



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

FLÁVIO CIPRIANO DE ASSIS DO CARMO

**BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES CARBÔNICOS NAS OPERAÇÕES
FLORESTAIS E SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS
PLANTADAS NO ESPÍRITO SANTO**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
NOVEMBRO – 2016

FLÁVIO CIPRIANO DE ASSIS DO CARMO

**BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES CARBÔNICOS NAS OPERAÇÕES
FLORESTAIS E SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS
PLANTADAS NO ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Nilton César Fiedler

Coorientadores: Prof. Dr. Christiano Jorge Gomes Pinheiro; Prof. Dr. Amaury Paulo de Souza

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

NOVEMBRO – 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

C287b Carmo, Flavio Cipriano de Assis do, 1988-
Balço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo/ Flavio Cipriano de Assis do Carmo. – 2016.
68 f. : il.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler.

Coorientadores: Christiano Jorge Gomes Pinheiro ; Amaury Paulo de Souza.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Florestas. 2. Reflorestamento. 3. Madeira. 4. Gases estufa. 5. Mecanização florestal. I. Fiedler, Nilton Cesar. II. Pinheiro, Christiano Jorge Gomes. III. Souza, Amaury Paulo de. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

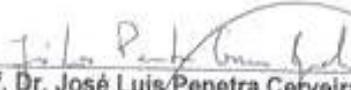
CDU: 630

**BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES CARBÔNICOS NAS OPERAÇÕES
FLORESTAIS E SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS PLANTADAS NO
ESPÍRITO SANTO**

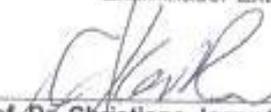
Flavio Cipriano de Assis do Carmo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 25 de novembro de 2016.



Prof. Dr. José Luis Penetra Cerqueira Lousada
UTAD
Examinador Externo



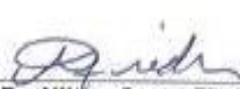
Prof. Dr. Christiano Jorge Gomes Pinheiro
UFES
Examinador Externo



Prof. Stanley Schettino
UFMG
Examinador Externo



Prof. Dr. Luciano José Minette
UFV
Examinador Interno



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Octacílio e Vanuzi e meus irmãos Francisco e Juliana pela dedicação e apoio.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Laboratório de Colheita, Ergonomia e Logística Florestal (LABCELF), pela estrutura e pelos equipamentos oferecidos. Aos professores Nilton Cesar Fiedler, Christiano Jorge Gomes Pinheiro, Luciano José Minette e Amaury Paulo de Souza pelos ensinamentos, dedicação e orientação durante a realização da pesquisa.

Ao professor José Luís Penetra Cerveira Louzada pelo incentivo, dedicação e ensinamentos durante o período de doutorado sanduiche na UTAD.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de doutorado que foi de suma importância para realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado sanduiche no exterior.

Aos amigos de república, laboratório, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e demais cursos de graduação pela convivência durante toda essa etapa.

RESUMO

CARMO, Flávio Cipriano de Assis. **BALANÇO DA EMISSÃO DE GASES CARBÔNICOS NAS OPERAÇÕES FLORESTAIS E SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS PLANTADAS NO ESPÍRITO SANTO.** 2016. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES. Orientador: Prof. Dr. Nilton César Fiedler. Coorientadores: Prof. Dr. Christiano Jorge Gomes Pinheiro e Prof. Dr. Amaury Paulo de Souza.

Com o surgimento dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), várias empresas do setor florestal estão sendo estimuladas a desenvolver projetos com técnicas de produção que reduzam as emissões dos gases de efeito estufa, visando um aumento de renda, por meio da comercialização de créditos de carbono. Assim objetivou-se com esta pesquisa quantificar a concentração de gases que são emitidos durante o funcionamento das máquinas e veículos nas atividades de produção florestal visando realizar um balanço de sequestro de carbono pela floresta. Nesta pesquisa, para a quantificação de gases e opacidade, foram avaliadas 85 máquinas de motores a diesel utilizados no setor florestal, sendo responsáveis pela execução das atividades de silvicultura, colheita florestal, transporte florestal, administração, proteção, construção e manutenção de estradas. De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, pode-se concluir que a atividade que emitiu maior quantidade de carbono para a atmosfera foi a de transporte florestal com aproximadamente 335 kgC.ha^{-1} (cerca de 56% da emissão total das atividades florestais), seguido da colheita florestal com $197,91 \text{ kgC.ha}^{-1}$ (32,98 % do total emitido), silvicultura com $53,26 \text{ kgC.ha}^{-1}$ (8,88% do total emitido), construção e manutenção de estradas com $11,18 \text{ kgC.ha}^{-1}$ (1,86 % do total emitido) e a atividade de administração e proteção teve a menor emissão por hectare ($2,86 \text{ kgC.ha}^{-1}$ aproximadamente 0,5% do total emitido). Para o balanço de carbono, verificou-se que as florestas plantadas sequestram em torno de 42 toneladas de carbono por hectare, sendo que para seu desenvolvimento, colheita e transporte da madeira é emitido aproximadamente 600 kgC.ha^{-1} (1,43% do total sequestrado pela floresta). Em relação a emissão de opacidade, verificou-se

que somente 4,71% das máquinas analisadas encontraram-se fora dos limites permitidos pela legislação vigente (CONAMA 418/09).

Palavras-chave: Reflorestamento, Gases de Efeito Estufa, Mecanização.

ABSTRACT

CARMO, Flávio Cipriano de Assis do Carmo. **BALANCE OF THE EMISSION OF CARBON GAS IN THE FOREST OPERATIONS AND CARBON SEQUESTRATION IN PLANTED FORESTS IN THE ESPIRITO SANTO.** 2016. Doctor (Doctor Sciences of Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jeronimo Monteiro-ES. Advisor: Dr. Nilton Cesar Fiedler. Co-adviser: D Prof. Dr. Christiano Jorge Gomes Pinheiro e Prof. Dr. Amaury Paulo de Souza

With the emergence of the Clean Development Mechanism, various forestry companies are being encouraged to develop projects with production techniques that reduce emissions of greenhouse gases, aiming at an increase of income through marketing carbon credits. So aim with this research to quantify the concentration of gases that are emitted during operation of machines and vehicles in forest production activities to achieve a carbon sequestration swing through the forest and the emission during the production process. In this study, both the quantification of gases as opacity. 85 diesel engine machines used in the forestry sector were assessed, responsible for the implementation of forestry activities, forest harvesting, forest transport, administration, protection, construction and maintenance of roads. According to the results obtained in the study, one can conclude that the activity that emits higher quantity of carbon to the atmosphere was forest transport approximately 335 kgC.ha^{-1} (about 56% of total emission of forestry activities) followed by forest harvesting with $197.91 \text{ kgC.ha}^{-1}$ (32.98% of the total issued), to forestry $53.26 \text{ kgC.ha}^{-1}$ (8.88% of the total issued), construction and maintenance of roads 11.18% (1.86% of the total issued) and activity management and protection had lower emissions per hectare (2.86 kgC.ha^{-1} - about 0.5% of the total emitido-). For the carbon sheet, it was found that sequesters planted forests around 42 tons per hectare of carbon, and for their development, procurement and transportation of timber 600 is delivered kgC.ha^{-1} (1.43% of Total kidnapped by the forest). Regarding the issue of opacity, it was found that only 4.71% of the analyzed machines met outside the limits allowed by law (CONAMA 418/09).

Keywords: forest harvesting, operational analysis, Mechanization.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 CAUSAS E EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	17
2.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO	18
2.3 SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS PLANTADAS.....	20
2.4 EMISSÃO DE GASES EM MÁQUINAS E VEÍCULOS	21
2.4.1 Tipos de poluentes produzidos pela queima dos combustíveis .	22
2.5 LEGISLAÇÃO SOBRE EMISSÕES DE GASES VEICULARES	24
2.6 CONTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS PARA O BALANÇO DAS EMISSÕES DE CARBONO.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.2 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ANALISADAS.....	32
3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA QUANTIFICAR OS GASES EMITIDOS PELOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA A CICLO DIESEL	35
3.4 VALIDAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM VEÍCULOS DE MOTOR A CICLO DIESEL	37
3.5 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO ANALISADOR DE GASES.....	37
3.6 QUANTIFICAÇÃO DA VAZÃO DA EMISSÃO DE GASES NO ESCAPAMENTO DAS MÁQUINAS E VEÍCULOS.....	38
3.7 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE CARBONO NO SETOR FLORESTAL.....	40
3.8 BALANÇO DE EMISSÕES DE CARBONO PELO PROCESSO PRODUTIVO E SEQUESTRO DE CARBONO PELA FLORESTA.....	42
3.9 QUANTIFICAÇÃO DA OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO	43
3.10 OPACIDADE EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS QUE UTILIZAM O SISTEMA ARLA 32.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45

4.1 VALIDAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM VEÍCULOS DE MOTOR A CICLO DIESEL	45
4.2 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO ANALISADOR DE GASES	45
4.3 QUANTIFICAÇÃO DA VAZÃO DA EMISSÃO DE GASES NO ESCAPAMENTO DAS MÁQUINAS E VEÍCULOS.....	49
4.4 BALANÇO DE EMISSÕES DE CARBONO PELO PROCESSO PRODUTIVO E SEQUESTRO DE CARBONO PELA FLORESTA.....	55
4.5 QUANTIFICAÇÃO DA OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO	56
4.6 VERIFICAÇÃO DA OPACIDADE EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS QUE UTILIZAM O SISTEMA ARLA 32.....	59
5. CONCLUSÕES.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO 1	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução dos limites internacionais de emissões de óxidos de Nitrogênio e Material Particulado	22
Figura 2. Ciclo de Carbono	25
Figura 3. Sistema de funcionamento do ARLA 32	28
Figura 4. Etapas de desenvolvimento do filtro	34
Figura 5. Demonstração do filtro de ar antes e após utilização nas máquinas e veículos florestais	34
Figura 6. Fluxograma do Sistema adaptado para coleta de dados	35
Figura 7. Utilização do equipamento analisador de gases	36
Figura 8. Utilização do anemometro para medição da velocidade dos gases de combustão	37
Figura 9. Obtenção do formato da saída do escapamento e posterior medição da área utilizando o equipamento de medição de área foliar	37
Figura 10. Equipamento opacímetro utilizado na coleta dos dados	41
Figura 11. Distribuição do teor da emissão de hidrocarbonetos (A), monóxido de carbono (B) e dióxido de carbono (C) nas diferentes atividades florestais	45
Figura 12. Vazão de escoamento dos gases em diferentes rotações do motor	49
Figura 13. Percentual de emissão de carbono por atividade realizada	52
Figura 14: Percentual da qualidade de emissão das máquinas analisadas	54
Figura 15: Vista em corte do corpo externo do filtro.	66
Figura 16 Vista lateral da estrutura do filtro.	66
Figura 17 Vista lateral externa do Filtro	67
Figura 18 Vista lateral em corte do conjunto do filtro	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Causas de mudanças climáticas	15
Tabela 2. Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera	21
Tabela 3. A evolução dos limites de emissão pela legislação brasileira confrontados aos da União Europeia.	23
Tabela 4. Legislação brasileira sobre emissão de gases veiculares	24
Tabela 5. Compromisso nacional relativo (aumento da área de adoção ou uso) e potencial de mitigação por redução de emissão de GEE.	27
Tabela 6. Descrição das operações analisadas	31
Tabela 7: Número de máquinas analisadas por atividade florestal	33
Tabela 8. Produtividade média das operações analisadas	39
Tabela 8. Densidade específica (kg.m^{-3}) dos gases emitidos pelas máquinas e veículos analisados	39
Tabela 10. Estoque de carbono (kg.árv^{-1}) na biomassa aérea em plantios de <i>Eucalyptus spp</i>	40
Tabela 11: Limites de opacidade em aceleração livre de veículos a diesel posteriores à vigência da Resolução 418/09	42
Tabela 12. Validação do uso do filtro para medição dos gases em veículos de motor a ciclo otto	43
Tabela 13. Teor de gases emitidos em diferentes rotações do motor	44
Tabela 14: Vazão volumétrica de emissão dos gases nas máquinas analisadas	48
Tabela 15. Quantificação da emissão de gases e carbono por hora efetiva de trabalho para cada operação analisada	50
Tabela 16. Emissão de carbono pelas máquinas e equipamentos analisados	51
Tabela 17. Balanço de carbono para o estudo de caso	53
Tabela 18. Opacidade medido nos escapamentos das máquinas analisadas por atividade	55
Tabela 20. Análise comparativa de emissão de opacidade entre veículos com e sem o dispositivo ARLA 32	57

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE= Gases de Efeito Estufa

CER= Certificado de Emissão Reduzida

MDL= Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

HC= Hidrocarbonetos

CO= Monóxido de Carbono

CO₂= Dióxido de Carbono

O₂= Oxigênio

NO₂= Dióxido de Nitrogênio

PFC's= Perfluorcarbonetos

C= Carbono

IPCC= Intergovernmental Panel On Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

CONAMA= Conselho Nacional de Meio Ambiente

MCT= Ministério de Minas e Energia

MMA= Ministério de meio Ambiente

MAPA= Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento

UNFCCC= United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas).

CEBDS= Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CGEE= Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CETESB= Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

IEMA= Instituto de Energia e Meio Ambiente do Estado de São Paulo

IBÁ= Indústria Brasileira de Árvores

ARLA= Agente Redutor Líquido de óxidos de nitrogênio (NOx) Automotivo.

V.E.G.M.L= Vazão da emissão de gases em marcha lenta

V.E.G.A.R= Vazão da emissão de gases em alta rotação

ppm=Parte por milhão

1. INTRODUÇÃO

Com as mudanças climáticas que vem ocorrendo no planeta, estudos estão sendo realizados para discutir o aquecimento global. Um dos principais agentes para o aquecimento global é o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), sendo eles o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os perfluorcarbonetos (PFC's). As práticas agrícolas e as mudanças do uso do solo por meio do desmatamento são as principais fontes de emissão dos GEE (DENARDIN et al, 2014). Dessa forma, em todo o planeta várias reuniões e congressos com especialistas na área ambiental estão sendo realizados com o objetivo de estabelecer metas de redução da emissão de GEE. Como exemplo, a convenção mundial sobre o meio ambiente em Kyoto no Japão no ano de 1997 estabeleceu o Protocolo de Kyoto. O documento estabelece aos países industrializados normas para a redução das emissões de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global.

Como resultado do Protocolo de Kyoto, também foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com o objetivo de auxiliar o processo de redução de emissões de GEE ou de remoção de carbono por parte dos países industrializados, sendo permitido a estes países financiarem projetos de florestamento e reflorestamento em países em desenvolvimento (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2009).

O Brasil em 2009, firmou um compromisso, voluntário, de redução das emissões de GEE, entre 36,1% e 38,9% até o ano de 2020 (BRASIL, 2009; BRIANEZI et al., 2014). Desta forma, com o financiamento de projetos de MDL, as empresas florestais brasileiras estão sendo estimuladas a desenvolverem projetos com técnicas de produção que reduzam as emissões dos GEE. Tais projetos visam um aumento de renda por meio da comercialização de créditos de carbono e por consequência uma maior viabilidade do empreendimento florestal.

Para a obtenção do CER é necessário que as empresas quantifiquem a concentração de carbono, ou seja, o sequestro de carbono, presente em suas florestas (raízes, caules, galhos e folhas) e, também quantifiquem a análise de emissão de carbono pela operação das atividades de silvicultura, colheita, transporte e processamento da madeira. Após este estudo da quantificação do

sequestro e emissão de carbono, no investimento florestal, a empresa deve propor um projeto de MDL com metodologias que reduzam a emissão desses gases, tornando-se assim aptas a obter o certificado de emissões reduzidas e, posteriormente, a comercialização do crédito de carbono no mercado mundial.

Sendo assim, foi objeto de estudo a quantificação da emissão de gases de efeito estufa no processo produtivo florestal no estado do Espírito Santo.

1.1. OBJETIVOS

Como objetivo geral, esta pesquisa visou quantificar a emissão de gases de efeito estufa no processo produtivo florestal para realização do balanço da emissão de gases e sequestro de carbono em florestas plantadas no Estado Espírito Santo.

Os objetivos específicos foram:

- Desenvolver um filtro para adaptar equipamento de quantificação de gases produzidos para o ciclo diesel.
- Validar da adaptação do sistema de medição em veículos de motor a ciclo diesel.
- Quantificar da emissão de gases por meio da utilização do analisador de gases nas máquinas e veículos do processo produtivo florestal.
- Realizar um balanço de emissões de carbono pelo processo produtivo e sequestro de carbono pela floresta.
- Quantificar a opacidade (fumaça preta) das máquinas e veículos do processo produtivo florestal e comparar com a legislação vigente.
- Analisar a opacidade em relação aos veículos que utiliza o sistema ARLA 32.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CAUSAS E EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Sobre as mudanças climáticas globais, a história natural evidencia que a temperatura da superfície da terra não sofreu mudanças de forma uniforme. Houveram períodos mais quentes se intercalando com períodos menos quentes ao longo de toda a história natural do planeta (MENDONÇA, 2003).

Segundo McGregor e Nieuwolt (1998), as “mudanças climáticas podem ser consideradas em duas escalas temporais: mudanças de longa duração que são superiores a 20.000 anos e mudanças de curta duração que podem ocorrer entre 100 e 20.000 anos. A variabilidade climática refere-se a mudanças de década a década e de ano a ano”. Para esses autores, as mudanças climáticas teriam suas origens relacionadas a causas externas, fatores internos e às atividades humanas (Tabela 1).

Tabela 1. Causas de mudanças climáticas

CAUSAS EXTERNAS	FATORES INTERNOS	ATIVIDADES HUMANAS
Mudanças na órbita do planeta – Variação na radiação	Mudanças na circulação oceânica	Queima de combustíveis fósseis (emissão de CO, CO ₂ e hidrocarbonetos)
	Mudanças na composição de gases na atmosfera (principalmente CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O e O ₃)	Lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera
		Desmatamento.
		Modificação climática em escala regional e local.

FONTE: Adaptado de McGregor e Nieuwolt (1998) e Mendonça (2003).

Candido et al. (2007) afirmam que as mudanças climáticas globais foram provocadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera após a revolução industrial. De acordo com Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas- IPCC (2007) haverá, no decorrer deste século, um aumento de temperatura por todo o planeta, sendo mais severo sobre os continentes do que sobre os oceanos. Essa variação no clima pode ser um dos problemas ambientais mais complicados e desafiantes, na qual as ações negativas e as omissões na diminuição dos GEE terão efeitos sobre as gerações futuras.

No final do século XIX, o cientista sueco Svante August Arrhenius pressupôs que o crescente volume de dióxido de carbono emitido pelas indústrias estaria modificando a composição da atmosfera, o que poderia acarretar em um aquecimento da superfície terrestre. Entretanto, a sociedade científica internacional passou a interessar-se pelo assunto apenas no final dos anos 70. (MÜLLER, 2002).

Para o IPCC (2001), a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) aumentou 13% desde 1750. Aproximadamente 75% das emissões antropogênicas de CO₂ para atmosfera, durante os anos 80 e 90 do século XX, foram devido à queima de combustíveis fósseis, derivados do petróleo. Os outros 25% foram devido a alterações no uso da terra, especialmente relacionado ao desmatamento.

2.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

A terceira conferência partes da convenção-quadro da ONU sobre mudanças climáticas dos países, realizada na cidade de Kyoto, Japão, no ano de 1997, procurou encontrar um mecanismo que conduzisse à retomada da sustentabilidade, tendo em vista os diferentes níveis de desenvolvimento em que se encontram os vários países do mundo (CHACON, 2007).

Nessa convenção foi criado o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que teve origem na proposta brasileira de criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que seria formado por meio de recursos financeiros dos países desenvolvidos que não cumprissem suas obrigações quantificadas de redução ou limitação de emissões de gases de efeito estufa (MCT, 2009).

Em Kyoto, os países compromissados a reduzir as emissões de GEE estabeleceram três mecanismos de flexibilização para alcance das metas preestabelecidas para os países (NISHI et al, 2006). Conforme UNFCCC (2010), os mecanismos de Kyoto foram o comércio de emissões (CE), conhecido como "mercado de carbono, mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e implementação conjunta (IC)".

Os mecanismos de Kyoto devem estimular o desenvolvimento sustentável por meio da transferência de tecnologia e investimento, ajudar os países compromissados a alcançarem os seus objetivos de redução de emissões ou remoção de carbono da atmosfera e incentivar o setor privado e os países em desenvolvimento a contribuir com os esforços de redução de emissões (UNFCCC, 2010).

O MDL tem por objetivo a mitigação de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento, investimentos em tecnologias mais limpas, eficiência energética e fontes alternativas de energia (CEBDS, 2001).

A regulamentação do MDL, conforme o Ministério de Meio Ambiente - MMA (2002) permite o desenvolvimento de diversos esquemas de projetos que podem ser realizados de forma unilateral, na qual um país em desenvolvimento (ou entidades legais autorizadas) adquire certificados de outro país em desenvolvimento para negociação futura com um país desenvolvido. A negociação também pode ocorrer com um país em desenvolvimento que adquire certificados de projetos implementados no próprio país para negociação posterior com um país desenvolvido.

Segundo Miguez (2002), outros modos de negociações de mercado são a forma bilateral e a forma multilateral. Na forma Bilateral um país em desenvolvimento negocia diretamente com um país desenvolvido. Na forma multilateral os países desenvolvidos podem se reunir em fundos de investimentos (como no Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial) e adquirir certificados de um país em desenvolvimento ou podem estabelecer centros de intercâmbios (Bolsas ou "*clearing houses*", incluindo Internet) em que os certificados são negociados (compra e venda).

De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos –CGEE- (2008), dentro das modalidades contempladas pelo MDL, encontram-se as atividades de florestamento/reflorestamento, únicas previstas para elaboração de projetos relacionados à mudança no uso da terra e florestas. Desse modo,

projetos de MDL na modalidade florestamento e reflorestamento (Projetos Florestais de MDL) podem ser conduzidos por países em desenvolvimento. O Brasil tem grande potencial de uso da terra para esse fim, pelo fato das extensas áreas desflorestadas e de terras com pastagem, agricultura e mineração.

2.3 SEQUESTRO DE CARBONO EM FLORESTAS PLANTADAS

As florestas desempenham papel significativo na regulação da concentração atmosférica de gás carbônico. Um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, devido a sua capacidade de estocar por longo prazo quantidades de carbono na vegetação, por meio da fixação de carbono da atmosfera na fotossíntese e a sua emissão pela respiração (HOSOKAWA et al., 1998). Dessa forma, as florestas podem vir a ser fontes de carbono para a atmosfera quando perturbadas pela ação antrópica ou natural (fogo, uso de procedimentos inadequados na colheita, conversão em uso não florestal do solo).

Assim, uma alternativa viável para amenizar o agravamento da emissão dos GEE consiste no armazenamento do carbono atmosférico a partir de reflorestamento em larga escala. Os vegetais, utilizando-se de sua capacidade fotossintética, fixam o CO₂ atmosférico, biossintetizando-o na forma de carboidratos, sendo por fim depositado na parede celular, processo conhecido como “sequestro” de carbono (RENNER, 2004).

O fluxo de CO₂ nas florestas plantadas, ocorre na corrente que existe entre as árvores (fixadores de carbono), o ar (reservatório de CO₂) e o solo (liberação de CO₂ a partir da matéria orgânica morta). As florestas são o maior reservatório de carbono, contendo cerca de 80% de todo o carbono estocado na vegetação terrestre e cerca de 40% do carbono presente nos solos (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2002).

A estimativa do estoque de carbono das florestas plantadas pode ser obtida pelo produto da biomassa florestal e concentração de carbono. Segundo Brown et al. (1989) e Cordeiro Neto (2014), as estimativas de biomassa e carbono é realizada por meio de métodos diretos e indiretos. O método direto consiste na derrubada e pesagem e determinação elementar dos componentes da madeira de todas as árvores que ocorrem em parcelas fixas e no método

indireto, as estimativas são obtidas por meio de modelos matemáticos tais como por análises de regressões.

2.4 EMISSÃO DE GASES EM MÁQUINAS E VEÍCULOS

Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente do Estado de São Paulo - IEMA (2013), o transporte respondeu por 63% da distribuição percentual das emissões de GEE no estado de São Paulo em 2011, seguido das indústrias com 14,8%, resíduos 14,5% e geração de energia elétrica com aproximadamente 5%. No período de 2003 a 2011 houve um aumento de 17,8% nas emissões oriundas do setor de transporte. De acordo com estudos realizados por Esteves et al. (2007), na cidade de São Paulo, 90% da emissão de poluentes é proveniente de fontes móveis oriundas de veículos leves de passageiros, leves comerciais e veículos pesados.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB- (2004), as emissões de poluentes originadas pelos veículos e máquinas podem ser divididas nas seguintes categorias:

- Emissão de gases e partículas para a atmosfera pelo escapamento do veículo;
- Emissões de gases do cárter do motor;
- Emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- Emissões evaporativas de combustíveis, associada ao armazenamento e abastecimento de combustíveis.

Os gases emitidos pelo tubo de escapamento das máquinas e veículos são constituídos pelos produtos gerados durante reação de combustão incompleta que ocorre no motor. Na queima do combustível, os gases de exaustão são constituídos basicamente por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC) que são considerados gases poluentes. Dessa forma, com o objetivo de reduzir as emissões dos veículos automotores e incentivar o desenvolvimento tecnológico na área automotiva, o Governo Federal, por meio da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA Nº 18 de 1986, instituiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Com a

adoção desse programa, os fabricantes passaram a produzir veículos menos poluentes (DUTRA et al., 2004).

Segundo Teixeira et al. (2008), os veículos pesados movidos a diesel (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto), movidos a gasolina e a álcool, são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

2.4.1 Tipos de poluentes produzidos pela queima dos combustíveis

Na Tabela 2, estão descritos os principais poluentes emitidos pelas máquinas e frota de veículos.

Tabela 2 – Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais
Material Particulado	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Gás incolor, com forte odor. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível (refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes).
Óxido de Nitrogênio (NO_x)	Gás marrom avermelhado, com odor forte. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta dos combustíveis fósseis em veículos automotores.
Dióxido de Carbono (CO₂)	Gás incolor, inodoro	Combustão de combustíveis fósseis, incêndios, desmatamento e pela decomposição bacteriana de matéria orgânica.
Ozônio (O₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais. Principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.

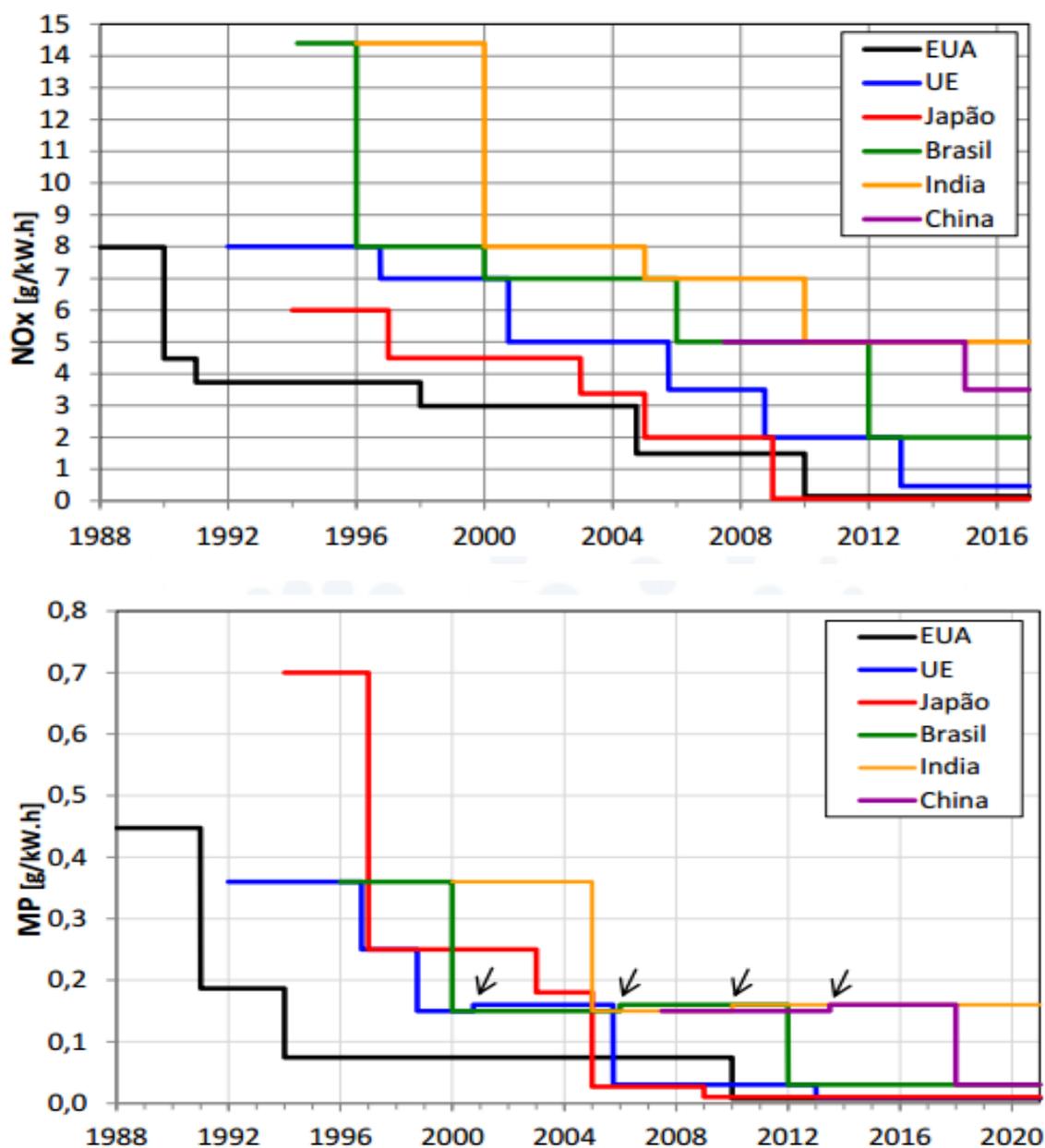
Fonte: adaptado de Santos (2001); Yip (2002); Moraes (2005); Friedman (2009); CETESB (2013).

2.5 LEGISLAÇÃO SOBRE EMISSÕES DE GASES VEICULARES

A partir da década de 60, surgiu as primeiras leis para controle da emissão de gases em veículos nos Estados Unidos da América, sendo que a partir de 1970 no Japão estes passaram a adotar sistemas de conversores catalíticos e de controle de emissão (FAIZ et al, 1996).

A Figura 1, apresenta a evolução dos limites internacionais de emissões de óxidos de Nitrogênio e Material Particulado (IEMA, 2015).

Figura 1. Evolução dos limites internacionais de emissões de óxidos de Nitrogênio e Material Particulado



Fonte: IEMA, 2015

De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IEMA, 2015), as normas brasileiras relativa ao controle das emissões em veículos teve como base as regulamentações adotadas na União Europeia. Atualmente a Legislação Brasileira adota a fase P-7 do PROCONVE que é baseada na fase EURO V. Conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Evolução dos limites de emissão pela Legislação Brasileira confrontados aos da União Europeia.

UE(1)		Brasil			Procedim. de ensaio	CO	HC	NMHC ⁽²⁾	CH ₄ ⁽²⁾	NO _x	MP
Fase	Ano	Fase	Ano								
			Ônibus	Caminhão							
						g/kWh					
-		P-1	1987	1989	NBR 7026/7027	Somente índice de fumaça (teor de fuligem)					
Euro 0	1988	P-2	--	1994/1996	ECE R49	11,2	2,4	-	-	14,4	-
Euro I	1991	P-3	1994	1996/2000	ECE R50	4,5	1,1	-	-	8	0,36
Euro II	1996	P-4	1998	2000/2002	ECE R51	4	1,1	-	-	7	0,15
					ESC ⁽³⁾	2,1	0,66	-	-	5	0,1
Euro III	2000	P-5	2004/2005	2005/2006	ETC (4)	5,45	-	0,78	1,6	5	0,16
Euro IV	2005	P-6	2009		ESC	1,5	0,46	-	-	3,5	0,02
					ETC	4	-	0,55	1,1	3,5	0,03
Euro V	2008	P-7	2012		ESC	1,5	0,46	-	-	2	0,02
					ETC	4	-	0,55	1,1	2	0,03

Fonte: IEMA, 2015

De acordo com este mesmo instituto, as principais normas brasileiras de controle de emissão de gases veiculares, encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4- Legislação Brasileira sobre emissão de gases veiculares

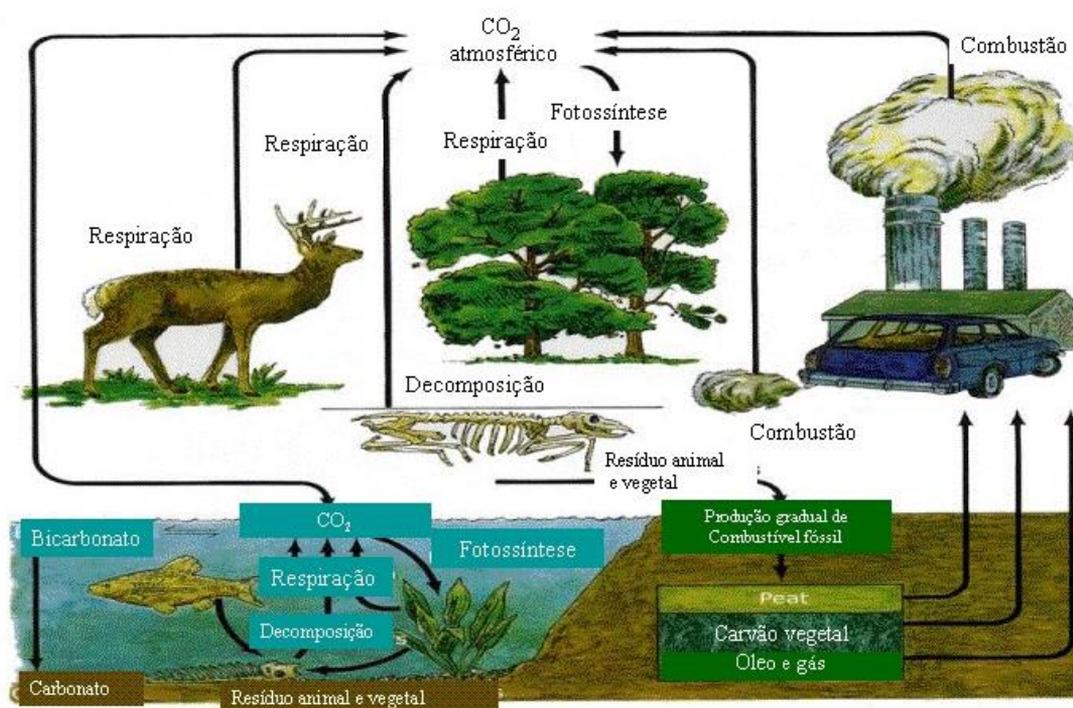
Data da publicação	Legislação	Assunto
17/06/86	Resolução CONAMA nº 18/86	Dispõe sobre a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE
25/08/89	Resolução CONAMA nº 03/89	Dispõe sobre níveis de emissão de aldeídos no gás e escapamento de veículos automotores.
25/08/89	Resolução CONAMA nº 04/89	Dispõe sobre níveis de emissão de hidrocarbonetos por veículos.
29/10/93	Lei nº 8.723/93	Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências
30/12/94	Resolução CONAMA nº 27/94	Fixa novos prazos para cumprimento de dispositivos da Resolução CONAMA nº 08/93, que complementa a Resolução nº 18/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados.
29/08/97	Resolução CONAMA nº 226/97	Estabelece limites máximos de emissão de fuligem de veículos automotores, as especificações para óleo diesel comercial e o cronograma de implantação do programa de melhoria do óleo diesel.
20/11/02	Resolução CONAMA nº 315/02	Dispõe sobre as novas etapas do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE
25/09/09	Resolução CONAMA nº 415/09	Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências.

Fonte: IEMA, 2015

2.6 CONTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS PARA O BALANÇO DAS EMISSÕES DE CARBONO

As florestas plantadas oferecem grande potencial, para imobilização do carbono atmosférico como apresentado na Figura 2. Segundo Sedjo (2001) e Nascimento et al (2011), os reflorestamentos participam do ciclo de carbono por meio da troca de CO_2 com o ambiente através de processos de fotossíntese, respiração, decomposição e emissões associadas a distúrbios como fogo e à exploração florestal.

Figura 2. Ciclo do Carbono



Fonte: Disponível em: http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q_ciclocarbono.html Acesso: 28 de novembro de 2016

De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2015), as florestas plantadas contribuem para a produção de madeira, na qual estas produzem anualmente 1,4 bilhão de m^3 de madeira, suprimindo mais de 35% do consumo mundial. Além disso, as florestas plantadas são benéficas para produção de serviços ambientais, tais como a proteção e fortalecimento da biodiversidade, recuperação de áreas degradadas, aumento da fertilidade do solo e da

reciclagem de nutrientes e na mitigação do efeito estufa por meio da fixação atmosférica do gás carbônico (CO₂).

Dessa forma, os reflorestamentos se apresenta como alternativa tecnológica que viabiliza a geração de renda e o aumento do sequestro de carbono da atmosfera, contribuindo para atenuar os efeitos das mudanças climáticas. O programa de reflorestamento foi incluído no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), como parte do compromisso internacional assumido pelo Brasil, em 2009, de reduzir suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% até 2020 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA, 2012).

Também segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2012), este plano de agricultura de baixa emissão de Carbono é um dos programas elaborados de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010 e tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos firmados pelo Brasil para redução da emissão de GEE no setor agropecuário. Este plano é composto por sete programas:

- Programa 1: Recuperação de Pastagens Degradadas;
- Programa 2: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs);
- Programa 3: Sistema Plantio Direto (SPD);
- Programa 4: Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN);
- Programa 5: Florestas Plantadas;
- Programa 6: Tratamento de Dejetos Animais;
- Programa 7: Adaptação às Mudanças Climáticas.

A expectativa do plano é aumentar a área de florestas plantadas, até 2020, de seis milhões de hectares para nove milhões de hectares. Este acréscimo poderá resultar em uma redução de oito a dez milhões de toneladas de CO₂ equivalentes. O MAPA (2012) também prevê um avanço na recuperação de 15 milhões de hectares de áreas degradadas, saindo dos atuais 40 milhões para 55 milhões, reduzindo entre 83 e 104 milhões de toneladas de

CO₂ equivalentes. A fixação biológica do nitrogênio auxilia no sequestro de carbono, com impacto positivo para a mitigação do aquecimento global. Estima-se que o recurso, em 2012, seja empregado em 16,5 milhões de hectares ante os 11 milhões de hectares neste ano.

Tabela 5. Compromisso nacional relativo (aumento da área de adoção ou uso) e potencial de mitigação por redução de emissão de GEE.

Processo Tecnológico	Compromisso (aumento de área/uso)	Potencial de Mitigação (milhões Mg CO₂ eq)
Recuperação de Pastagens Degradadas ¹	15,0 milhões ha	83 a 104
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ²	4,0 milhões ha	18 a 22
Sistema Plantio Direto ³	8,0 milhões ha	16 a 20
Fixação Biológica de Nitrogênio ⁴	5,5 milhões ha	10
Florestas Plantadas ⁵	3,0 milhões há	-
Tratamento de Dejetos Animais ⁶	4,4 milhões m ³	6,9
Total	-	133,9 a 162,9

Nota: ¹Por meio do manejo adequado e adubação. Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.; ²Incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs). Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.; ³Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.; ⁴Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.; ⁵Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia; e, não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE.; ⁶Base de cálculo foi de 1,56 Mg CO₂eq.ha⁻¹.m⁻³.

Fonte: MAPA (2012)

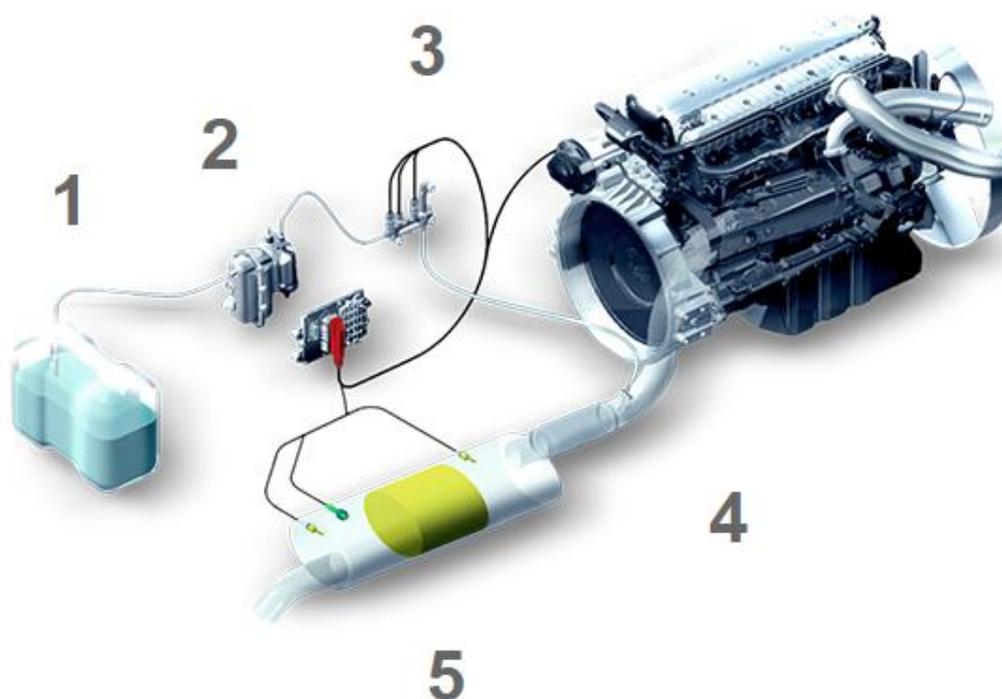
2.6 OPACIDADE E SISTEMA DE REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA (SCR)

De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2014) opacidade é a fração da luz emitida pela fonte do opacímetro (instrumento utilizado para determinar a opacidade da fumaça gerada por um motor de ignição por compressão, captando parte da fumaça expelida pelo cano de descarga) que não atinge o receptor.

A partir de janeiro de 2012, o PROCONVE estabeleceu limites rigorosos para a emissão de poluentes pelos veículos diesel. Dessa forma, uma das

tecnologias adotadas pela indústria para reduzir as emissões foi o sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR), que utiliza o ARLA 32 (A sigla ARLA é a abreviação de Agente Redutor Líquido de óxidos de nitrogênio (NOx) Automotivo. O número 32 refere-se ao nível de concentração da solução de ureia (32,5%) em água desmineralizada) como reagente químico para neutralizar os gases tóxicos, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Sistema de funcionamento do ARLA 32



*Nota:1= Tanque de ARLA 32; 2= Bomba de transferência; 3= Dosador; 4= Injetor de ARLA 32; 5= Catalizador

Fonte: MERCEDEZ-BENZ (2016)

O ARLA 32 é um reagente que é usado juntamente com o sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) para reduzir quimicamente as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) presentes nos gases de escapamento dos veículos a diesel. É uma solução não inflamável, não tóxica, não perigosa e não explosiva e, portanto, muito segura. Não é nocivo ao meio ambiente e está classificado na categoria dos fluidos transportáveis de baixo risco (PETROBRAS, 2016).

Essa tecnologia possibilita a redução da emissão de NOx em 60% e de material particulado em 80%, contribuindo para a preservação do Meio

Ambiente. O consumo médio esperado é da ordem de 5% do consumo de óleo diesel, podendo variar dependendo das condições de uso do veículo e de tráfego (MERCEDIZ-BENZ, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada com base na área plantada de eucalipto e pinus no Estado do Espírito Santo, que segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2016) é de aproximadamente 230.000 hectares (média de 227.300 hectares de eucalipto e 2.700 hectares de pinus). Os principais usos para a madeira de reflorestamento no estado são para a indústria de celulose, energia, madeira serrada e móveis. As áreas florestais do Estado são pertencentes a empresas florestais e produtores rurais fomentados e independentes.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação pluviométrica média anual de 1.390 mm, distribuída no período chuvoso de outubro a março, com médias totais mensais variando entre 130 mm a pouco mais de 200 mm e com temperatura média anual de 24,88 °C (GARAY et al., 2003; ALMEIDA et al., 2008; BRANCO, 2016)

3.2 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ANALISADAS

Nesta pesquisa foram analisadas as atividades de silvicultura, colheita florestal, transporte, administração e proteção, manutenção de estradas conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6. Descrição das operações analisadas

Atividade	Operação	Ilustração	Função
Silvicultura	Aceiro		Capina de uma faixa nas margens das áreas plantadas (aproximadamente 3 metros de largura) para maior proteção contra incêndios. Realizado com o uso de trator.
	Afastamento de Resíduos		Trator agrícola com implemento para limpeza da linha de plantio acoplado ao trator pela barra de tração a fim de promover a desobstrução da linha de plantio.
	Subsolagem com Adubação Fosfatada		Trator agrícola com haste acoplada com o intuito de remover a camada compactada do solo e, ao mesmo tempo, realizar a aplicação da adubação de plantio.
	Plantio		Trator agrícola com tanque acoplado, abastecido com água e gel hidratado. São plantadas 5 linhas consecutivas pelos trabalhadores operando as mangueiras acopladas às matracas plantadoras.
	Capina química		Trator agrícola com tanque acoplado para aplicação de herbicida pós-emergente na entre linha de plantio para eliminação de ervas daninhas indesejáveis.
	Roçada		Trator agrícola com rocadeira acoplada para eliminação de ervas daninhas indesejáveis entre as linhas de plantio.
	Adubação		Trator agrícola com adubadora acoplada.
Colheita Florestal	Corte Florestal		Colhedor florestal executa as atividades de derrubada, descascamento, desgalhamento e destopamento em toras de 6,0 m de comprimento.

Cont..

Atividade	Operação	Ilustração	Função
Colheita Florestal	Extração Florestal		Trator florestal autocarregável executa as atividades de extração (baldeio) e empilhamento da madeira na margem das estradas florestais.
	Carregamento		Carregamento e arrumação das toras no compartimento de carga do veículo de transporte (margem da estrada).
	Descarregamento		Retirada das toras do compartimento de carga do veículo de transporte e arrumação no pátio de estocagem de madeira.
Transporte Florestal	Transporte		Realiza o transporte de madeira dos talhões até o pátio de depósito da fábrica ou local de uso final.
Administração e proteção	Veículo leve (camionete)		Função de apoio administrativo e proteção às áreas florestais.
	Caminhão Pipa		Apoio no combate aos incêndios florestais.
	Ônibus		Transporte de funcionários e apoio no combate aos incêndios florestais..
Conservação de estradas	Rolo Compressor		Compactação do solo
	Motoniveladora		Nivelamento da estrada.
	Retro-escavadeira		Retirada de saibro e escavações para escoamento da água pluvial.

A coleta de gases e a avaliação da opacidade foram realizadas em 85 máquinas de motor a ciclo diesel utilizados no setor florestal, sendo 39 máquinas responsáveis pela realização das atividades de silvicultura, 7 de colheita florestal, 10 veículos de transporte florestal, 20 para administração, proteção e 9 de construção e manutenção de estradas, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Número de máquinas analisadas por atividade florestal

Atividade	Operação	Nº de máquina analisada
Silvicultura	Aceiro	3
	Afastamento de resíduos	3
	Subsolagem	2
	Plantio	4
	Capina química	8
	Roçada mecânica	9
	Adubação	10
Colheita Florestal	Corte	2
	Extração	2
	Carregamento	2
	Descarregamento	1
Transporte florestal	Transporte de madeira	10
Administração e proteção	Veículos Leve	12
	Ônibus	5
	Caminhão Pipa	3
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	2
	Motoniveladora	2
	Retroescavadeira	5

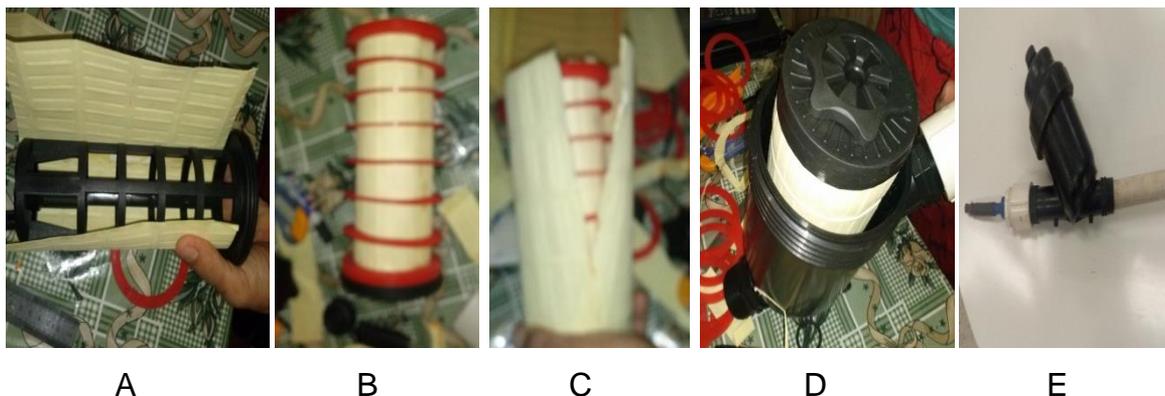
3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA QUANTIFICAR OS GASES EMITIDOS PELOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA A CICLO DIESEL

Em virtude do equipamento analisador de gases utilizado na pesquisa ser utilizado para avaliação de motor de combustão interna a ciclo otto, houve a necessidade de desenvolver um filtro (Figura 4 e Anexo 1) para possibilitar a quantificação dos gases emitidos pelos motores do ciclo Diesel.

O filtro tem a função de reter os materiais particulados dos gases emitidos no escapamento das máquinas e veículos analisados. Assim é

possível analisar os gases emitidos sem a presença de materiais particulados (que pode danificar o funcionamento do equipamento).

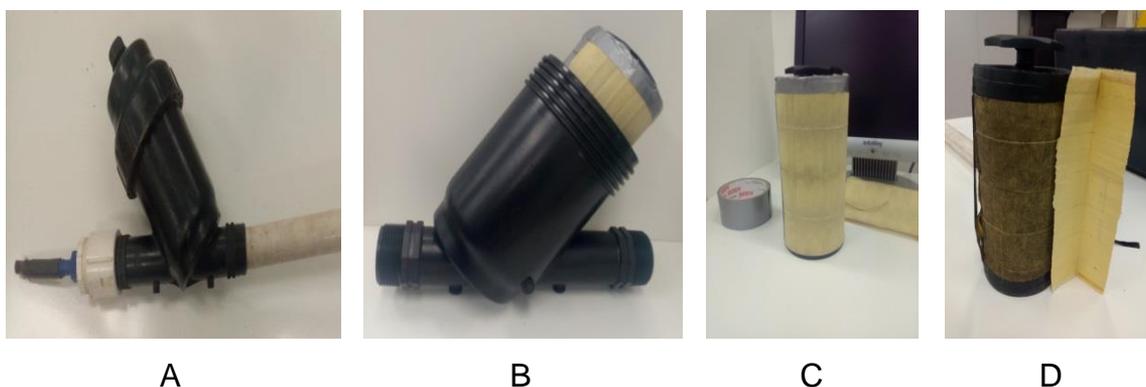
Figura 4. Etapas de desenvolvimento do filtro



*Nota: A= 1ª camada do filtro de ar; B= Filtro de água para separação entre as camadas de filtro de ar; C= 2ª camada do filtro de ar; D= Vista interna do filtro desenvolvido; E= Vista externa do filtro desenvolvido.

Conforme apresentado na Figura 4, o filtro desenvolvido nesta pesquisa é constituído por um filtro de irrigação adaptado com 3 camadas de filtro de ar automotivo. Desta forma, retém os materiais particulados de forma a proporcionar somente o escape dos gases de combustão conforme verificado na Figura 5.

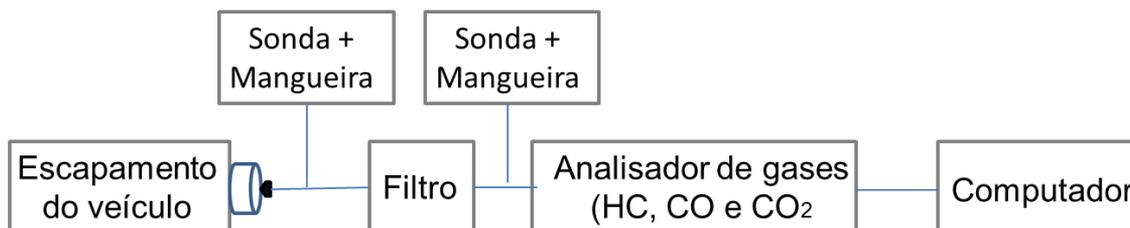
Figura 5. Demonstração do filtro de ar antes e após utilização nas máquinas e veículos florestais



*Nota: A= Vista externa do filtro desenvolvido. B= Vista interna do filtro desenvolvido; C= Camada do filtro de ar antes da utilização; D= Camada do filtro de ar antes e após a utilização.

Dessa forma a coleta dos dados foi realizada conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma do Sistema adaptado para coleta de dados



Conforme observado na Figura 6, o sistema adaptado para a coleta de dados, consiste na utilização de duas mangueiras, sendo uma inserida no interior do escapamento das máquinas e veículos, o qual propicia o deslocamento dos gases até a entrada do filtro e a outra introduzida na saída do filtro, na qual tem a função de coletar os gases filtrados para serem posteriormente analisados pelo aparelho analisador de gases.

3.4 VALIDAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM VEÍCULOS DE MOTOR A CICLO DIESEL

Para validar a eficiência do filtro desenvolvido, foram realizadas medições em quatro veículos de ciclo otto, na qual verificou a emissão dos gases sem a presença do filtro e com posterior utilização do filtro, a fim de detectar se há variação nos teores dos gases captados pelo equipamento analisador de gases.

Para análise estatística a fim de verificar a eficiência do filtro, foi considerado um delineamento inteiramente casualizado ao nível de 99% de probabilidade pelo teste t, tendo sido comparados os valores obtidos com e sem a utilização do filtro.

3.5 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO ANALISADOR DE GASES

Para quantificar a real emissão de gases durante o funcionamento das máquinas e da frota de veículos, foi utilizado um equipamento analisador de

gases (marca Alfatest, modelo Multigas Discovery G4) que possibilitou quantificar a emissão de cada tipo de gas (HC, CO, CO₂), conforme ilustrado nas Figuras 7.

Figura 7: Utilização do equipamento analisador de gases



Os gases foram captados no duto do escapamento do veículo por meio de uma sonda, passando por um processo de separação da água mais particulados por meio dos filtros e em seguida dirigidos ao banco de medição. Um feixe de luz de raios infravermelhos, gerados por um transmissor é enviado através dos filtros óticos para os elementos de medição.

Os gases presentes no banco de medição (Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂) e Hidrocarbonetos (HC)), em função de sua concentração, absorvem os raios infravermelhos em comprimentos de ondas específicos para ser quantificado pelo aparelho analisador de gases.

3.6 QUANTIFICAÇÃO DA VAZÃO DA EMISSÃO DE GASES NO ESCAPAMENTO DAS MÁQUINAS E VEÍCULOS

A quantificação da vazão volumétrica da emissão dos gases de combustão foi obtido por meio da medição da velocidade de escoamento dos gases emitidos ($m.s^{-1}$), determinado com o auxílio de um anemometro modelo S&E 400 (conforme Figura 8) e pela obtenção da área do escapamento (m^2)

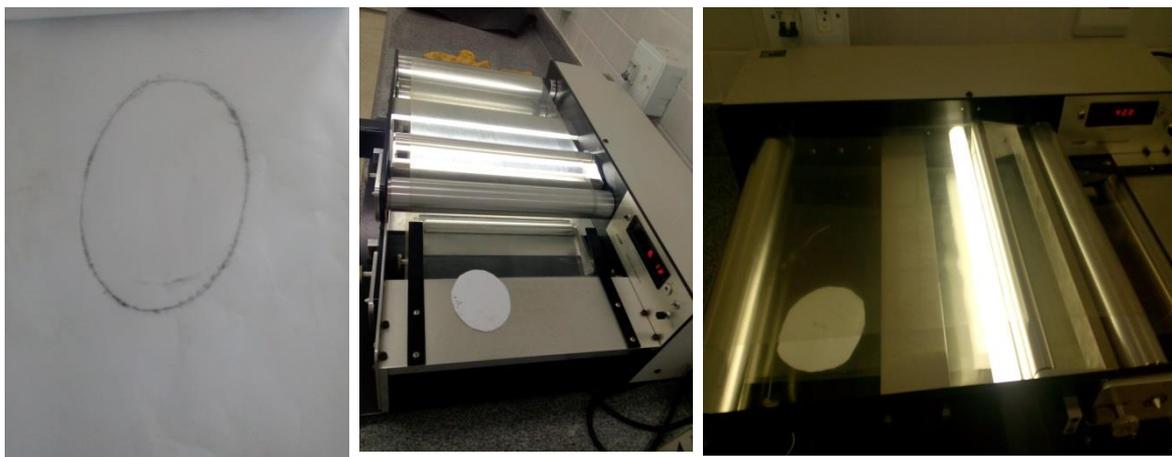
através de um equipamento para medição de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100, conforme Figura 8).

Figura 8: Utilização do anemometro para medição da velocidade dos gases de combustão



Na Figura 9, é demonstrado a obtenção da área do escapamento (cm^2) através de um equipamento para medição de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100).

Figura 9: Obtenção do formato da saída do escapamento e posterior medição da área utilizando o equipamento de medição de área foliar



A

B

C

Nota: A= Formato do escapamento obtido por meio do contato direto entre o papel A4 e o escapamento; B e C= Determinação da área do escapamento das máquinas e veículos avaliados.

Desta forma, com a obtenção da velocidade de escoamento e da área de secção do escapamento, pode-se calcular a vazão volumétrica a partir da equação 1:

$$Q_v = V.A \quad \text{equação 1}$$

Em que: Q_v = Vazão volumétrica ($m^3.he^{-1}$)

V = é a velocidade do escoamento ($m.he^{-1}$) e

A = é a área da seção transversal do escapamento (m^2).

3.7 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE CARBONO NO SETOR FLORESTAL

As análises foram realizadas considerando que todas as operações analisadas eram executadas de forma mecanizada, como acontece na maior parte das áreas plantadas no Estado, provenientes de relevo planos ou parcialmente inclinados com possibilidade de mecanização.

Para esta pesquisa, adotou-se 3 cenários de transporte, com distâncias médias de 30 km, 152 km e 270 km entre as áreas de produção e de consumo da madeira, na qual a capacidade de carga média dos veículos utilizados foi de 30 m^3 por viagem. Dessa forma adotando uma velocidade média regional de 40 $km.he^{-1}$ obteve-se uma produtividade média para os três cenários de 3,98 $m^3.he^{-1}$.

Para determinação da densidade de estradas florestais no estado do Espírito Santo, adotou-se dois cenários de relevo, sendo 75% das áreas florestais caracterizados como planas e 25% de áreas declivosas. Conforme resultados obtidos por Zagonel et al (2008) e Carmo et al (2013), para povoamentos florestais em áreas planas a densidade ótima de estradas é de aproximadamente 30 metros lineares por hectare, enquanto para áreas declivosas é de aproximadamente 125 metros lineares por hectare.

Dessa forma, com os dados do IBÁ (2016), o estado possui aproximadamente 230.000 ha de florestas plantadas. Logo adotando os dois cenários de declividade, têm-se 172.500 ha situados em áreas planas, resultando em 5.175 km de extensão em estradas florestais para este cenário e 7.187,5 km de extensão em estradas florestais em áreas declivosas. Assim, o total estimado é de 12.362,5 km de estradas florestais no estado do Espírito

Santo, o que resulta em aproximadamente 53,75 metros de estradas por hectare de floresta plantada.

A produtividade média das operações analisadas neste estudo, foi estabelecida por meio de estudos de tempos e movimentos com o uso do método de tempos contínuos, obtidos na pesquisa e por estudos realizados por Plaster (2010) e Campos (2013) no estado do Espírito Santo, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Produtividade média das operações analisadas

Atividade	Operação	Produtividade
Silvicultura	Aceiro*	1,47 ha.he ⁻¹
	Afastamento de resíduos	1,21 ha.he ⁻¹
	Subsolagem	1,15 ha.he ⁻¹
	Plantio	1,84 ha.he ⁻¹
	Capina química*	1,44 ha.he ⁻¹
	Roçada mecânica*	4,97 ha.he ⁻¹
	Adubação*	2,75 ha.he ⁻¹
Colheita Florestal	Corte	19 m ³ .he-1
	Extração	33,84 m ³ .he-1
	Carregamento	80 m ³ .he-1
	Descarregamento	80 m ³ .he-1
Transporte florestal	Transporte de madeira	3,98 m ³ .he-1
Administração e proteção	Veículos Leve	4,88 ha.he ⁻¹
	Ônibus	11,57 ha.he ⁻¹
	Caminhão Pipa	4,21 ha.he ⁻¹
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	3.35 ha.he ⁻¹
	Motoniveladora*	3.35 ha.he ⁻¹
	Retroescavadeira	3.35 ha.he ⁻¹

Fonte: Adaptado de Plaster (2010), Campos (2013) e dados obtidos na pesquisa.

Nesta pesquisa considerou-se que a atividade de aceiro é realizada todos os anos. Assim, a atividade é realizada em seis momentos até o corte da madeira. Para a capina química e adubação adotou-se 3 aplicações por hectare e para a roçada mecânica adotou-se 4 aplicações por hectare. Para as operações de construção de estradas foi adotado um valor médio de produtividade regional de 3 metros lineares por minuto, na qual a operação de

motoniveladora ocorreu em duas situações, uma para construção de estradas e uma para manutenção antes da colheita da madeira.

Para quantificação da massa dos gases emitidos foi adotado o valor de densidade específica dos gases conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Densidade específica (kg.m^{-3}) dos gases emitidos pelas máquinas e veículos analisados

Gases	Densidade específica (kg.m^{-3})	Peso molecular		
		C%	H%	O%
HC (H14C6-hexano)	655	83,76	16,25	0,00
CO	1,14	42,84	0,00	57,16
CO ₂	1,98	27,27	0,00	72,73

Nota: Massa molar do carbono C= 12,00; Massa molar do Oxigênio= 16,00; Massa molar do Hidrogênio =1,00; Peso molecular H14C6= 86,18; Peso molecular do CO= 28,01; Peso molecular CO₂= 44,01.

Fonte: DEFRA (2016)

A partir dos dados obtidos pelo analisador de gases, da vazão de escoamento e da densidade específica dos gases, foi possível estimar a emissão de gases e carbono de todo o processo produtivo florestal, por hora efetiva de funcionamento das máquinas, por hectare e para todo o Estado do Espírito Santo.

3.8 BALANÇO DE EMISSÕES DE CARBONO PELO PROCESSO PRODUTIVO E SEQUESTRO DE CARBONO PELA FLORESTA

Para a quantificação do carbono imobilizado pela floresta, foram adotados os valores de estoque de carbono encontrados na literatura (Tabela 10), com posterior quantificação da emissão de carbono por hectare encontrado nesta pesquisa.

Tabela 10. Estoque de carbono ($\text{kg.}\dot{\text{a}}\text{rv}^{-1}$) na biomassa aérea em plantios de *Eucalyptus sp*

Espécie	Idade	Estoque de carbono ($\text{kg.}\dot{\text{a}}\text{rv}^{-1}$)						
		Lenho	Folha	GV	GS	Casca	Total	IMA
Eucalipto sp	6,8	27,55	0,84	2,1	0,11	7,11	37,72	5,55

Nota: GV=galho vivo; GS= galho seco; IMA= Incremento médio anual de carbono.

Fonte: Silva et al (2015)

Nesta pesquisa foi adotado um valor médio de espaçamento de 3 x 3 metros, resultando em aproximadamente 1.112 árvores por hectare. Dessa forma utilizou-se um valor total de 41.944,64 kg de carbono por hectare para plantios com idade de 6,8 anos.

3.9 QUANTIFICAÇÃO DA OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO

Para quantificar a real opacidade dos gases de escapamento nas máquinas e veículos utilizados no setor florestal, foi utilizado o equipamento opacímetro de marca NAPRO, modelo NA-9000T conforme ilustrado na Figura 10.

Figura10: Opacímetro utilizado na coleta dos dados



Na Tabela 11, estão os limites aceitáveis de opacidade em aceleração livre (aceleração máxima do motor em posição estacionária) de veículos a diesel segundo a Resolução CONAMA 418/09 (Plano de controle de poluição veicular).

Tabela 11: Limites de opacidade dos gases de escapamento em aceleração livre de veículos a diesel posteriores à vigência da Resolução CONAMA 418/09.

Ano-Modelo	Altitude	Opacidade (K)
1996-1999	Até 350m	2,1
	Acima de 350 m	2.8
2000 em diante	Até 350m	1,7
	Acima de 350 m	2,3

*Nota: K= Coeficiente de absorção (m^{-1})

Fonte: BRASIL (2009).

Após a quantificação da emissão de opacidade nas máquinas com motores do ciclo Diesel por meio do opacímetro, verificou-se o percentual de máquinas e veículos que se encontravam dentro dos limites recomendados pela Legislação vigente (Resolução CONAMA, Nº 418/09).

3.10 OPACIDADE EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS QUE UTILIZAM O SISTEMA ARLA 32

Para a análise da opacidade em relação ao dispositivo ARLA 32, foram analisados cinco veículos que adotavam os dispositivos e cinco que não utilizavam (idades próximas de 3 anos de fabricação), a fim de verificar a eficiência do sistema em relação a redução de emissão de poluentes.

Para análise estatística a fim de verificar o comportamento da opacidade em relação ao uso do dispositivo ARLA 32, foi adotado um delineamento inteiramente casualizado ao nível de 99% de probabilidade pelo teste t.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VALIDAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO EM VEÍCULOS DE MOTOR A CICLO DIESEL

Os resultados obtidos para validar a eficiência do filtro desenvolvido para coletar os dados em motor do ciclo diesel, estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12. Validação do uso do filtro para medição dos gases em veículos de motor a ciclo otto

	Sem Filtro			Com Filtro		
	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)
Veículo 1	5,00	0,02	15,60	4,00	0,03	15,40
Veículo 2	8,00	0,01	15,80	8,00	0,01	15,10
Veículo 3	1,00	0,04	10,90	1,00	0,03	11,20
Veículo 4	3,00	0,02	15,70	4,00	0,02	14,80
Media	4,25 a	0,02 a	14,50 a	4,25 a	0,02 a	13,90 a

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não difere entre si, a 99% de probabilidade, pelo teste t em relação a utilização do fitro desenvolvido. HC= Hidrocarbonetos; CO= Monóxido de Carbono; CO₂= dióxido de carbono;

Desta forma, verificou-se que não houve diferença estatística ao nível de 99% de probabilidade pelo teste t, conforme apresentado na Tabela 12. Assim, validando a eficácia do filtro desenvolvido, ou seja, a utilização do filtro não influencia o teor dos gases que chegam ao analisador de gases.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO ANALISADOR DE GASES

O teor dos gases hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), obtidos com o analisador de gases são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Teor de gases emitidos em diferentes rotações do motor

Atividade	Operação	Nº.Máq	ML	AR	ML	AR	ML	AR
			HC (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	CO ₂ (%)
Silvicultura	Aceiro	3	10,00	12,03	0,07	0,11	1,36	1,84
	Afastamento de resíduos	3	21,17	27,51	0,07	0,12	1,98	3,28
	Subsolagem	2	5,00	14,00	0,02	0,38	2,10	7,30
	Plantio	4	8,00	16,00	0,03	0,05	2,10	2,82
	Capina química	8	14,23	18,54	0,06	0,08	1,92	2,78
	Roçada	9	9,61	11,97	0,03	0,50	2,19	2,47
	Adubação	10	19,00	24,00	0,05	0,07	1,40	2,90
Média			12,48 Aa	17,72 Aa	0,05 Aa	0,73 Aa	1,86 Aab	3,34 Aa
Colheita Florestal	Corte	2	2,00	6,00	0,02	1,16	3,10	4,30
	Extração	2	3,54	14,09	0,02	1,30	1,39	4,33
	Carreg.	2	3,74	10,03	0,03	1,19	3,60	3,60
	Descarreg.	1	3,52	12,31	0,04	1,12	2,50	3,72
Média			3,20 Bb	10,61 Aab	0,03 Ba	1,19 Aa	2,65 Bab	3,99 Aa
Transporte florestal	Transporte de madeira	10	2,22 Ab	3,00 Ab	0,02 Ba	0,55 Aa	1,33 Ba	4,80 Aa
Administração e proteção	Veículos Leve	12	4,63	13,2	0,08	0,11	2,38	3,12
	Ônibus	5	1,35	7,00	0,03	0,04	2,70	3,80
	Caminhão Pipa	3	1,42	5,24	0,03	0,04	1,71	5,40
Média			2,47 Ab	8,48 Aab	0,05 Aa	0,06 Aa	2,26 Aab	4,11 Aa
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	2	11,00	15,23	0,05	0,63	2,13	3,20
	Motoniveladora	2	10,24	18,43	0,03	0,27	4,12	4,29
	Retro escavadeira	5	4,73	5,41	0,03	0,05	3,10	4,30
Média			8,66 Aab	13,02 Aab	0,04 Aa	0,32 Aa	3,12 Ab	3,93 Aa

*Nota: N. Máq.= Número de máquinas analisadas; HC= Hidrocarbonetos; CO= Monóxido de Carbono; CO₂= dióxido de carbono; ML= Marcha Lenta e AR= Alta rotação. Carreg.=carregamento; Descarreg.=Descarregamento; ppm= Parte por milhão.

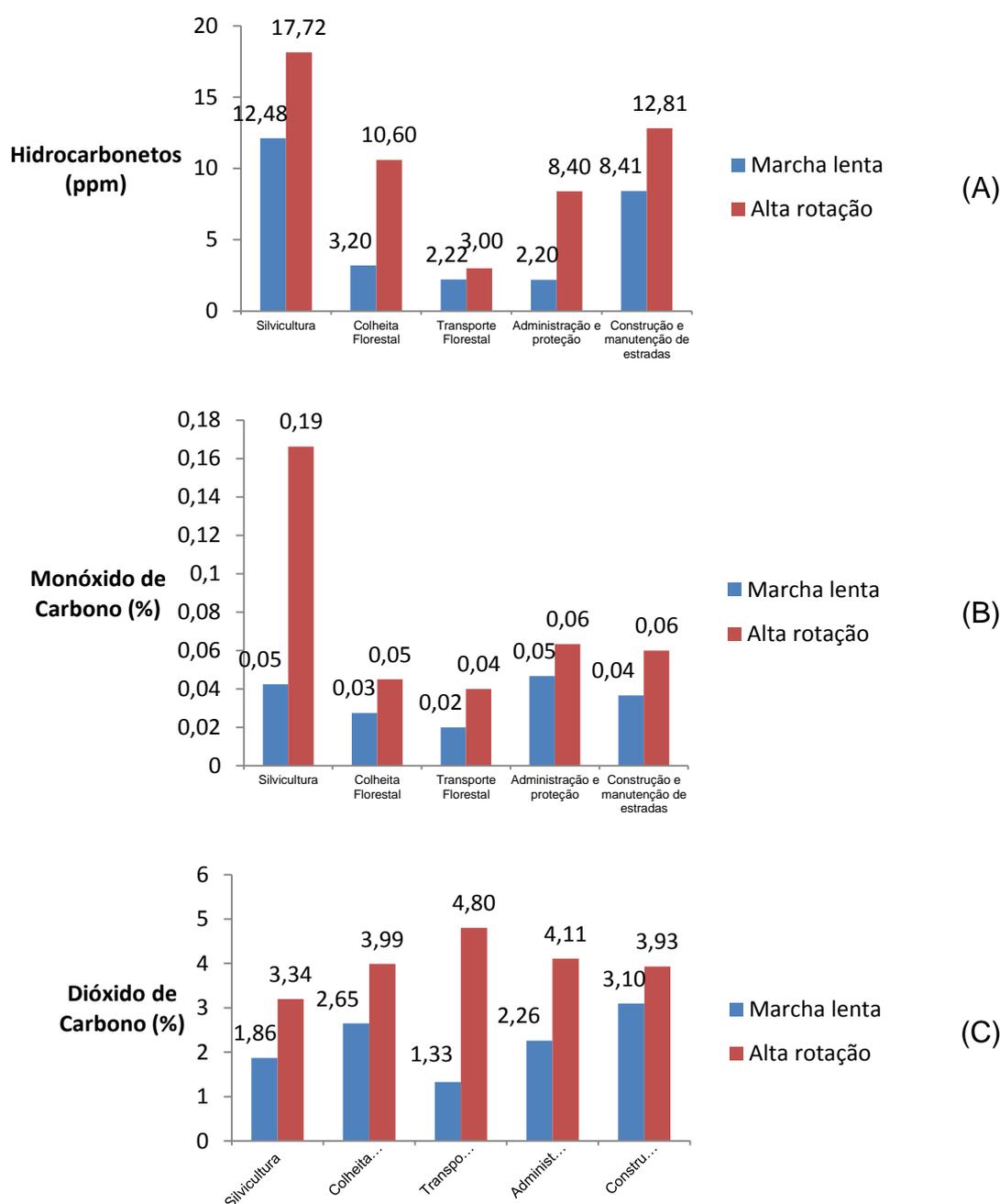
**Nota: As médias seguidas pela mesma letra maiúscula não difere entre si, a 99% de probabilidade, pelo teste t em relação as médias de marcha lenta para alta rotação para o mesmo gás analisado; As médias seguidas pela mesma letra minúscula não difere entre si, a 99% de probabilidade, pelo teste t em relação as médias das atividades florestais.

Quando analisado o teor de gases emitidos em marcha lenta e em alta rotação, não houve diferença entre emissão de gases hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono nas atividades silvicultura,

administração, proteção, construção e manutenção de estradas. Entretanto para a atividade de colheita florestal e transporte florestal, os teores dos gases emitidos foram significativamente maiores quando o motor estava funcionando em alta rotação.

Os teores médios dos gases de combustão obtidos através do equipamento analisador de gases encontra-se demonstrado na Figura 11.

Figura 11. Distribuição do teor da emissão de hidrocarbonetos (A), monóxido de carbono (B) e dióxido de carbono (C) nas diferentes atividades florestais



Conforme apresentado na Figura 11, assim como verificado para os gases hidrocarbonetos, também houve um aumento do teor de monóxido de carbono emitido pelos escapamentos das máquinas a medida que aumentou a rotação de funcionamento do motor em todas as atividades analisadas.

Conforme apresentado na Figura 11, o fato dos teores de HC e CO em alta rotação ser maior na atividade de silvicultura, pode ser explicado pela atividade, no geral, utilizar tratores agrícolas com idade de uso mais avançado (média superior a 10 anos de uso) em relação aos adotados nas demais atividades que apresentam grande *turnover* de renovação por máquinas mais novas (média inferior a 10 anos de uso). Além disso a alta demanda por maior potência de trabalho para realização das atividades florestais faz com que se tenha uma maior tendência de desgaste das peças, o que resulta em menor admissão de ar na câmara de combustão do motor e por consequência aumenta a emissão desses gases poluentes.

Verifica-se na Figura 11, que também houve um aumento do teor de dióxido de carbono emitido pelos escapamentos das máquinas a medida que aumentou a rotação de funcionamento do motor em todas as atividades analisadas. Dessa forma, pode-se concluir que a medida que aumenta a rotação do motor ocorre um acréscimo de emissão do teor dos gases tóxicos.

Isto pode ser explicado pelo fato que o funcionamento do motor em maiores rotações por minuto, faz com que os ciclos termodinâmicos (admissão, compressão, expansão e escape) sejam realizados em menor período de tempo, podendo resultar em uma mistura pobre de oxigênio e combustível dentro da câmara de combustão.

Esta mistura inadequada de ar e combustível pode ocorrer devido ao fato da admissão de ar no interior da câmara de combustão ser por meio de vácuo criado pelo movimento descendente do pistão no interior dos cilindros. O rápido movimento dos pistões durante o funcionamento do motor pode resultar em uma diferença de pressão, que não seja capaz de injetar uma quantidade suficiente de oxigênio para consumir todo o combustível, tornando-se a combustão incompleta do combustível e por consequência maior emissão de hidrocarbonetos e monóxido de carbono.

Em um sistema de motores de combustão interna, o ideal seria a ocorrência de combustão completa dos combustíveis, na qual possui uma

quantidade suficiente de oxigênio para reagir com todo o combustível injetado de forma que emita somente CO_2 e água nos escapamentos dos veículos. Porém isso é difícil de ocorrer na prática e conforme pode ser visualizado na Figura 14, percebe-se que a medida que aumenta o teor de emissão de HC e CO, diminui a emissão de CO_2 . Este fato pode ser explicado pela combustão incompleta dos combustíveis, que resulta na formação de CO_2 , HC, CO e água, ou seja, o processo de combustão não apresentou uma quantidade suficiente de oxigênio para reagir com todo o carbono presente no óleo diesel e transformá-lo em gás carbônico.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA VAZÃO DA EMISSÃO DE GASES NO ESCAPAMENTO DAS MÁQUINAS E VEÍCULOS

De posse dos dados da velocidade de escoamento dos gases na saída do escapamento das máquinas e veículos (em metros por segundo) e a área da seção do escapamento (em metro quadrado) foi possível determinar a vazão volumétrica de emissão dos gases, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Vazão volumétrica de emissão dos gases nas máquinas analisadas

Atividade	Operação	V.E.G.M.L (m ³ .he ⁻¹)	V.E.G.A.R (m ³ .he ⁻¹)	V.E.G.R.N (m ³ .he ⁻¹)
Silvicultura	Aceiro	64,44	345,40	261,11
	Afastamento de resíduos	98,40	285,34	229,26
	Subsolagem	120,81	412,12	324,73
	Plantio	66,83	223,75	176,67
	Capina química	63,74	249,19	193,56
	Roçada	62,08	264,84	204,01
	Adução	62,67	218,75	171,93
Média		77,00	285,62	223,04
Colheita florestal	Corte	123,73	375,71	300,12
	Extração	119,16	534,05	409,58
	Carregamento	94,00	493,94	373,96
	Descarregamento	97,34	481,50	366,25
Média		108,56	471,30	362,48
Transporte florestal	Transporte de madeira	89,29	356,40	276,27
Administração e proteção	Veículos Leve	14,83	183,05	132,58
	Ônibus	129,92	451,62	355,11
	Caminhão Pipa	76,04	345,12	264,39
Média		73,60	326,60	250,69
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	65,91	299,75	229,60
	Motoniveladora	134,05	539,19	417,65
	Retroescavadeira	79,76	295,14	230,53
Média		93,24	378,03	292,59
Média Total		86,83	353,05	273,18

Nota: V.E.G.M.L= Vazão da emissão de gases em marcha lenta; V.E.G.A.R= Vazão da emissão de gases em alta rotação; V.E.G.R.N= Vazão da emissão de gases em rotação normal de funcionamento (70% da variação entre V.E.G.M.L e V.E.G.A.R); m³.he⁻¹= metro cúbico de ar por hora efetiva.

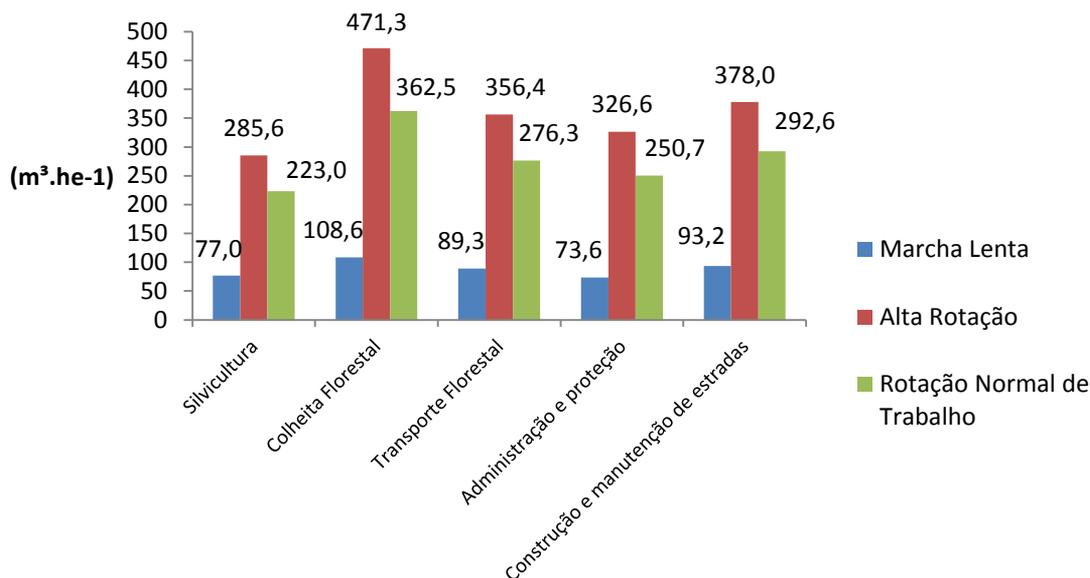
Conforme analisado na Tabela 14, verificou-se um acréscimo da vazão média de escoamento dos gases de aproximadamente 306% entre a vazão da emissão de gases em marcha lenta (86,83 m³.he⁻¹) e em alta rotação (352,05 m³.he⁻¹). A atividade de administração e proteção obteve a maior variação (aumento médio de 343%), seguido da colheita florestal (334%) e a atividade de silvicultura com a menor variação (271% de aumento).

Esse aumento da vazão de ar nos escapamentos das máquinas é devido ao aumento da rotação do motor, o que faz com que ocorra maior movimentação dos pistões, proporcionando um maior consumo de combustível

e por consequência maior escape dos gases queimados no interior dos motores.

A vazão volumétrica média (em metro cúbico por hora efetiva de funcionamento) de escoamento dos gases por atividade florestal, encontra-se demonstrado na Figura 12.

Figura 12. Vazão de escoamento dos gases em diferentes rotações do motor



As máquinas usadas para executarem as operações de colheita florestal apresentaram vazão média dos gases pelos escapamentos das máquinas maior que as utilizadas nas demais atividades. Isto pode ser explicado por se tratar de máquinas com maiores potências, na qual realizam os ciclos termodinâmicos com maior intensidade, de forma que haja maior escoamento dos gases obtidos na queima dos combustíveis.

Após a determinação da vazão de escoamento dos gases e dos teores dos gases de combustão (CO, CO₂ e hidrocarbonetos), determinou-se a emissão de gases e de carbono por hora efetiva de trabalho para cada operação conforme apresentado nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Quantificação da emissão de gases e carbono por hora efetiva de trabalho para cada operação analisada

Atividade	Operação	HC (kg.he ⁻¹)	CO (kg.he ⁻¹)	CO ₂ (kg.he ⁻¹)	C (kg.he ⁻¹)
Silvicultura	Aceiro	1,95	0,29	8,77	4,15
	Afastamento de resíduos	3,85	0,27	13,12	6,91
	Subsolagem	2,40	1,01	36,91	12,48
	Plantio	1,57	0,09	9,11	3,83
	Capina química	2,19	0,16	9,67	4,53
	Roçada mecânica	1,50	0,83	9,64	4,24
	Adubação	2,53	0,13	8,34	4,44
Total atividade	-	15,99	2,78	95,56	40,58
Colheita Florestal	Corte	0,94	0,14	23,41	7,22
	Extração	2,93	0,16	27,96	10,13
	Carreg.	1,99	0,13	26,66	8,98
	Descarreg.	2,32	0,23	24,32	8,66
Total atividade	-	8,18	0,66	102,35	34,99
Transporte florestal	Transporte de madeira	0,50	0,11	20,56	6,06
Administração e proteção	Veículos Leve	0,92	0,15	7,61	2,91
	Ônibus	1,21	0,15	24,40	7,71
	Caminhão Pipa	0,66	0,11	22,46	6,71
Total atividade	-	2,79	0,41	54,47	17,33
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	2,08	0,17	13,05	5,36
	Motonivelador	4,37	0,24	35,00	13,28
	Retro escavadeira	0,71	0,12	17,98	5,54
Total atividade	-	7,16	0,53	66,03	24,18
Total		34,62	4,49	338,97	123,14

Nota: Prod.= Produtividade; ha.he⁻¹ = Hectare por hora efetiva; m³.he⁻¹ = metro cúbico de madeira por hora efetiva; HC kg.he⁻¹ = Quilo de hidrocarbonetos emitido por hora efetiva de funcionamento da máquina; CO kg.he⁻¹ = Quilo de monóxido de carbono emitido por hora efetiva de funcionamento da máquina; CO₂ kg.he⁻¹ = Quilo de dióxido de carbono emitido por hora efetiva de funcionamento da máquina; C kg.he⁻¹ = Quilo de carbono emitido por hora efetiva de funcionamento da máquina

Como pode ser observado na Tabela 15, as atividades de silvicultura e colheita florestal contribuíram com as maiores emissões de carbono por hora efetiva (40,58 kgC.he⁻¹ para a silvicultura e 33,99 kgC.he⁻¹ para a colheita florestal). Isto pode ser explicado pelo fato dessas atividades requererem a utilização de máquinas com maiores potências para execução das operações necessárias. Esta maior demanda propociona um maior consumo de

combustível e por consequência maior emissão de gases poluentes por hora efetiva de funcionamento da máquina.

De posse dos dados de emissão dos gases e carbono por hora efetiva de trabalho e por hectare e a quantidade de horas necessárias para atender aos 227.300 hectares de floresta plantada no estado, determinou-se a emissão total de carbono pelas florestas plantadas no estado do Espírito Santo (Tabela 16).

Tabela 16: Emissões de carbono pelas máquinas e equipamentos analisados

Atividade	Operação	Produt.	kgC.he ⁻¹	kgC.ha ⁻¹	tonC
Silvicultura	Aceiro	1,47 ha.he ⁻¹	4,15	16,92	3845,92
	Afastamento de resíduos	1,21 ha.he ⁻¹	6,91	5,71	1297,88
	Subsolagem	1,15 ha.he ⁻¹	12,48	10,85	2466,21
	Plantio	1,84 ha.he ⁻¹	3,83	2,08	472,78
	Capina química	1,44 ha.he ⁻¹	4,53	9,44	2145,71
	Roçada mecânica	4,97 ha.he ⁻¹	4,24	3,41	775,09
	Adução	2,75 ha.he ⁻¹	4,44	4,85	1102,41
Total atividade			40,58	53,26	12106,00
Colheita Florestal	Corte	19 m ³ .he ⁻¹	7,22	83,58	18997,73
	Extração	33,84m ³ .he ⁻¹	10,13	65,85	14967,71
	Carreg.	80 m ³ .he ⁻¹	8,98	24,68	5609,76
	Descarreg.	80 m ³ .he ⁻¹	8,66	23,80	5409,74
Total atividade			34,99	197,91	44984,94
Transporte florestal	Transporte de madeira	3,98 m ³ .he ⁻¹	6,06	334,86	76113,68
Administração e proteção	Veículo leve	4,88 ha.he ⁻¹	2,91	0,60	136,38
	Ônibus	11,57ha.he ⁻¹	7,71	0,67	152,29
	Caminhão Pipa	4,21 ha.he ⁻¹	6,71	1,59	361,41
Total atividade			17,33	2,86	650,08
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	3.35 ha.he ⁻¹	5,36	1,60	363,68
	Motonivelador	3.35 ha.he ⁻¹	13,28	7,93	1802,49
	Retro escavadeira	3.35 ha.he ⁻¹	5,54	1,65	375,05
Total atividade			24,18	11,18	2541,21
Total			123,14	600,07	136395,91

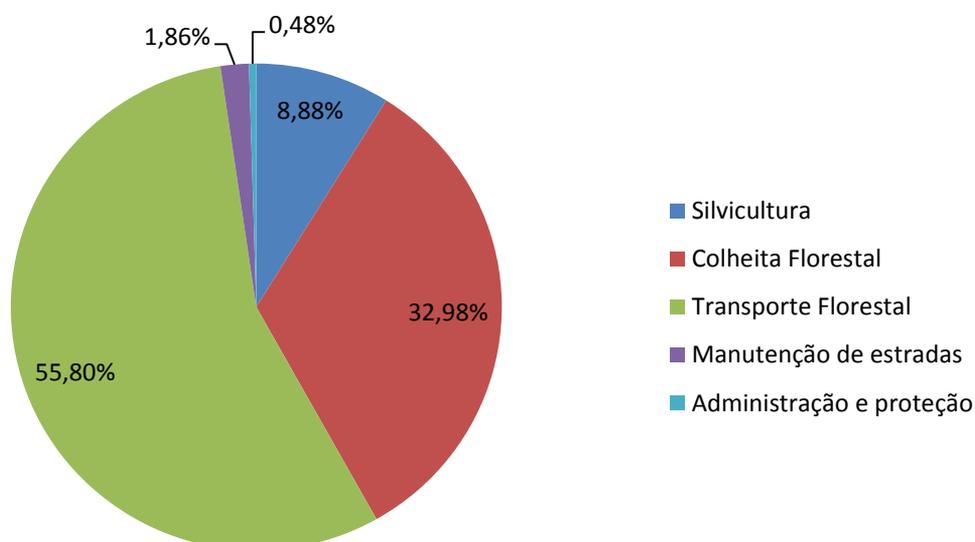
Nota: kgC.he⁻¹= Quilo de carbono emitido por hora efetiva de funcionamento da máquina; kgC.ha⁻¹= Quilo de carbono emitido por hectare; tonC.= Tonelada de carbono emitido para os povoamentos florestais do estado do Espírito Santo

Conforme apresentado na Tabela 16, a operação de transporte de madeira obteve a menor emissão de carbono por hora efetiva de trabalho (6,06 kgC.he⁻¹) e a maior emissão de carbono por hectare (aproximadamente 335

KgC.ha⁻¹). Neste sentido, com o intuito de reduzir as emissões de gases poluentes deve-se planejar os projetos florestais de modo que se consiga ter menores distâncias entre as áreas produtivas e o mercado consumidor, aumentando a produtividade dos veículos de transporte e reduzindo o consumo de combustíveis, graxas e lubrificantes e por consequência resultando em menor emissão de poluentes para a atmosfera.

Com os dados da emissão de carbono em todas as operações florestais, foi determinado o percentual da emissão de carbono por atividade desenvolvida (Figura 13).

Figura 13: Percentual de emissão de carbono por atividade realizada



Como observado na Figura 13, a atividade que apresentou o maior percentual de emissão de carbono foi a de transporte florestal (55,80% do total emitido). Isso aconteceu, pelo fato das áreas de reflorestamento, em média, estarem situadas afastadas das unidades de beneficiamento da madeira, o que acarreta em uma maior distância para escoamento e, por consequência, maior consumo de combustível dos veículos utilizados para realização da atividade.

Dessa forma, deve-se planejar implantações de áreas florestais o mais próximo possível das fábricas de beneficiamento da madeira, visando um menor custo com transporte e reduzindo a emissão de gases poluentes. Deve-se também priorizar veículos de maior capacidade de carga e modais que transportem maior volume de madeira como o ferroviário e o marítimo.

Além disso, as empresas e os produtores florestais devem adotar um sistema periódico de manutenção das máquinas, de modo que se tenha menor desgaste das peças e melhor eficiência na fitragem dos materiais particulados. Outra alternativa para reduzir a emissão de gases poluentes, seria a combinação de diferentes atividades em uma mesma operação da máquina. Como por exemplo, pode-se realizar as operações de afastamento de resíduo, subsolagem e adubação em conjunto durante o deslocamento da máquina no interior dos talhões, reduzindo a emissão e por consequência os custos.

4.4 BALANÇO DE EMISSÕES DE CARBONO PELO PROCESSO PRODUTIVO E SEQUESTRO DE CARBONO PELA FLORESTA

Com base nos valores de gases emitidos pelo processo produtivo florestal e no quantitativo de carbono sequestrado pela floresta por ano (SILVA, et al., 2015), calculou-se o balanço entre emissões e sequestro de carbono (Tabela 17).

Tabela 17. Balanço de carbono para o estudo de caso

	(kg.ha ⁻¹)	%
Estoque de carbono imobilizado na floresta de eucalipto com 6,8 anos de idade	41.944,64	1,43
Emissão de carbono para o desenvolvimento da floresta até os 6,8 anos de idade	600,07	
Saldo de carbono	41.344,57	98,57

O acúmulo de carbono na floresta, durante o ciclo produtivo, é muito superior ao emitido pelas máquinas na execução das operações florestais. Ou seja, com base nos cálculos feitos e na literatura referenciada, o reflorestamento de eucalipto consegue sequestrar cerca de 42 toneladas de carbono por hectare plantado aos 6,8 anos de idade.

Nesta pesquisa, verificou que somente 1,43% do carbono total estocado é emitido proveniente da utilização das máquinas e veículos do processo produtivo florestal. Dessa forma, percebe-se que a quantidade de carbono absorvida pelas florestas é muito superior ao emitido pelas máquinas durante o processo de desenvolvimento e da colheita da floresta. Isso infere que os empreendimentos florestais apresentam uma grande alternativa para a redução

dos gases de efeito estufa e contribui muito para a remoção de gases poluentes no planeta.

Além disso, com adoção de tecnologias para cada local, tais como utilização de material genético mais adaptados as peculiaridades da região, pode-se aumentar a produtividade das florestas de modo que se tenha maior volume de madeira e por consequência maior sequestro de carbono por hectare.

Assim verifica-se que os projetos florestais são excelentes opções para os países conseguirem atender às metas de redução de emissão de gases de efeito estufa propostas nas convenções sobre o meio ambiente. Desta forma é fundamental a criação de fundos de investimentos, como créditos de carbono, para que o setor seja ainda mais atraente para os produtores e empresas florestais.

4.5 QUANTIFICAÇÃO DA OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO

Os resultados da opacidade obtidas nesta pesquisa por meio do opacímetro estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Opacidade medido nos escapamentos das máquinas analisadas por atividade

Atividade	Operação	Opacidade (m^{-1})			Opacidade (m^{-1}) Limite (CONAMA 418/09)
		V.Min.	V.Med	V.Max	
Silvicultura	Aceiro	0,24	0,80	1,54	1,70
	Afastamento de resíduos	0,42	0,58	0,72	
	Subsolagem	1,80	2,50	3,20	
	Plantio	0,38	0,63	0,94	
	Capina química	0,43	0,56	0,81	
	Roçada mecânica	0,47	0,87	1,04	
	Adubação	0,35	0,60	0,90	
Colheita Florestal	Corte	0,71	1,08	1,45	1,70
	Extração	1,15	1,69	2,22	
	Carregamento	0,80	0,94	1,23	
	Descarreg.	0,95	1,16	1,36	
Transporte florestal	Transporte de madeira	0,05	0,58	1,16	1,70
Administração e proteção	Veículos Leve	0,12	0,57	1,15	1,70
	Ônibus	0,35	0,84	1,73	
	Caminhão Pipa	0,24	0,37	0,5	
Construção e manutenção de estradas	Rolo compressor	1,43	1,79	2,15	1,70
	Motoniveladora	0,87	1,06	1,25	
	Retro escavadeira	0,54	0,70	0,85	

Nota: Todas as máquinas analisadas nesta pesquisa eram de ano/modelo superior a 2000. Todas as coletas foram realizadas em áreas com altitudes inferiores a 350 metros em relação ao nível do mar. V.Min. = Valor Mínimo encontrado; V.Med= Valor Médio encontrado; V.Max= Valor Máximo encontrado

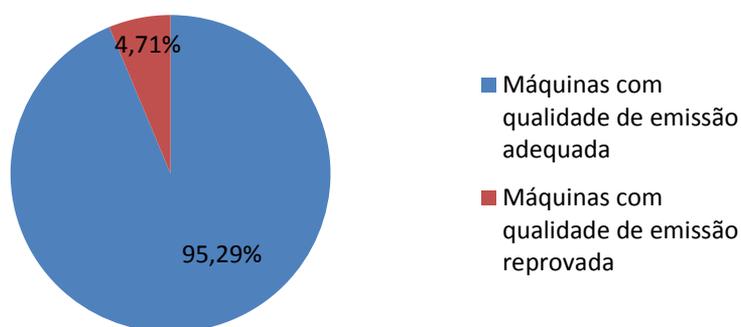
Apenas quatro máquinas do total de 85 foram reprovadas no teste avaliado conforme a Legislação vigente, sendo estas, o subsolador que é utilizado para remover a camada compactada do solo (com valor médio $3,20 m^{-1}$), o *forwarder* para realização da operação de extração da madeira do interior dos talhões até as margens das estradas (com valor médio de $2,22 m^{-1}$), o ônibus (com valor médio de $1,73 m^{-1}$) e o rolo compressor (com valor médio de $2,15 m^{-1}$) para compactação do solo nas estradas.

Dessa forma, recomendou-se que as máquinas que obtiveram resultados superiores ao limite recomendado pela resolução CONAMA 418/09 deve passar por um processo de manutenção corretiva a fim de verificar, corrigir e reduzir a emissão de material particulado.

Conforme descrito na Tabela 18, somente a atividade de transporte florestal não apresentou veículos com valores de emissão de opacidade acima do recomendado pela legislação vigente. Este resultado foi verificado pelo fato da maior parte dos veículos de transporte analisados já adotarem o sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) com a utilização do ARLA 32, o que resulta em menor emissão de material particulado nos escapamentos dos veículos.

Na Figura 14, estão demonstrados o percentual da qualidade da emissão de opacidade pelas máquinas de acordo com o CONAMA 418/09.

Figura 14: Percentual da qualidade de emissão das máquinas analisadas



Conforme apresentado na Figura 14, do total das máquinas analisadas somente 4,71% encontraram-se fora dos limites permitidos pela legislação vigente. Esse baixo número de máquinas com níveis de emissões acima do permitido, pode ser resultado obtido dos programas desenvolvidos pelo governo e pelas empresas, como por exemplo, o programa Despoluir (Programa Ambiental do Transporte), criado no ano de 2007 pela parceria da Confederação Nacional do Transporte (CNT), Serviço Social do Transporte (SEST) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT) com objetivo de redução e monitoramento da emissão de poluentes nos veículos.

Este programa já vem sendo adotado em algumas empresas florestais presentes no estado do Espírito Santo em conjunto com a Federação das Empresas de Transportes do Estado do Espírito Santo (FETRANSPORTES). Como consequência o projeto está resultando em ações de extrema

importância para a redução de emissões de poluentes das máquinas e veículos oriundas do setor florestal capixaba.

4.6 VERIFICAÇÃO DA OPACIDADE EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS QUE UTILIZAM O SISTEMA ARLA 32

Para a análise da emissão da opacidade em relação ao dispositivo ARLA 32, foram avaliados cinco veículos que adotavam o dispositivo e cinco que não utilizavam o dispositivo (Tabela 19).

Tabela 19. Análise comparativa da opacidade entre veículos de transporte com e sem o dispositivo ARLA 32

Sem o dispositivo ARLA 32		Com o dispositivo ARLA 32	
Veículo analisado	Opacidade (m ⁻¹)	Veículo analisado	Opacidade (m ⁻¹)
Veículo 1	0,55	Veículo 1	0,14
Veículo 2	0,98	Veículo 2	0,05
Veículo 3	0,81	Veículo 3	0,13
Veículo 4	0,62	Veículo 4	0,15
Veículo 5	1,36	Veículo 5	0,14
Média	0,86 a	Média	0,12 b

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não difere entre si, a 99% de probabilidade, pelo teste t.

Como observado na Tabela 19, houve diferença estatística pelo teste t ao nível de 99% de probabilidade. Dessa forma, verifica-se que os veículos que adotam o dispositivo ARLA 32 apresentaram emissões de opacidade menores que os veículos que não usam o ARLA 32. Assim, verifica-se a importância da utilização do ARLA 32 nos veículos e nas máquinas florestais, com o intuito de reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera.

Entretanto, o uso do ARLA 32, até o momento, ocorre principalmente em veículos de transporte, tais como, caminhões, carretas e ônibus e em algumas máquinas. Desta forma, é de extrema importância realizar estudos para adaptação do sistema nas máquinas agrícolas e florestais, a fim de reduzir a emissão de gases poluentes oriundos do setor florestal, tornando os projetos ainda mais sustentáveis.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, pode-se concluir que:

- O filtro desenvolvido apresentou resultados estatisticamente corretos, sendo eficaz para o desenvolvimento da pesquisa.

- A atividade que emitiu maior quantidade de carbono para a atmosfera foi a de transporte florestal com aproximadamente 335 kgC.ha^{-1} (cerca de 56% da emissão total), seguido da colheita florestal com $197,91 \text{ kgC.ha}^{-1}$, silvicultura com $53,26 \text{ kgC.ha}^{-1}$, construção e manutenção de estradas com $11,18 \text{ kgC.ha}^{-1}$. A atividade de administração e proteção foi responsável pela menor emissão por hectare (cerca de $2,86 \text{ kgC.ha}^{-1}$).

- Para o balanço de carbono, verificou-se que existe um saldo positivo, na qual as florestas plantadas sequestram em torno de 42 toneladas de carbono por hectare, sendo emitido aproximadamente 600 kgC.ha^{-1} para o seu desenvolvimento. O que resulta em 98,57% do total sequestrado pela floresta.

- Em relação a opacidade, somente 4,71% das máquinas analisadas encontraram-se fora dos limites permitidos pela Legislação vigente (CONAMA 418/09).

- Os veículos que adotam o dispositivo ARLA 32 apresentaram emissões de opacidade menores do que os veículos que não usam. Verificando assim a importância deste dispositivo nos veículos e nas máquinas florestais, com o intuito de reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. Q.; SILVA G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO C. A. D. Enhanced vegetation index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da Reserva Biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008.

BRANCO, E. R. F. **Ocorrências de seca e tendências da vegetação na reserva biológica de sooretama e zona de amortecimento, no estado do Espírito Santo, Brasil**. 2016. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Critérios para elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável**. Brasília: 2002. 42p.

BRASIL. Resolução Nº 418 de 25 de Novembro de 2009, **Dispõe sobre os critérios para elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para avaliação do estado de manutenção de veículos em uso**”. Brasília. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília : 2012. 173 p.

BRIANEZI, D. JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. S. Balanço de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.21, n.1, p.1-11,2014.

BROWN, S.; LUGO, A.E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, 6: 1- 32. 1990.

CAMPOS, A. A. **Desempenho operacional e análise de custos da implantação florestal mecanizada de eucalipto**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2013.

CANDIDO, L.A., MANZI, A.O., TOTA, J.; SILVA, P.R.T.; SILVA, F.S. M.; SANTOS, R.M. N.; CORREIA, F.W. S. O Clima atual e futuro da Amazônia nos Cenários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas: A questão da savanização. **Ciência e Cultura** 59(3): 44-47. 2007

CARMO, F. A. C., FIEDLER, N. C., LOPES, E. S., PEREIRA, P. P., MARIN, H. B., SILVA, E. N. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Revista Cerne**, vol. 19, núm. 3, pp. 451-459. 2013

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. Brasília: 2008. 276 p.

CHACON, J. A floresta amazônica e o sequestro do carbono. **Revista do CREA/RJ**. 2007. Disponível em: <http://www.ecolnews.com.br/carbonoefeitoestufa.htm>. Acesso em: 20 de mar. 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade ambiental**. São Paulo: CETESB, 142p. 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade ambiental**. São Paulo: CETESB, 113p. 2013.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Rio de Janeiro, 2001. 35 p. Disponível em: <http://www.cebds.com/mudancasclimaticas/mdl.pdf>. Acesso em: 21 de mar. 2014.

CORDEIRO NETO, J. **Potencial energético de espécies florestais do sub-bosque em plantios comerciais de Castanha-do-brasil – Estudo de caso: Agropecuária Aruanã S.A** 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2014.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS (DEFRA). **Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting**. Version 1.2, updated june 1, 2016. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>. Acesso em: 20 de agosto de 2016.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L.P.; NESI, C.N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J., CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó, SC. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.

DUTRA, E. G. **Emissão de gases poluentes pela frota de táxi de Belo Horizonte. Seminário de Tecnologia de Motores Combustíveis e Emissões 2005**. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Monitoramento/elatorio_do_projeto_inspecao_veicular_dez-2005.pdf Acesso em: 22 de mar. 2014.

ESTEVES, G. R. T.; BARBOSA, S. R. C.S.; SILVA, E. P.; ARAÚJO, P. D. Estimativa dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana: Algumas

possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** v.1, n.3, p.1-20, 2007.

FAIZ, A.; WEAVER, C. S.; WALSH, M. M. **Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions.** 1996.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas - Guia de Informação.** 1a Ed. Brasília, 2002.

FRIEDMAN, D. **Toxicity of Carbon Dioxide Gas Exposure, CO2 Poisoning Symptoms, Carbon Dioxide Exposure Limits, and Links to Toxic Gas Testing Procedures.** 2009. Disponível em: <http://inspectapedia.com/hazmat/CO2gashaz.htm>. Acesso em: 01 abr. 2014.

GARAY, I.; RIZZINI, C. M.; KINDEL, A. AGAREZ, F. V.; LOUZADA, M. A. P.; SANTOS, R. D.; VICENS, R. S. **Floresta atlântica de tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea.** Petrópolis - RJ, Editora vozes, 2003. 56p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Editora da UFPR. Curitiba, 1998.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2015.** Brasília: IBÁ, 80 p. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change.** 2007

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Summary for Policymakers – A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change,** 2001. Disponível em <http://www.ipcc.ch/> Acesso em 23 de julho de 2014

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, 61 (35) quinta-feira, 25 de fevereiro de 2016.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Análise preliminar sobre a implantação do padrão Euro VI no Brasil**. 2015

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Procedimentos para verificação de opacímetro de fluxo parcial**. 2014

MCGREGOR, G.R.; NIEUWOLT, S. **Tropical climatology – an introduction to the climates of the low latitudes**. 2. ed. Chichester/England: John Wiley and Sons, 1998, In: MENDONÇA, F. 2003. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias - Terra Livre São Paulo Ano 19 - vol. I - n. 20 p.205- 221 jan/jul.

MENDONÇA, F. **Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias**. Terra Livre São Paulo, vol. I - n. 20 p.205-221 jan/jul, 2003.

MERCEDES_BENZ. **Motores bluetec 5**. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/caminhoes/motores-bluetec/como-funciona>> Acesso em: 19 de outubro de 2016.

MIGUEZ, J. D. G. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: a proposta e as perspectivas brasileiras**. 2002 Disponível em http://www.forumclimabr.org.br/artigo_jose_domingos.htm. Acesso em: 19 de outubro de 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação** 2009. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 2009. 131 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205947.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2014.

MORAES, A. C. L. **Toxicologia Ocupacional**. In: Eduardo Macedo Barbosa. (Org.). A Saúde na Gestão Ambiental. 01 ed. Rio de Janeiro: Gerência de Saúde da Gerência Executiva de Segurança, Meio Ambiente e Saúde da Petrobras, 2005, v. 1, p. 198-253.

MÜLLER, B. **The Global Climate Change Regime: Taking Stock and Looking Ahead**. Fevereiro de 2002. Disponível em: <http://www.wolfson.ox.ac.uk/~mueller> Acesso em 23 de Agosto de 2014.

NASCIMENTO, J. J. V. R.; PAULA, R. R.; GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA, G.F.; PEREIRA, R. G.; BRAGA NETO, F. Balanço de carbono, aquecimento global e recuperação áreas degradadas. **Revista Verde**, v.6, n.2, p. 14 – 29 abril/junho de 2011.

NISHI, M. H.; SOARES, T. S.; JACOVINE, L. A. G. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo nas atividades florestais. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, p. 1 - 2, 01 fev. 2006.

PETROBRAS. **Tire suas dúvidas sobre o ARLA 32**. 2016. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/6d340a804031b9838cd6af342bd5f783/faq-flua-petrobras-arla32.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 19 de outubro de 2016

PLASTER, O. B. **Fatores operacionais e de custos da colheita de Pinus em áreas declivosas no sul do estado do Espírito Santo**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.

RENNER, R. M. **Sequestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR 2004.

SANTOS, A. M. A. **Norma de Higiene Ocupacional NHO-03: análise gravimétrica de aerodispersóides coletados sobre filtros de membrana**. São Paulo: Fundacentro, 2001.

SEDJO, R. A., MARLAND, G. Inter-trading permanent emissions credits and rented temporary carbon emissions offsets: some issues and alternatives. **Climate Policy**, v. 3, p. 435-444, 2003.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S. P. C; PICCOLO, M. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus spp.* **Scientia Forestalis**, volume 43, n. 105, p.135-146, março de 2015

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O PAPEL DAS FLORESTAS PLANTADAS PARA ATENDIMENTO DAS DEMANDAS FUTURAS DA SOCIEDADE.** 18 p. 2015

TEIXEIRA, E.C.; FELTES, S.; SANTANA, E.R.R. Estudo das Emissões de Fontes Moveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Química Nova.** V. 31, nº. 2, p. 244-248. 2008.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **The mechanisms under the Kyoto Protocol: Emissions Trading, the Clean Development Mechanism and Joint Implementation.** 2010. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php>. Acesso em: 21 de mar. 2014.

YIP M; P MADL. **Air Pollution in Mexico City.** 2002. Acesso em: <http://www.sbg.ac.at/ipk/avstudio/pierofun/mexico/air.htm#crudeoil>.

ZAGONEL, R.; CORREA, 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.

ANEXO 1

Filtro para adaptar equipamento de quantificação de gases produzidos no ciclo Diesel

Filtro para adaptar equipamento de quantificação de gases produzidos no ciclo diesel constituído de corpo filtrante com as seguintes características: filtro em polipropileno, pressão máxima de 8 bar a 20°C, Conexões roscadas 2, descarga: tampão roscado de $\frac{3}{4}$, ponto para inserção de manômetro ou tomada de pressão $\frac{1}{4}$ com vazão máxima recomendada em $20\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Conforme descritos nas Figuras 15, 16, 17 e 18.

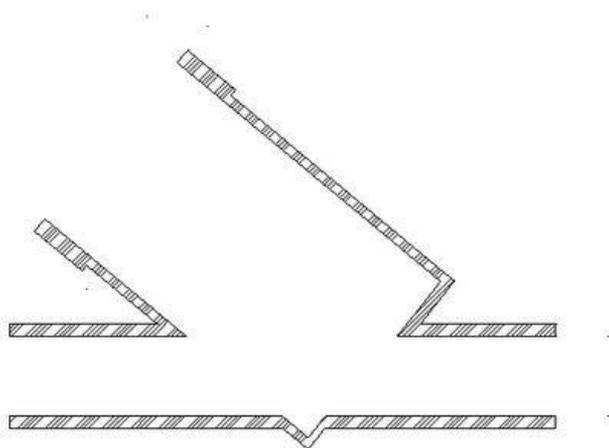


Figura 15: Vista em corte do corpo externo do filtro.

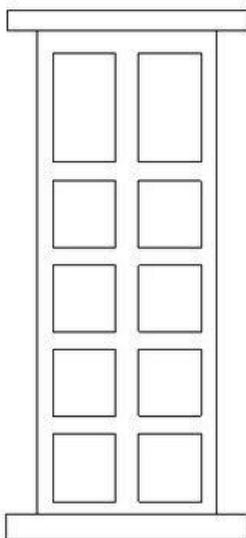


Figura 16: Vista lateral da estrutura do filtro.

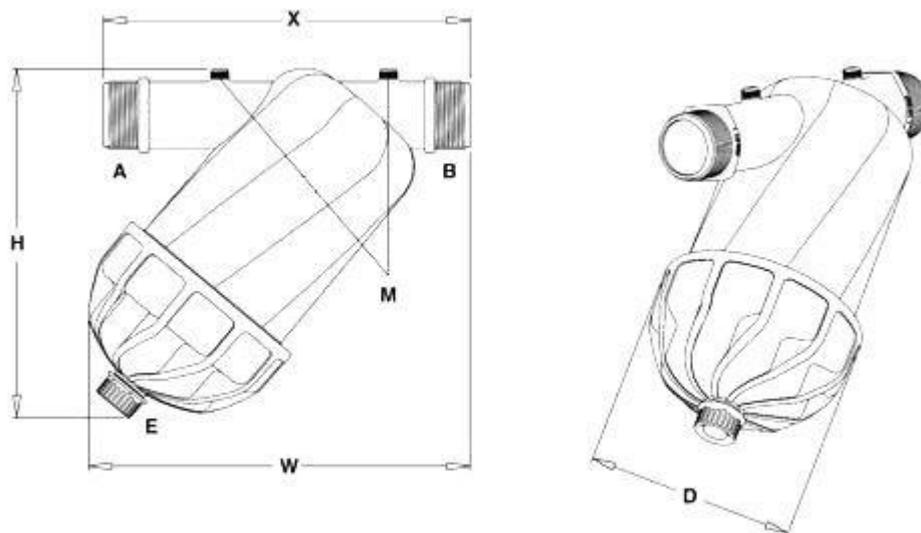


Figura 17: Vista lateral externa do Filtro

*Em que X e W= 231 mm, H= 202 mm, D= 140 mm e A-B= diâmetro interno de 45,244mm. As letras M e E indicam respectivamente a base da carcaça externa do filtro e abertura para mensuração das variáveis dos gases liberados.

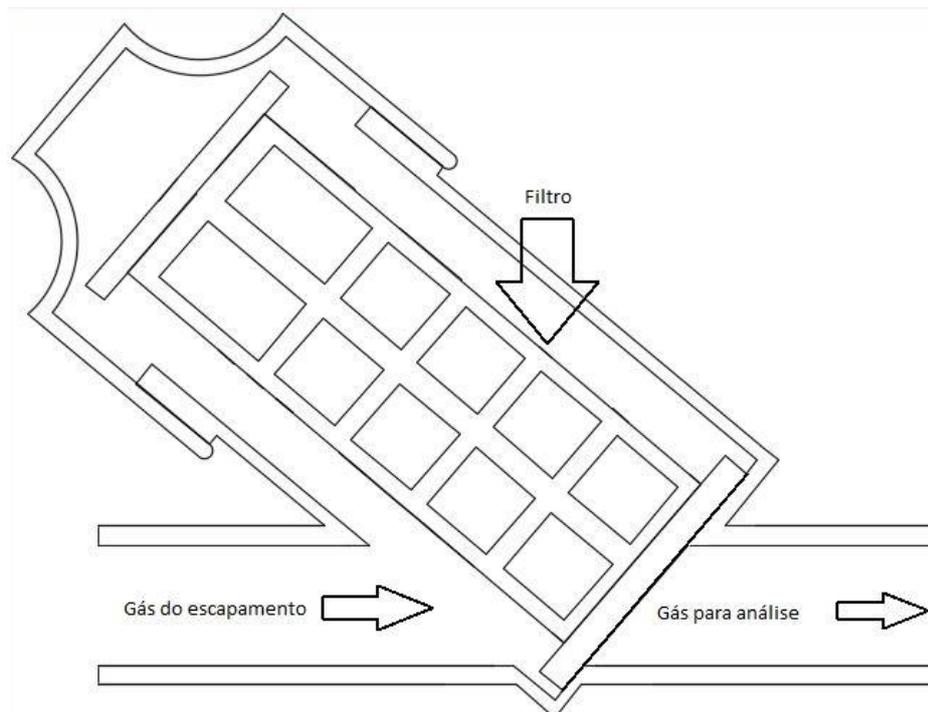


Figura 18: Vista lateral em corte do conjunto do filtro