JUNIOR, W. C.; CURI, M. L. C. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário. **Revista de Literatura dos Transportes**, v. 5, n. 1, p. 50-64, 2011.

FIBRIA. **Manual estrada segura**, 2ª edição, 2012. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/shared/midia/publicacoes/manual_fibria_estrada_segura_jan2012.pdf>. Acesso em: 20/03/2014.

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: 24/04/2012.

FREITAS, L. C.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L.; MACHADO, R. R.; MACHADO, C. C. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão Bitrem. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004.

GOEBEL, D. **Logística – Otimização do transporte e estoques na empresa**. Estudos em comércio exterior. COPPE/ UFRJ, v. 1, n. 1, 1996. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/Hytalo/artigo33>>. Acesso em: 09/04/2012.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <<http://mapas.google.com>> Acesso em: 01/08/2014.

GUIMARÃES, P. P.; ROMANO, C. A.; CATAI, R. E.; PRADO, L. N.; PELISSARI, A. L. Perfil do motorista do transporte rodoviário florestal no Município de Campo do Tenente-PR. **Enciclopédia Biosfera**. v. 9, n. 17, p. 3603-3617, 2013.

HOLZLEITNER, F.; KANZIAN, C. Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. **European Journal of Forest Research**, v. 130, p. 293-301, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 30/07/2014.

KARAGIANNIS, E.; TSIORAS, P. A.; KARARIZOS, P. Timber trucking characteristics in Greece. **Journal of Environmental Science and Engineering**. B 1, p. 1079-1086, 2012.

KLAN, R.; CUNHA, P.; SILVA, J. O.; SCARPIN, J. Utilização da programação linear na otimização de resultados de uma empresa do ramo de transporte rodoviário de cargas. **ABCustos Associação Brasileira de Custos**, v. 5, n. 1, p. 1-22, 2010.

KLIVAC, R.; KOLARIK, J.; VOLNA, M.; DRAPELA, K. Fuel consumption in timber haulage. **Croatian Journal of Forest Engineering**. v. 34, n. 2, p. 229-240, 2013.

LACOWICZ, P. G. **Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal através do uso da programação linear e otimização do processo**. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.

LACOWICZ, P. G.; BERGER, R.; TIMOFEICZYK JR., R.; SILVA, J. C. G. L. Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal com o uso da programação linear e otimização do processo. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, p.75-87, 2002.

LEITE, A. M. P. **Análise da terceirização na colheita florestal no Brasil**. 251f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

LEITE, A. M. P.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C. Análise do ciclo de transporte de madeira para três tipos de caminhões. **Revista Árvore**, v. 17, n. 2, p. 190-201, 1993.

LOPES, E. S.; CRISTO, J. F. C.; PIEPER, M. Avaliação técnica de um sistema de pesagem no carregamento florestal. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 575-581, 2006.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário**. 188f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1989.

MACHADO, R. R. **Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando rede de Petri**. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B.; MACHADO, R. R. **Transporte rodoviário florestal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa; 2º Edição, 217 p, 2009.

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.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba: Editora FUPEF, 1ª Edição, 138 p, 1998.

MALINOVSKI, J. R.; PERDONCINI, W. C. **Estradas florestais**. Irati: GTZ, 88 p, 1990.

MARQUES, R. T.; MACHADO, C. C.; BARROS, A. A. A.; SOUZA, A. P. Planejamento de um sistema de transporte florestal rodoviário com as técnicas de PERT/ CPM. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 4, p.510-547, 1995.

MARTINS, R. S.; CAIXETA FILHO, J. V. O desenvolvimento dos sistemas de transporte: auge, abandono e reativação recente das ferrovias. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 6, n. 11, p. 69-91, 1998.

Mercedes benz. Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br/ModeloDetalhe.aspx?categoria=171&conteudo=13216>> Acesso em: 26/07/2013.

MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C.; SILVA, E. N. Carregamento e descarregamento. In: MACHADO, C. C. (org.). **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, cap. 5, p. 146–160, 2008.

MORAIS, M. G. A. **Colheita e transporte de madeira: terceirização x verticalização das operações**. São Carlos, SP. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

MME, 2006. Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional 2014. Brasil.

NOVAES, A. G. Custos ABC no transporte de carga. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. (org.). **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, p. 148-181, 2010.

NURMINEN, T.; HEINONEN, J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. **Silva Fennica**, v. 41, n. 3, p. 471-487, 2007.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; CORDEIRO, S. A.; LEITE, H. G.; SILVA, J. V. Análise de processo hierárquico para gerir as estradas florestais. **Floresta e ambiente**, v. 20, n. 1, p. 38-44, 2013a.

OLIVEIRA, R. J.; GLERIANI, J. M.; MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; CORDEIRO, S. A. Análise da trafegabilidade em estradas florestais utilizando métodos computacionais. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 355-360, 2013b.

PELLISSARI, A. L. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região Sul do Estado do Mato Grosso**. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2012.

QUADROS, D. S. Apostila de rede viária florestal. FURB, 29 p, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica de projetos florestais**. Viçosa: Ed. UFV, 386 p, 2001.

RIBEIRO, A. **Modelagem e quantificação de nutrientes em povoamentos nativos de bracatinga**. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. 4 ed. rev. e ampl. SP: Aduaneiras, 243 p, 2007.

RÖSER, D.; SIKANEN, L.; ASIKAINEN, A.; PARIKKA, H.; VÄÄTÄINEN, K. Productivity and cost of mechanized energy wood harvesting in Northern Scotland. **Biomass and bioenergy**, v. 35, p. 4570-4580, 2011.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary: SAS Institute Inc. 2008. 64 p.

SANTANA, A. C. **Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local**. Belém: GTZ, TUD, UFRA, 2005.

SAVI, A. F.; CANEPPELE, F. L.; OLIVEIRA, M. R. C. Custeio de diferentes tipos de transporte rodoviário no setor madeireiro de Itapeva. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 147-154, 2012.

SCOLFORO, J. R. B. **Biometria florestal**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 352 p, 2005.

SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira.** 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1992.

SEIXAS, F.; WIDMER, J. A. Seleção e dimensionamento de frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não inteira. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.** Piracicaba, n. 46, p.107-118,1993.

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.

SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre diagrama tornado em análise de sensibilidade. In: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2004, São José dos Campos. **Anais do VIII INIC / IV EPG.** São Paulo, p. 8-11, 2004.

SILVEIRA, G. L. **Monitoramento do consumo de combustível de veículos de transporte rodoviário de madeira utilizando computador de bordo.** 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

SILVEIRA, G. L.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; FERNANDES, D. C. M. Avaliação de parâmetros de consumo de combustível do Tritem no transporte de madeira. **Revista Árvore.** Viçosa: MG, v. 28, n. 1, p. 99-106, 2004.

SOUSA, R. A. T. M. **Análise do fluxo de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto para algumas indústrias de celulose e de chapas de composição no estado de São Paulo.** 115f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

TROMBORG, E.; SJOLIE, H.; SOLBERG, B.; HOVI, I. B.; MADSLIEN, A.; VEISTEN, K. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 354-366, 2009.

VASCO, R. A. **Otimização na alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas**. 347f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

ZAGONEL, R.; CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de *Pinus taeda* no Planalto Catarinense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.