



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc m21b/2015/07.20.21.31-TDI

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL SEQUESTRO DE
CARBONO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DE CURSOS D'ÁGUA E TOPOS DE
MORROS MEDIANTE REFLORESTAMENTO COM
ESPÉCIES NATIVAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ DO
PARAITINGA**

Carlos René Muñiz Rodríguez

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pela Dra.
Maria Paulete Pereira Martins,
aprovada em 31 de julho de 2015.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JSQ4PS>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc m21b/2015/07.20.21.31-TDI

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL SEQUESTRO DE
CARBONO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DE CURSOS D'ÁGUA E TOPOS DE
MORROS MEDIANTE REFLORESTAMENTO COM
ESPÉCIES NATIVAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ DO
PARAITINGA**

Carlos René Muñiz Rodríguez

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pela Dra.
Maria Paulete Pereira Martins,
aprovada em 31 de julho de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JSQ4PS>>

INPE

São José dos Campos

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Rodríguez, Carlos René Muñiz.

R618e Estimativa do potencial sequestro de carbono em áreas de preservação permanente de cursos d'água e topos de morros mediante reflorestamento com espécies nativas no município de São Luiz do Paraitinga / Carlos René Muñiz Rodríguez. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxvi + 120 p. ; (sid.inpe.br/mtc m21b/2015/07.20.21.31-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientadora : Dra. Maria Paulete Pereira Martins.

1. .Sequestro de carbono 2. Área de proteção permanente.
3. Topo de morro. 4. Cursos d'água. 5. Município de São Luis do Paraitinga. I.Título.

CDU 551.588.74(815.6)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

Meteorologia

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



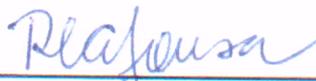
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dra. Maria Paulete Pereira Martins



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Rita de Cassya Almeida Souza



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Andrea Sundfeld Penido



Convidado(a) / LAPSI/ USP / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

Título: "Estimativa do Potencial Sequestro de Carbono em Áreas de Preservação Permanente de Cursos d' Água e Topos de Morros Mediante Reflorestamento com Espécies Nativas no Município de São Luiz do Paraitinga."

Aluno (a): **Carlos Rene Muñiz Rodriguez**

São José dos Campos, 31 de Julho de 2015

*“Las masas humanas más peligrosas
son aquellas en cuyas venas ha sido inyectado
el veneno del miedo, del miedo al cambio.”*

OCTAVIO PAZ

*A mi padre que me enseñó a ser un hombre de bien,
A mi madre que me guía y me cuida desde el cielo,
A mis hermanos que juntos hemos sabido salir adelante,
A mis amigos que son parte fundamental de mi vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas e instituições que me apoiaram durante a realização deste trabalho, em especial:

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

A minha orientadora Dra. Maria Paulete Pereira Martins, pela confiança depositada, compreensão e atenção dispensadas, mas sobretudo por sua infinita bondade.

Ao Mestre em Geografia Luis Manuel Galvan Ortíz pelas explicações sobre SIG e ensino sobre a manipulação dos dados.

À arquiteta Rita de Cassya Almeida Sousa pelo fornecimento de dados muito valiosos, e pelo ensinamento sobre SIG, conselhos e pelo apoio incondicional.

À Dra. Andrea Sundfeld pelas explicações sobre leis e legislações brasileiras que ensinastes dentro do tópico da biologia.

Ao Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão pelas sugestões oferecidas na apresentação da proposta.

Ao Dr. Clovis Sansigolo pelas sugestões oferecidas na apresentação da proposta.

Ao Dr. Ernesto Caetano pela oportunidade brindada para a realização deste Mestrado.

Aos meus companheiros e amigos das turmas 2013 e 2014 pelas horas que dividimos estudando para as provas, discutindo sobre nossos trabalhos e até mesmo tomando uma cerveja nos finais de semana.

Agradecimentos especiais para meus outros importantes amigos, pois a vida em São José dos Campos foi muito mais feliz com a existência de vocês. Muito obrigado, Anderson, Joiner, Ivan, Luana Schmidt, Celia, Vinicius, Luana, Leona, Hugo, Karleyne, Alejandro, German, Bruna, Julliana, Xico Lima, Julio Ronceros, Freddy, Elvis e Varlei.

Aos meus amigos mexicanos Andrés Rosado, Don Noé Rosado, Amilcar Rosado, Gabriel Espinoza, Fernando León, Lic. Ignacio Garcia Leyva, Alberto Montero Moctezuma (El Moro), Carlos Retureta, Dulce Maria Vela, José Roberto, Rosa Luz, Ernesto Lopez, meus amigos de Puebla, Ariel, Tencha, Mundo, Alejandra, Jorge, Angeles, Miguel e companhia, minha prima Elided Márquez e Antonio Eguia, meu tio Carlos Arriola, meu primo Julio Muñiz, minhas tias, Carmen Muñiz e Alicia Muñiz, Abel Muñiz e família, e a toda família Arriola, meu tio René Rodríguez, assim como as minhas professoras brasileiras de português no México Marcia e Nadia

A minha família, meu pai Carlos que me ensinou a ser uma pessoa com valores, minha Mãe Rocio que me cuida e guia desde o céu, meus irmãos Rafa, Paco e Nadia por me apoiarem e estarem comigo nos momentos mais difíceis.

E todos aqueles que fizeram parte desta história, não tenho mais senão agradecer e oferecer desculpas por todos aqueles que não apareceram nesta secção.

RESUMO

O presente trabalho estima o potencial de sequestro de carbono por reflorestamento em três categorias de Áreas de Preservação Permanente (APPs), as quais são: rios, nascentes e topo de morros no Município de São Luiz do Paraitinga. Este município foi afetado por uma enchente intensa na virada do ano 2009 para 2010 causando grandes perdas econômicas e de construções históricas, danos que até hoje são visíveis. Para o mapeamento das APPs foram usados dados topográficos SRTM do modelo digital de Elevação, rede de drenagem e um mapa de uso do solo. Utilizando como ferramenta o Sistema de Informação Geográfica (SIG), obteve-se uma área total disponível de APP para reflorestamento de 3235,83 ha. Posteriormente foi realizado o cálculo de sequestro de carbono por mata nativa para as três categorias de APP mapeadas, usando o fator proposto pelo IPCC para um horizonte de tempo de 20 anos, gerando um potencial total de sequestro de 1.682.256,17 tCO₂/20 anos ou 454.209,17 tC/20 anos. Finalmente, estimou-se que o município geraria um lucro aproximado por tonelada de carbono fixada de US\$ 1.734.619,8 em 20 anos de projeto.

ESTIMATE OF POTENTIAL CARBON SEQUESTRATION IN PERMANENT PRESERVATION AREAS OF WATER COURSES AND TOP MOUNTAINS BY REFORESTATION WITH NATIVE SPECIES IN THE MUNICIPALITY OF SÃO LUIZ DO PARAITINGA

ABSTRACT

This study estimates the potential carbon sequestration through reforestation in three categories of Permanent Preservation Area (PPA) which are: Rivers, Springs and Hill Top in São Luiz do Paraitinga. This Municipality was affected by intense floods at the turn of the year 2009 to 2010 leaving economic and historical buildings lost, with damage visible up to nowadays. In this study was used digital model SRTM topographic data, drainage network and a map of land use, as the way to obtain the map of the PPA. By using GIS as a tool, the total area available for reforestation of PPA was of 3235.83 ha. It was later realized the carbon sequestration calculation by native forest for the three mapped PPA categories, using carbon sequestration factor proposed by the IPCC and a time horizon of 20 years, generating a total potential sequestration of 1.682.256,17 tCO₂/20 years or 454.209,17 tC/20 years. Finally it was estimated that the city would generate an approximate profit per ton fixed carbon of US \$ 1.734.619,80 for 20 year of the project.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1- O Balanço energético da Terra (valores em W/m^2).....	15
Figura 2.2- Anomalias da temperatura global (1981-2010).....	18
Figura 2.3- Forçante Radiativa Estimada para GEE selecionados entre 1750 e 2005.....	24
Figura 2.4- Concentrações recentes de CO_2 na atmosfera (400 ppm, o dobro da época pré-industrial).....	25
Figura 2.5- Representação esquemática das perturbações globais do ciclo do carbono causado por atividades antrópicas, média global para a década 2003-2012.....	27
Figura 2.6- Etapas para financiamento de projeto em MDL.....	31
Figura 2.7- Evolução do Preço Pago por Tonelada de Carbono.....	33
Figura 2.8- Modelos hipotéticos para representar a metodologia usada para delimitação de APPs em Morretes, Paraná.....	35
Figura 2.9- Representações usadas na detecção das APPs no município de Santo Antônio do Pinhal.....	36
Figura 2.10- Mapa das APPs do município de Santo Antônio do Pinhal, SP.....	36
Figura 2.11- Resultados por categorias de APPs na bacia do Ribeirão Pirai-SP.....	38
Figura 2.12- Representação do processo da fotossíntese.....	43
Figura 2.13- Mapa identificando a área a ser reflorestada.....	56
Figura 2.14- Efeitos hipotéticos de um projeto de campo florestal com mitigação de Carbono, comparado com os valores sem projeto.....	58

Figura 3.1-	Localização do município de São Luiz do Paraitinga no estado de São Paulo.....	63
Figura 4.1-	Fluxograma onde são mostradas as etapas de desenvolvimento da dissertação em questão.....	69
Figura 4.2-	Mapa da cobertura do solo do Município de São Luís do Paraitinga.....	72
Figura 4.3-	Mapa de drenagem do município de São Luís do Paraitinga (A) e Detalhe da Área de Preservação Permanente dos cursos d'água (B).....	74
Figura 4.4-	Mapa temático da cobertura do solo no município de São Luís do Paraitinga (A) e Detalhe das classes de uso e cobertura do solo na Área de Preservação Permanente dos cursos d'água (B).....	75
Figura 4.5-	Ilustração do critério para detecção de APP no topo de morros.....	76
Figura 4.6-	Ilustração do critério para detecção de APP em relevos ondulados.....	77
Figura 4.7-	Localização dos três topos de morros identificados no município, Morro 1(Vermelho), Morro 2(Azul) e Morro 3 (Preto).....	78
Figura 4.8-	Mapa do Topo ou último terço do Morro 1 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.....	79
Figura 4.9-	Mapa do Topo ou último terço do Morro 2 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.....	80
Figura 4.10-	Ilustração dos valores encontrados a partir das equações usadas para o Morro 1 e o Morro 2.....	81
Figura 4.11-	Mapa do Topo ou último terço do Morro 3 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.....	82

Figura 4.12-	Ilustração dos valores encontrados a partir das equações usadas para o Morro 3.....	83
Figura 4.13-	Mapa Temático Final com áreas de preservação permanente (APP) e com potencial para reflorestamento (A) e Detalhe das classes de uso e cobertura do solo na área de preservação permanente dos cursos d'água (B).....	84
Figura 4.14-	Sequestro de Carbono por projeto de reflorestamento.....	87

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1- Principais Gases da Atmosfera Terrestre.....	14
Tabela 2.2- Concentrações dos GEEs e suas variações em dois diferentes períodos de tempo devido as atividades antrópicas.....	17
Tabela 2.3- Registros de Anomalias do Clima.....	19
Tabela 2.4- Fatores para converter Carbono em várias unidades (por convenção, Unidade 1= Unidade 2 x Conversão).....	28
Tabela 2.5- Área das classes de APPs do município de Santo Antônio do Pinhal.....	37
Tabela 2.6- Quantidades de APPs por categoria na bacia do Ribeirão Pirai.....	38
Tabela 2.7- Área original do Bioma Mata Atlântica, por unidade federativa.....	46
Tabela 2.8- Desmatamento no Bioma Mata Atlântica, por período.....	49
Tabela 2.9- Desmatamentos no Bioma Mata Atlântica no período de 2010-2011.....	49
Tabela 4.1- Medidas da faixa de preservação especificadas pelo código Florestal brasileiro.....	73
Tabela 4.2- Critérios para a detecção das APP em topo de morros especificadas pelo código Florestal brasileiro.....	76
Tabela 4.3- Comparação entre as características dos três métodos para sequestro de carbono.....	89
Tabela 5.1- Área das classes de APPs em cursos d'água.....	91
Tabela 5.2- Área das classes de APPs em nascentes.....	92
Tabela 5.3- Área das classes de APPs em topo de morro.....	93

Tabela 5.4-	Categorias de Áreas de Preservação Permanente do município de São Luiz do Paraitinga (Considerando as APP com plantações de eucalipto). Obs: a área total do município é de 61 714,8 ha.....	94
Tabela 5.5-	Quantidade de Sequestro Potencial de CO ₂ nas APPs mapeadas nos cursos d'água.(Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).....	96
Tabela 5.6-	Quantidade de Sequestro Potencial de CO ₂ nas APPs mapeadas nas nascentes (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).....	97
Tabela 5.7-	Quantidade de Sequestro Potencial de CO ₂ nas APPs mapeadas no Morro 1.(Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).....	98
Tabela 5.8-	Quantidade de Sequestro Potencial de CO ₂ nas APPs mapeadas no Morro 2.(Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).....	99
Tabela 5.9-	Quantidade de Sequestro Potencial de CO ₂ nas APPs mapeadas no Morro 3.(Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).....	99
Tabela 5.10-	Lucros aproximados do sequestro potencial de carbono por categoria de APP.....	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
APP	Área de Preservação Permanente
BVOCs	Compostos Orgânicos Voláteis Biogênicos
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CFCs	Clorofluorocarbonetos
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPs	Conferência das Partes
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFCs	Hidrofluorocarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICSU	Conselho Internacional das Uniões Científicas
IEGEE	Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
MCA	Mudança Climática Antrópica
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONGs	Organizações Não Governamentais
PFCs	Perfluorocarbonetos
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SRTM	Shuttle Radar Topographical Mission
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity

LISTA DE SÍMBOLOS

Ar	Argônio
b	Base do morro (metros)
C	Carbono
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
E _{FF}	Emissões provenientes da queima de Combustível fóssil
E _{LUC}	Emissões das Mudanças no Uso e Cobertura da Terra
FR	Forçante Radiativa
FSC	Fator de sequestro de carbono
G _{ATM}	Taxa de crescimento de CO ₂ atmosférico
GtC	Gigatoneladas de Carbono
GtCO ₂	Gigatoneladas de dióxido de Carbono
h _m	Altitude máxima do morro (metros)
He	Hélio
H ₂	Hidrogênio molecular
H ₂ O	Vapor da água
k	Constante estequiométrica de fixar o carbono do CO ₂ atmosférico
Kg CO ₂	Quilogramas de gás carbônico
Kr	Criptônio

MgC	Megagrama de Carbono
MtC	Mega toneladas de Carbono
m_{ha}	Velocidade de crescimento da massa das árvores por unidade e área
Ne	Neônio
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxigênio molecular
O ₃	Ozônio
PgC	Petagramas de Carbono
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
ppt	Partes por trilhão
S _{OCEAN}	Sumidouro médio oceânico de CO ₂
S _{LAND}	Sumidouro mundial residual terrestre de CO ₂
S ₂₀	Sequestro de Carbono para um horizonte de tempo de 20 anos
t _c	Teor de Carbono (%)
T _m	Topo ou base dos 3/3 do morro (metros)
t _m	Terço do morro (metros)
tC	Tonelada de Carbono
tCO ₂	Tonelada de dióxido de Carbono
W/m ²	Watts por metro quadrado
ρ_m	Densidade da madeira (gr m ⁻³)

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
CAPITULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação.....	3
1.2 Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	5
2.1 Histórico das Mudanças Climáticas.....	5
2.1.1 As Conferências das Partes – COP.....	9
2.2 Composição da Atmosfera.....	13
2.3 O Efeito Estufa.....	14
2.4 Gases de Efeito Estufa (GEE).....	17
2.4.1 Vapor d’água.....	19
2.4.2 Dióxido de carbono e metano.....	20
2.4.3 Óxido nitroso.....	21
2.4.4 Ozônio.....	21
2.4.5 Haloalcanos.....	22
2.5 Comparação entre GEEs.....	22
2.5.1 Forçante Radiativa	23
2.6 O Ciclo do Carbono.....	24
2.7 Mercado de Carbono.....	28
2.8 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).....	29
2.8.1 Preços da Tonelada de Carbono Fixado.....	33
2.9 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	34
2.10 Sequestro de Carbono pela Floresta.....	39
2.10.1 A fotossíntese.....	41
2.10.2 O Bioma Mata Atlântica.....	44
2.10.3 Importância Biológica da Mata Atlântica.....	50
2.11 Reflorestamento.....	51
2.12 Projetos no Brasil e no exterior.....	54
2.13 A legislação Ambiental Brasileira Referente às Áreas de Preservação Permanente.....	58
CAPÍTULO 3- ÁREA DE ESTUDO.....	63
3.1 Localização.....	63
CAPÍTULO 4- MATERIAL E MÉTODOS.....	67
4.1 Material.....	67
4.1.1 Programas utilizados.....	68
4.2 Metodologia.....	68
4.2.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	69
4.2.1.1 Geração do mapa de cobertura do solo.....	70

4.2.1.2	Geração do mapa das APP em cursos d'água.....	72
4.2.1.3	Geração do mapa das APP em topo de morros.....	75
4.2.1.4	APP em encostas com declividade maior que 45 graus.....	83
4.2.1.5	Geração do Mapa Temático Final com áreas potenciais para reflorestamento nas áreas de preservação permanente (APP) de cursos d'água topos e morros.....	83
4.2.2	Estimativa de Sequestro de Carbono.....	84
4.2.2.1	IPCC (2006).....	85
4.2.2.2	Projeto Mata Nativa INPE (2009).....	85
4.2.2.3	Metodologia gerada a partir da coleta de dados de diversas fontes.....	87
4.2.2.4	Características dos métodos para sequestro de carbono.....	88
CAPÍTULO 5-	RESULTADOS	91
5.1	Quantificação das áreas das classes selecionadas para potencial reflorestamento dentro das APP.....	91
5.2	Cálculo do Sequestro de Carbono.....	95
5.2.1	Estimativa do sequestro de carbono para APPs de Cursos d'água.....	96
5.2.2	Estimativa do sequestro de carbono para APPs de Nascentes.....	97
5.2.3	Estimativa do sequestro de carbono nas APPs de Topo de Morro.....	98
5.3	Comparação do potencial de sequestro de carbono por projeto de reflorestamento com as emissões do Município de São Luiz do Paraitinga.....	100
5.4	Lucros aproximados para a captura de carbono no município de São Luiz do Paraitinga.....	101
CAPÍTULO 6-	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

1 INTRODUÇÃO

O consenso sobre a existência de uma mudança climática antrópica (MCA) está a cada vez mais consolidado. O último relatório do IPCC (2013), assim como medições no observatório de Mauna-Loa na ilha do Hawaii confirmaram o aumento nas concentrações do CO₂ chegando aos 400 ppm em 2013, ou seja, quase o dobro da época pré-industrial. Existe uma tendência do aumento na temperatura média global e cientistas que eram considerados céticos estão se somando ao grupo que considera como fato de que a mudança global de temperatura é devida a emissão de gases de efeito estufa pelas atividades humanas. Dentre as que se destacam estão o desmatamento (exposição do solo às intempéries, intensa utilização de insumos e escoamento superficial, gera impactos negativos decorrentes da erosão), monocultura, extrativismo dos recursos naturais em larga e pequena escala, transformação das estruturas biológicas dos ecossistemas naturais, a substituição de espécies nativas por exóticas e as atividades industriais (IPCC, 2013).

No Brasil são perdidas grandes extensões de floresta e bosques e entre os anos de 2005-2010 foi registrada uma taxa de perda de 2.194.000 hectares de florestas o que representa um 0,42 % anualmente. Cabe dizer que no país a taxa de perda de florestas e bosques foi diminuída em comparação com os anos 2000-2005 onde foi de 3.090.000 hectares por ano (GFRA, 2010). Mesmo assim não é motivo para celebrar pois a despeito da notícia encorajadora, essa taxa, que parece tão pequena, seria suficiente para desmatar área equivalente a toda a Costa Rica em meros dez anos (NOBRE, 2014).

Atualmente, adaptação e mitigação são preocupações presentes na agenda de governos ao redor do mundo e conforme a consciência sobre as MCA aumenta, a pressão pela redução ou pela compensação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é maior. As soluções propostas envolvem desde ações de grande escala tais como acordos internacionais e políticas governamentais, até ações de pequena escala de cidades, empresas e inclusive indivíduos (MÜLLER, 2012).

Para minimizar tais efeitos, é necessário estabelecer projetos de recuperação do solo, entre os quais se destacam os reflorestamentos, por serem de baixo custo e de preservação do meio ambiente.

Assim, uma porção de solo reflorestada favorece o estoque de carbono mediante o processo da fotossíntese, além de uma série de outros benefícios ambientais entre os quais podemos citar: reciclagem de umidade (transporte de água para a atmosfera através da evapotranspiração, quase 90% de toda a água que chega à atmosfera oriunda dos continentes chegou lá através da transpiração das plantas, e somente pouco mais de 10% como simples evaporação sem mediação das plantas), melhora da qualidade do ar (pois as florestas seguram os poluentes abaixo delas), favorece às chuvas (as florestas emitem Compostos Orgânicos Voláteis Biogênicos (BVOCs) como o isopreno ou terpeno, os quais oxidam-se formando uma poeira finíssima que serve como núcleos de condensação), oferece um seguro contra eventos atmosféricos destrutivos como os furacões e tormentas (a fricção turbulenta local com o dossel da floresta que transpira ativamente, o que resulta em chuvas uniformes sobre grandes áreas), entre outros (NOBRE, 2014). As florestas são sumidouros de carbono, e só o potencial de sequestro delas é estimado em 70 milhões de toneladas de C por ano (LEAD; FAO, 2006).

Devido a sua posição geopolítica, interligando os maiores centros urbanos do País, São Paulo-Rio de Janeiro-Belo Horizonte, a bacia do rio Paraíba do Sul sofreu um processo de ocupação e uso dos recursos naturais que ultrapassa as restrições ambientais e que levou à devastação da sua floresta nativa desde a época do descobrimento do Brasil até a atualidade. Com as plantações do café a vegetação nativa foi substituída, resultando num predomínio das áreas de pastagem onde antes era Mata Atlântica. A área original da Mata Atlântica era 1.290.692,46 km², 15% do território brasileiro, atualmente o remanescente é 95.000 km², 7,3% da área original (VILLELA *et al.*, 2012).

Este estudo tem como objetivo identificar áreas de preservação permanente (APPs) de cursos d'água, nas áreas com declividade maior que 45° e nos topos de morros.

Estas áreas serão avaliadas de acordo com o uso do solo e selecionadas para reflorestamento com vegetação nativa da região do Vale do Paraíba. A partir da escolha das áreas fez-se uma estimativa da quantidade de CO₂ que poderia ser sequestrado caso essas áreas fossem reflorestadas, visando contribuir com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Com a finalidade de comparação foram utilizados dados das emissões de CO₂ baseados nas informações do Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo o qual foi elaborado pela Secretaria de Energia e Subsecretaria de Energia Elétrica.

O município escolhido para estudo foi São Luiz do Paraitinga por ser uma área que ficou devastada devido à enchente na virada do ano 2009 para 2010 e também pela sua localização estratégica e característica turística dentro do Vale do Paraíba.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, no capítulo 3 a área de estudo, no capítulo 4 materiais e métodos, no capítulo 5 os resultados, no capítulo 6 as conclusões e finalmente as referências bibliográficas.

1.1 Motivação

Um dos motivos para o desenvolvimento deste trabalho está relacionado com o tema mudanças climáticas, visto que nos últimos anos tem despertado interesse e preocupação global, pois com os recentes estudos de diversos institutos, organizações, centros de pesquisa, pesquisadores independentes e observatórios está sendo confirmado o aumento da temperatura média global.

O aumento da temperatura média repercute de maneira direta no ambiente, mediante eventos meteorológicos severos e extremos como tormentas intensas, secas prolongadas além do derretimento das calotas polares, o que gera um aumento no nível médio do mar.

Assim surgiram preocupações numa grande quantidade de países do mundo o qual levou a criação e implementação de diversos programas, iniciativas,

propostas de redução de emissões de gases de efeito estufa. Um importante mecanismo de mitigação das mudanças climáticas é o sequestro de carbono (principal gás de efeito estufa antropogênico) mediante o reflorestamento com vegetação nativa.

O segundo motivo para o desenvolvimento deste trabalho está relacionado com a área de estudo. O município de São Luiz do Paraitinga foi escolhido devido a um episódio ocorrido na virada do ano 2009-2010, quando uma enchente muito intensa deixou grandes perdas tanto no aspecto de construções históricas como no econômico, consequências que são visíveis até hoje. Outro motivo é o oposto daquela enchente, pois nos últimos meses no estado de São Paulo vem-se apresentando uma crise hídrica que afeta a população.

1.2 Objetivos

Estimar a quantidade de CO₂ atmosférico que pode ser sequestrada em áreas de APPs de cursos d'água, áreas com declividade maior que 45° e topos de morros, caso elas sejam reflorestadas.

E comparar com as emissões de Carbono no município, utilizando como base os dados de emissões do Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo elaborado pela Secretaria de Energia e Subsecretaria de Energia Elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Histórico das Mudanças Climáticas

A meteorologia mudou desde que começou a se chegar num consenso sobre as mudanças climáticas (entre 1980-1988), pois anteriormente era só focada no estudo das interações físicas dos distintos elementos envolvidos na dinâmica da atmosfera direcionados principalmente para as previsões do tempo. Atualmente, com o tema das mudanças climáticas não só são realizadas previsões de curto prazo (1-3 dias), mas também são elaboradas simulações climáticas com modelos numéricos (reanálises e re-forecast) mostrando uma evolução na modelagem climática. Disso resulta projeções e cenários futuros de mudanças climáticas em respeito ao aquecimento global e as consequências fatais que podem trazer devido às catástrofes naturais como enchentes, secas prolongadas, furacões devastadores, entre outras. Nos anos 90 como resultado da melhora dos modelos climáticos se chegou ao acordo de que o efeito estufa sempre esteve relacionado com as mudanças climáticas e que as emissões antrópicas trouxeram sérios problemas de aquecimento global. Desde então, uma grande parte dos trabalhos dentro da área das ciências atmosféricas (da qual a meteorologia faz parte) são direcionados na produção de informes do IPCC que foi criado pela OMM e PNUMA, em 1988 (IFCA, 2015).

Percebe-se a necessidade de se buscar a diminuição das emissões antrópicas líquidas dos gases de efeito estufa, pois a maior preocupação reside na acumulação progressiva desses gases. Os problemas relacionados à mudança do clima que se verificam no presente são a resposta do clima à ação do homem ocorrida há décadas. Segundo o IPAM (2002) além do aumento da temperatura do planeta, outros impactos estão previstos como consequências das mudanças climáticas: eventos climáticos extremos (enchentes, tempestades, furacões, secas, além do El Niño, evento climático que ocorre regularmente a cada 5 a 7 anos, poderá se tornar mais intenso e frequente).

Se não forem tomadas medidas para limitar as emissões de gases de efeito estufa, as temperaturas médias globais aumentarão entre 0.8 a 4.5 graus Celsius nos

próximos cem anos, e os níveis dos mares elevar-se-ão entre 13 a 94 centímetros (PACIORNIK; MACHADO FILHO, 2000), o que implica no desaparecimento de muitas ilhas e várias áreas costeiras, além de causar enchentes e erosão. Também ocorrerão mudanças no regime das chuvas, a composição e a distribuição de espécies poderá ser alterada com prejuízos diretos para a biodiversidade e muitos ecossistemas terão dificuldades de adaptação às novas condições climáticas. Nas regiões subtropicais e tropicais a mudança nas condições climáticas poderá modificar significativamente a vocação agrícola. Além disso, deverá haver aumento na frequência de doenças relacionadas ao calor e naquelas que são transmitidas por mosquitos e ainda a possibilidade de ocorrer o deslocamento da população humana em função de alterações no clima. (IPCC, 2006).

Segundo Moreira e Schwartzman (2000):

Em 1995, cerca de 2.000 cientistas que compõem o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), chegaram à conclusão, após um processo de avaliação que durou vários anos, que as evidências científicas indicam “uma influência perceptível” no clima global, no que se refere às atividades humanas. A temperatura da Terra aumentou em 0.5 grau centígrado no último século, e mantendo-se os atuais níveis de emissões de gases associados ao efeito estufa, aumentará em média de 1 °C a 3,5 °C até o ano 2060, quando a concentração de CO₂ na atmosfera deverá chegar ao dobro dos níveis pré-industriais (MOREIRA; SCHWARTZMAN).

Diante desse quadro foram criados diversos acordos e ações com a finalidade de tomar medidas sobre o assunto.

Os estudos sobre efeito estufa e mudanças climáticas datam de mais de um século atrás. Os trabalhos do cientista Joseph Fourier, no começo do século XIX, foram os primeiros a descrever o fenômeno hoje conhecido como Efeito Estufa (RODHE et al., 1997). Ao final do mesmo século, Svante Arrhenius (citado em RODHE et al., 1997) conjecturou que a emissão de alguns gases em atividades humanas poderia influenciar o efeito estufa presente na atmosfera. Estudos subsequentes e independentes de Thomas Chamberlin se somaram a esta hipótese (MASLIN, 2004).

A partir desse momento, a comunidade científica entrou em um debate sobre a verdadeira razão das mudanças climáticas e o poder que o homem tem, de fato, para mudar o clima e os possíveis prejuízos ou benefícios que isto poderia trazer à sociedade. O debate conta com discussões que ainda estão abertas.

Apesar destes trabalhos, a consciência sobre a MCA demorou a chegar; nos anos posteriores à publicação dos trabalhos de Arrhenius e Chamberlin, o tópico da MCA foi abandonado frente a tópicos como as variações na órbita terrestre ou na radiação solar, os quais pareciam muito mais influentes na mudança da temperatura média terrestre. Outros fatores contribuíram também ao abandono da hipótese da MCA; por exemplo, pensava-se que os oceanos poderiam absorver e guardar por muito tempo o excesso de GEE produzido pelo homem. Ainda, os registros de temperaturas entre 1940 e 1980 apontavam um esfriamento global (MASLIN, 2004).

A influência das atividades humanas sobre a atmosfera terrestre ficou em evidência com os registros da diminuição do ozônio estratosférico devido à emissão de gases clorofluorocarbonetos (CFC). O esforço científico permitiu demonstrar que a liberação indiscriminada desses gases na atmosfera leva a uma perda da camada de ozônio com consequências graves sobre a saúde. Os governos do mundo reagiram, assinando tratados internacionais com compromissos de redução de uso desses gases na indústria.

A produção destes foi diminuindo com o acordo fixado pelo Protocolo de Montreal, levando a resultados aparentemente satisfatórios, pois há evidências de uma diminuição na concentração de substâncias destruidoras do ozônio e alguns sinais iniciais de recuperação do ozônio estratosférico (NOAA, 2007).

Com respeito à MCA, o processo tem sido muito mais demorado e complexo devido, em parte, a que o consenso sobre a ocorrência de MCA demorou em ser consolidado. Além disso, as implicações econômicas da redução nas emissões de GEE são muito maiores que no caso dos CFC (os quais também são GEE), pois afetam quase todas as atividades humanas. Por esta razão, os acordos internacionais têm sido difíceis de alcançar.

A primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979, reconheceu a mudança do clima como um grave problema. Essa reunião científica explorou a questão de como a mudança do clima poderia afetar as atividades humanas. Foi criado então um Programa Mundial do Clima sob a responsabilidade conjunta da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Conselho Internacional das Uniões Científicas (ICSU).

A partir daí, foram realizadas regularmente conferências intergovernamentais consagradas à mudança do clima. Os principais eventos foram a Conferência de Villach (outubro de 1985), a Conferência de Toronto (junho de 1988), a Conferência de Ottawa (fevereiro de 1989), a Conferência de Tata (fevereiro de 1989), a Conferência e Declaração de Haia (maio de 1989), a Conferência Ministerial de Noordwijk (novembro de 1989), o Pacto do Cairo (dezembro de 1989), a Conferência de Bergen (maio de 1990) e a Segunda Conferência Mundial sobre o Clima (novembro de 1990) (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2002).

O IPCC é reconhecido como a maior autoridade mundial em questões climáticas. Estabelecido em 1988 pela OMM e PNUMA, o IPCC foi criado para melhorar o entendimento científico sobre o tema através da cooperação dos países membros da ONU. A partir daí houve uma evolução nos debates: em 1990, sob recomendação do IPCC, a Assembleia Geral da ONU inicia as negociações para a adoção da Convenção sobre Mudança Climática. Em 9 de maio de 1992, é adotada a Convenção Quadro sobre Mudança Climática das Nações Unidas (UNFCCC).

É importante ressaltar que esta Convenção reconheceu e reconhece a necessidade de modificar substancialmente o comportamento da sociedade, já que a base econômica e produtiva atual depende de atividades (industriais e de transportes) que emitem gases de efeito estufa.

O princípio básico acordado na convenção é o da responsabilidade comum, porém diferenciada - cabe aos países desenvolvidos assumir os primeiros compromissos, uma vez que historicamente são eles os grandes emissores e apresentam maior capacidade econômica para suportar tais custos. Com base nesse princípio foram

estabelecidos, basicamente, dois grupos de países: as Partes do Anexo I e as partes do não-Anexo I.

São partes do Anexo I: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Europeia, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha, Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

Entre os países do não-Anexo I estão incluídas todas as outras partes da Convenção que não estão listadas no Anexo I. Ainda há, de acordo como a terminologia da Convenção, o chamado Anexo II, que inclui os mesmos países industrializados no Anexo I com exceção dos países em processo de transição para a economia de mercado. São países do Anexo II: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Comunidade Europeia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos da América, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, Suécia, Suíça, Turquia.

2.1.1 As Conferências das Partes – COP

Com a entrada em vigor da Convenção do Clima, em 21 de março de 1994, representantes dos países signatários da UNFCC passaram a se reunir anualmente para discutir o progresso de sua implementação. Estes encontros são chamados de Conferência das Partes (COPs). Neste caso, Parte é o mesmo que país e a COP constitui o órgão supremo da convenção (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2002).

Segundo conceito retirado da Cartilha elaborada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2015): "A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da Convenção e tem a responsabilidade de manter regularmente sob exame a implementação da Convenção, assim como quaisquer instrumentos jurídicos que a

Conferência das Partes vier a adotar, além de tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção”.

Dentre as COP as mais importantes foram: sua primeira sessão na qual constatou-se que as Partes do Anexo I não conseguiram honrar seus compromissos, com exceção do Reino Unido e Alemanha. Desta forma, avaliados que os compromissos não seriam cumpridos foi adotada em Berlim, em 1995, na primeira Conferência das Partes da Convenção do Clima, uma resolução denominada Mandato de Berlim, com o objetivo de rever os compromissos anteriormente assumidos na Convenção (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2002).

Nesta Conferência foi constituído o Activities Implemented Jointly (AJI), cuja denominação foi proposta pelo Brasil, o qual, foi implementado segundo o conceito de cooperação internacional entre as Partes da Convenção, visando à estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.

Na terceira Conferência das Partes da Convenção do Clima (COP-3), realizada em dezembro de 1997, em Quioto, Japão, foi adotado um Protocolo à Convenção sobre Mudança do Clima. Tal protocolo estabelece compromissos para as Partes Incluídas no Anexo I de redução de pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 das emissões antrópicas combinadas de gases de efeito estufa para os períodos de 2008 a 2012.

A grande inovação do Protocolo de Quioto consiste na possibilidade de utilização de mecanismos de flexibilidade para que os países do Anexo I possam atingir os objetivos de redução dos GEE. O termo “medidas de flexibilidade” refere-se aos mecanismos de implementação cooperativa estabelecidos no Protocolo de Quioto que são, basicamente, três: implementação conjunta (Joint Implementation), comércio de emissões (Emissions Trade) e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), sendo os dois primeiros mecanismos a serem implementados entre os países desenvolvidos (países do Anexo I), que têm compromissos de redução, e o último a ser implementado entre países que têm compromissos de redução e países sem esses objetivos (países não - Anexo I).

Em novembro de 1999 foi realizada a COP-5 em Bonn (Alemanha), dando continuidade aos trabalhos iniciados em Buenos Aires (onde foi realizada a COP-4). Nesta conferência, um acordo foi alcançado quanto a se ter um maior rigor na maneira de apresentar os relatórios nacionais dos países industrializados e a se respeitar de forma mais estreita as diretrizes relativas à medição de suas emissões de gases de efeito estufa (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2002).

Na COP-6 (novembro de 2000) em Haia na Holanda, as negociações foram suspensas pela falta de acordo entre a União Europeia e os Estados Unidos em relação aos sumidouros e às atividades de mudança do uso da terra. No Brasil, um Decreto Presidencial cria o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. (BRASIL, 1999). Em virtude do impasse criado, foi convocada nova conferência, chamada de Sexta Sessão Re-convocada da Conferência das Partes – COP – 6, parte II ou COP 6.5, realizada em Bonn, Alemanha, em julho de 2001. A Conferência resultou nos Acordos de Bonn, que finalizaram a negociação de elementos importantes expressos no Plano de Ação de Buenos Aires, como capacitação, transferência de tecnologia, medidas de adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima e mecanismo financeiro. No entanto, ficaram pendentes questões relacionadas à mudança no uso do solo e florestas (Land Use, Land Use Change and Forestry - LULUCF), conformidade, mecanismos e questões incluídas nos artigos 5, 7 e 8 do Protocolo (questões metodológicas, comunicação e informação, e revisão da informação) que foram encaminhadas para decisão na Sétima Conferência das Partes – COP-7.

A COP-7 foi realizada em novembro de 2001, em Marraqueche, Marrocos, onde ocorreram as negociações dos itens pendentes do Plano de Ação de Buenos Aires. Os “Acordos de Marraqueche” que resultaram da COP-7 estabeleceram as regras operacionais necessárias à ratificação do Protocolo. Sem a definição destas regras, a grande maioria dos países signatários da Convenção não poderia assinar ou ratificar o Protocolo (7a CONFERÊNCIA DAS PARTES – COP-7, 2002).

Outro resultado importante da COP-7, foi a criação do Comitê Executivo do MDL, do qual fez parte um brasileiro (Luiz Gylvan Meira Filho). Este conselho está autorizado

a aprovar metodologias de linhas de base, planos de monitoramento e limites para projetos, creditar entidades operacionais e desenvolver e manter registro dos projetos de MDL.

Já na Nona Conferência das Partes – COP-9, que aconteceu em dezembro de 2003, em Milão, na Itália, um dos principais resultados, na avaliação dos participantes, foi a definição das regras de inclusão dos projetos de reflorestamento (plantio de florestas em áreas desmatadas) e florestamento (plantio de florestas em áreas sem ocorrência anterior) no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Outro aspecto relevante da COP-9 foi o convite feito para que as Partes e observadores credenciados apresentem sugestões de modalidades e procedimentos simplificados para facilitar a implementação de projetos de florestamentos e reflorestamentos de pequena escala a serem adotados pela COP-10 no âmbito do como MDL.

Define-se como projetos de pequena escala aqueles que resultem em uma remoção por sumidouros de carbono de menos de 8 kilotoneladas de CO₂ por ano e tenham sido desenvolvidos ou implementados por comunidades de baixa renda. As quantidades excedentes a 8 kilotoneladas não pode ser negociada.

Na COP-11 celebrada em Montreal, Canadá em 2005 foi constatado que os países em desenvolvimento (Brasil, China e Índia) passaram a ser importantes emissores de gases estufa. E, durante a COP-11, o Brasil propõe duas formas de negociações, a primeira seria após o Protocolo de Kyoto e a segunda para os grandes emissores, como os EUA. Nessa reunião aconteceu a primeira Conferência das Partes do Protocolo de Kyoto (COP/MOP1), em que instituições europeias defendem a redução de 20% a 30% de gases até 2030 e de 60 a 80% até 2050.

Para a realização da COP-14 em Poznan, Polônia em 2008 haviam muitas discussões, mas poucas decisões para um acordo pleno em Copenhague na COP-14 e com uma expectativa de resolução na COP-15, com as eleições americanas e o novo presidente Barack Obama. O Brasil criou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) com metas de redução do desmatamento e também expõe o Fundo Amazônia (fundo de captação de recursos para projetos que reduzem os

desmatamentos e a divulgação da conservação e desenvolvimento sustentável na região). Os países em desenvolvimento (Brasil, China, Índia, México e África do Sul) assumiram um compromisso não obrigatório sobre a redução dos gases.

Posteriormente, na COP-16 celebrada em Cancun, México em 2010, houve a criação de um Fundo Verde do Clima, um fundo que administraria todo o dinheiro que os países desenvolvidos estão aplicando para auxiliar nas mudanças climáticas - US\$ 30 bilhões (2012-2012) e US\$ 100 bilhões anuais (após 2020). Outro ponto discutido foi realizar a manutenção da meta de reduzir no máximo de 2° C a temperatura média com relação aos níveis pré-industriais. Os líderes e participantes deixaram para decidir o futuro do Protocolo de Kyoto em Durban na África do Sul em 2011.

Já para os seguintes anos as COPs não foram tão relevantes para o presente tema.

2.2 Composição da Atmosfera

A atmosfera é composta principalmente por nitrogênio e oxigênio moleculares (N_2 e O_2 , respectivamente), porém, é possível encontrar uma ampla variedade de outros gases e partículas em estado líquido ou sólido. Os principais componentes gasosos da atmosfera estão listados na Tabela 2.1. A composição da atmosfera é aproximadamente constante nas camadas mais baixas; exceto o vapor da água (H_2O), que varia de regiões úmidas a secas na troposfera e o ozônio (O_3), cuja concentração aumenta significativamente na baixa estratosfera. Também estão presentes na atmosfera o argônio (Ar) (terceiro gás mais abundante na atmosfera terrestre), o gás carbônico (CO_2), o neônio (Ne), o hélio (He), o metano (CH_4), o criptônio (Kr), o hidrogênio molecular (H_2), o óxido nitroso (N_2O), entre outros. Dos mencionados até agora, são GEE: H_2O , CO_2 , CH_4 , O_3 , N_2O .

Tabela 2.1- Principais Gases da Atmosfera Terrestre. Os Gases de Efeito Estufa (GEE) estão ressaltados em negrito.

Componente	Formula Química	Peso Molecular	Concentração
Nitrogênio	N ₂	28,01	78,08 %
Oxigênio	O ₂	32,00	20,95 %
Argônio	Ar	39,95	0,93 %
Vapor da Água	H₂O	18,02	0-5 %
Dióxido de Carbono	CO₂	44,01	0,02-0,04 % (380 ppm)
Neônio	Ne	20,18	1,8 x 10 ⁻³ % (18 ppm)
Hélio	He	4,00	5,3 x 10 ⁻⁴ % (5 ppm)
Metano	CH₄	16,04	1,5 x 10⁻⁴ % (1.75 ppm)
Criptônio	Kr	83,80	1,1 x 10 ⁻⁴ % (1 ppm)
Hidrogênio	H ₂	2,02	5,0 x 10 ⁻⁵ % (0.5 ppm)
Oxido Nitroso	N₂O	56,03	3,0 x 10⁻⁵ % (0.3 ppm)
Ozônio	O₃	48,00	1,0 x 10⁻⁸ % (0-0.1 ppm)

Fonte: Adaptada Wallace e Hobbs (2006).

2.3 O Efeito Estufa

Efeito estufa é um fenômeno natural de aquecimento térmico da Terra. É imprescindível para manter a temperatura do planeta em condições ideais de sobrevivência. Sem ele, a Terra seria muito fria, dificultando o desenvolvimento da vida (WALLACE; HOBBS, 2006).

Os raios provenientes do Sol, ao serem emitidos à Terra, têm dois destinos. Parte deles são absorvidos, e transformados em calor, mantendo o planeta quente, enquanto outra parte é refletida e direcionados ao espaço. Cerca de 25% da radiação é refletida pela atmosfera de volta para o espaço e outro 5% é refletido também pela superfície, enquanto os outros 70% são absorvidos, pela superfície do planeta (45%) e por uma camada de gases que a atmosfera tem (25%), os gases de

efeito estufa (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O e O_3). Esses gases agem como isolantes térmicos por absorver uma parte da energia irradiada e são capazes de reter o calor do Sol na atmosfera, formando uma espécie de cobertor em torno do planeta, impedindo que ele escape de volta para o espaço (WALLACE; HOBBS, 2006).

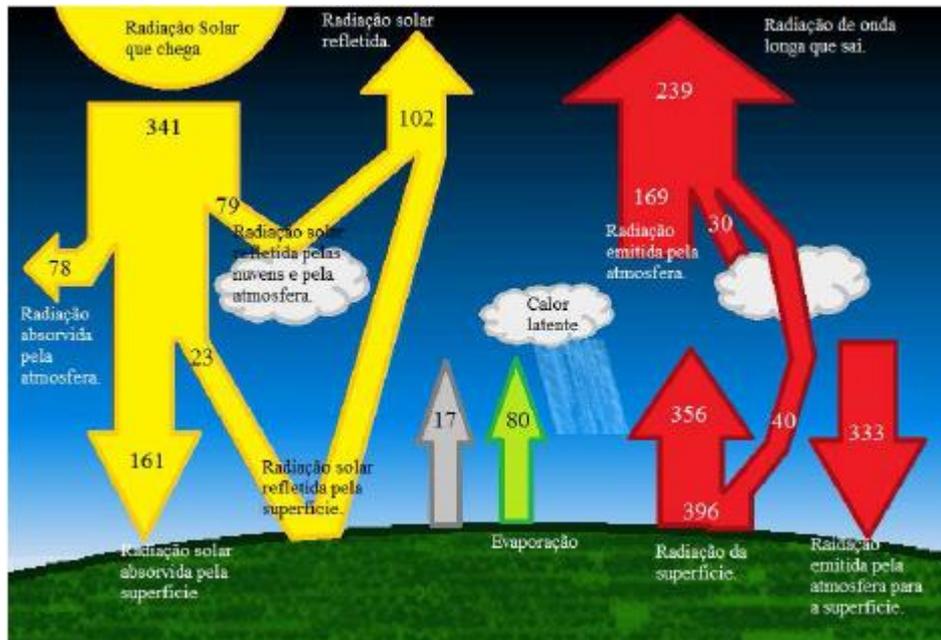


Figura 2.1- O Balanço energético da Terra (Valores em W/m^2).

Fonte: Adaptado de Trenberth et al (2009).

Na Figura 2.1 é apresentado o diagrama clássico do balanço radiativo terrestre e é possível observar que, enquanto quase metade da radiação de onda curta atravessa a atmosfera e chega à superfície, somente uma pequena porção da radiação de onda longa produzida na superfície consegue cruzar e sair ao espaço.

Em outras palavras, a transmissividade da atmosfera é maior para a radiação que chega do Sol (onda curta) do que para a radiação emitida pela superfície e por ela mesma (onda longa). A razão física da diferença se encontra na microfísica dos gases e partículas (WALLACE; HOBBS, 2006), que explica por que os gases (em particular os GEE) têm preferência por absorver radiação em certas bandas de comprimento de onda definidas.

Esta diferença faz com que uma parte da energia incidente fique presa na atmosfera, originando um processo de aquecimento. Como todo corpo quente, a atmosfera começa a emitir radiação, devido às faixas de temperatura da Terra, esta radiação é de onda longa. Uma parte desta energia é reabsorvida aquecendo ainda mais a atmosfera, enquanto outra consegue sair ao espaço. O aquecimento continua até o momento em que a radiação emitida pela atmosfera ao espaço equilibra a energia que entra ao sistema.

Este fenômeno é conhecido como efeito estufa, acontece naturalmente na atmosfera, e explica por que a Terra tem uma temperatura média de 289 K ao invés dos 255 K que se alcançariam se se comportasse como um corpo negro (KANDEL; VIOLLIER, 2005). O efeito estufa esteve presente desde a formação da atmosfera na Terra, foi mais ou menos intenso dependendo das mudanças na composição da atmosfera, e é responsável por manter uma temperatura adequada para a vida no planeta como o conhecemos hoje. E então, ele sempre foi parte do balanço energético do planeta, mas esse equilíbrio pode ser afetado, por exemplo, por alterações na superfície e o aumento das emissões de GEEs os quais, como dito anteriormente, aquecem a atmosfera, e pelo aumento ou diminuição dos aerossóis espalhados na atmosfera que contribuem tanto com absorção de calor como com espalhamento e reflexão dos raios solares.

Outros fatores que também alteram o balanço térmico são as variações do albedo na superfície. Segundo Ribeiro (1994) os valores médios do albedo em áreas de floresta e de pastagem na região de Marabá –PA são de 14% e 18% respectivamente, enquanto que o valor médio do albedo nos solos nus é de aproximadamente 30%. Segundo MOURA (1999), uma diminuição do albedo resulta num aumento do saldo de radiação (R_n), devido à diminuição da radiação enviada de volta para o espaço. Então, se nesse trabalho é proposta a plantação de floresta isso poderia levar numa variação do albedo na superfície, de 30% ou 18% para 14% o que logicamente levaria para uma variação primeiramente no balanço de radiação e depois no balanço energético. Isso levaria a um resfriamento da temperatura do ar devido a menor

quantidade de radiação refletida atravessando a atmosfera de volta ao espaço e a radiação absorvida pela floresta seria utilizada como alimento. Dessa maneira, ocorre uma redução na temperatura por cima das florestas, contribuindo com redução também do efeito estufa.

É sabido também que as nuvens até agora não têm um status definido ainda, pois jogam papéis opostos ao mesmo tempo, primeiro elas intensificam o efeito estufa mediante a absorção da radiação emitida pela superfície e posterior remissão para o solo, mas também elas refletem radiação de onda curta e impedem ela chegar à superfície pois uma parte dessa radiação é também absorvida contribuindo para um esfriamento do planeta (KANDEL; VIOLLIER, 2005).

2.4 Gases de Efeito Estufa (GEE)

Na tabela 2.1 os gases em negrito são os principais que geram o efeito estufa na atmosfera terrestre. Porém, não são os únicos, nem todos eles estão presentes nos IEGEE. A seguir, faz-se uma breve resenha de cada um dos principais GEE, incluindo suas fontes, sumidouros e, no caso de não fazer parte dos IEGEE, explica-se a razão.

Na tabela 2.2 são apresentadas as concentrações dos GEEs e como elas mudaram devido às atividades antrópicas em dois períodos diferentes de tempo.

Tabela 2.2- Concentrações dos GEEs e suas variações em dois diferentes períodos de tempo devido às atividades antrópicas.

Gases de Efeito Estufa afetados pelas atividades humanas					
Época	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs	HFCs
Pré-industrial	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0
Em 1998	365 ppm	1.745ppb	314 ppb	268 ppt	80 ppt

Fonte: IPCC (2007).

É importante mencionar que o tempo de vida na atmosfera do CO₂ está entre 5 e 200 anos, do CH₄ de 12 anos, o N₂O de 114 anos, dos CFCs de 45 anos e dos HFCs de 260 anos (IPCC, 2007).

Nas últimas décadas, verificou-se que está ocorrendo um processo de aumento da temperatura do globo terrestre, em função do índice de aumento das emissões desses gases poluentes, principalmente, os derivados da queima de combustíveis fósseis e pelo gás carbônico, ocasionando uma mudança no clima no planeta Terra. Alguns observatórios como o da Administração Atmosférica e Oceânica Nacional dos Estados Unidos (NOAA), informam os índices de anomalias de temperatura que são medidos pela diferença dessas temperaturas e a média histórica global, conforme a Figura 2.2 e Tabela 2.3.

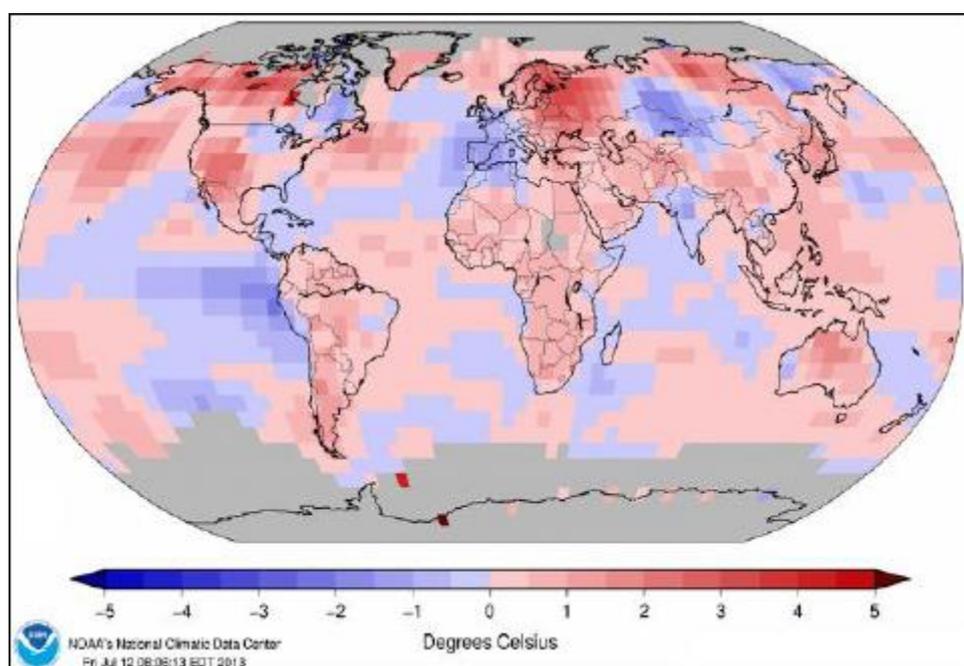


Figura 2.2- Anomalias da temperatura global (1981-2010).

Fonte: NOAA (2013).

A Tabela 2.3 apresenta dados relacionados a essas mudanças climáticas que estão ocorrendo ao longo do tempo.

Tabela 2.3- Registros de Anomalias do Clima.

Anos mais quentes	Anomalia (°C)
2001	0,55
2002	0,61
2003	0,62
2004	0,58
2005	0,65
2006	0,60
2007	0,59
2008	0,51
2009	0,59
2010	0,66
2011	0,53
2012	0,58
2013	0,62

Fonte: NOAA (2013)

2.4.1 Vapor d'água

O vapor da Água (H₂O) é o mais importante dos GEE em termos da sua contribuição ao efeito estufa, absorve radiação entre 5,5 e 7 µm e acima de 27 µm. O ciclo da água é bem conhecido, a água encontra-se na natureza nos estados sólido, líquido e gasoso. Chega à atmosfera por evaporação e pela transpiração dos seres vivos e sai dela em forma de precipitação ou condensação. A água também é adicionada e removida da atmosfera em reações químicas, mas em uma escala muito menor (WALLACE; HOBBS, 2006).

O vapor de água não é considerado nos IEGEE porque a emissão por parte dos seres vivos (corpo é composto por água) é desprezível frente à emissão de fontes naturais como os oceanos. Seu ciclo na atmosfera é muito curto, e a umidade relativa independe das atividades humanas (LIOU et al., 2002). Porém, é importante mencionar os efeitos de retroalimentação do aquecimento global: as emissões de GEE fazem com que a temperatura aumente e, dado

que a umidade relativa permanece relativamente constante, a quantidade absoluta de água na atmosfera aumenta, fortalecendo dessa forma o efeito estufa.

2.4.2 Dióxido de carbono e metano

O dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) são os GEE mais importantes no contexto da MCA. Ambos se encontram na atmosfera naturalmente, são compostos de carbono e, portanto, os dois dependem do ciclo de vida deste elemento na Terra. Enquanto o ciclo da água envolve mudanças de estado, o ciclo do carbono envolve principalmente transformações químicas onde aparecem estes dois gases (WALLACE; HOBBS, 2006).

O CO_2 é usado pelas plantas para a fotossíntese, as quais fabricam compostos orgânicos que fixam o carbono e liberam oxigênio à atmosfera agindo como “os pulmões do mundo”. O ciclo se inverte durante a respiração de plantas e animais que aportam CO_2 à atmosfera extraíndo O_2 desta. Os animais se alimentam de plantas e ficam com uma parte dos compostos orgânicos de carbono; quando morrem plantas e animais, produz-se metano em processos de decomposição anaeróbicos realizados por bactérias. O metano vai para a atmosfera e ali é oxidado, produzindo-se CO_2 e água.

As atividades humanas também influenciam o ciclo do carbono. Enquanto no Hemisfério Sul e nas regiões tropicais as maiores emissões de CO_2 são devidas ao desmatamento e mudanças no uso do solo, no Hemisfério Norte as emissões são devidas principalmente à queima de combustíveis fósseis. As principais fontes antrópicas de metano incluem a produção de arroz, a criação de cupins (térmitas que consomem madeira), a fermentação entérica, a deterioração bacteriana em aterros sanitários, as fugas de combustíveis fósseis e gás natural, e a queima de biomassa (LIOU, 2002).

Os principais depósitos de carbono no planeta, além da atmosfera, são os oceanos, a matéria vegetal, os combustíveis fósseis, e as rochas sedimentares (WALLACE; HOBBS, 2006).

2.4.3 Óxido nitroso

O óxido nitroso (N_2O) é um composto gasoso de nitrogênio que existe naturalmente na atmosfera em quantidades muito pequenas. O nitrogênio está naturalmente na atmosfera em sua forma molecular (N_2) e reage com o oxigênio ali presente quando há grandes descargas de energia como as dos relâmpagos. Nesses casos, formam-se óxidos que ao reagirem com a água formam sais como os nitratos e os nitritos, os quais ficam no solo. Também há bactérias fixadoras de nitrogênio que podem tomá-lo diretamente da atmosfera para fabricar nitratos. As plantas absorvem os nitratos do solo e os usam para formar proteínas, as quais ficam circulando na cadeia alimentar. Outros tipos de bactérias convertem os nitratos em nitrogênio molecular mediante transformações intermediárias em nitritos, óxido nítrico e óxido nitroso, que podem eventualmente chegar à atmosfera (WALLACE; HOBBS, 2006).

Além dos processos naturais, a queima de óleo e de lixo e a fabricação de substâncias para a agricultura contribuem à emissão de óxidos de nitrogênio.

Os sumidouros deste gás são o solo e as plantas, onde o armazenamento se dá nas formas de sais do nitrogênio e proteínas, respectivamente (WALLACE; HOBBS, 2006).

2.4.4 Ozônio

O ozônio (O_3) é um GEE que usualmente não aparece nas listas de GEE associadas à MCA e não se contabiliza nos IEGEE. Encontra-se na troposfera e na estratosfera em concentrações diferentes (aproximadamente em altitudes de 15 a 30 km), a concentração máxima de ozônio ocorre aproximadamente entre os 20 e 25 km de altitude, dependendo da latitude e da estação do ano. Na troposfera é criado naturalmente em descargas elétricas, porém, atualmente a maior produção de ozônio troposférico é consequência das atividades humanas, especialmente pela emissão de óxidos de nitrogênio. Na estratosfera é produzido por reações químicas entre partias moléculas de oxigênio e nitrogênio (LIOU, 2002).

Enquanto a concentração de O₃ estratosférico tem apresentado uma tendência decrescente, a concentração de O₃ troposférico está aumentando, em parte devido a razões antrópicas (LIOU, 2002).

O O₃ não é considerado nos IEGEE porque a produção devida a atividades antrópicas é indireta; emissões de hidrocarbonetos, metano, óxido nitroso e monóxido de carbono estimulam a formação de ozônio troposférico (LIOU, 2002). Também, o aumento da atividade convectiva devida à MCA traz um aumento na quantidade de descargas elétricas e um pequeno aumento na produção natural de O₃.

2.4.5 Haloalcanos

Existe uma ampla variedade de GEE sem fontes naturais de emissão, sendo os mais conhecidos os clorofluorcarbonetos (CFCs) usados para refrigeração e, antigamente, como propelentes em extintores de incêndio e aerossóis.

Os CFCs não costumam ser parte dos IEGEE nacionais, pois a redução em suas emissões é um tema que já está incluso no protocolo de Montreal. Porém, alguns dos seus substitutos que não afetam a camada de ozônio, particularmente os hidrofluorcarbonetos (HFCs) e os perfluorcarbonetos (PFCs), estão sujeitos à CQNUMC e, portanto, devem ser inventariados.

2.5 Comparação entre GEEs

A natureza química e o ciclo de cada gás são diferentes; por isso, a contribuição de cada um no efeito estufa varia também. Uma primeira aproximação para medir qual é o poder de efeito estufa de cada gás consiste em calcular a diferença entre a quantidade de radiação de onda curta e de onda longa que o gás deixa atravessar; porém, o problema é mais complexo e citam-se abaixo algumas das dificuldades.

Primeiro, as definições de onda curta e onda longa devem ser precisadas, pois não se trata de somente dois comprimentos de onda, senão que a radiação se encontra em um espectro contínuo de comprimentos de onda e a intensidade

de cada frequência varia de acordo com as condições solares e a própria temperatura da atmosfera.

Segundo, não se pode simplesmente assumir médias climatológicas de temperatura e radiação, pois se estaria cometendo um erro conceitual ao tentar usar essa quantidade para calcular uma nova temperatura média, pois as medidas climatológicas deixariam de ser válidas.

Terceiro, diferentes gases interagem entre eles levando a mudanças indiretas no regime de efeito estufa. Quarto, para medir o efeito estufa deve-se saber que cada gás tem um ciclo de vida diferente e, enquanto alguns serão removidos diariamente da atmosfera, outros permanecerão ali por muitos anos. Também, é preciso comparar o efeito dos GEE com outras forçantes das mudanças climáticas, como o ciclo solar ou as erupções vulcânicas (ORDOÑEZ, 2014).

Para lidar com algumas dessas dificuldades, foi criado o conceito de Forçante Radiativa (FR) o qual ajuda a comparar a contribuição total de cada um dos gases (ou outras forçantes) no efeito estufa.

2.5.1 Forçante Radiativa

Forçante Radiativa (FR) é a mudança da irradiância líquida na tropopausa devida a uma mudança de uma forçante externa, por exemplo, a emissão de uma quantidade determinada de um gás. A FR é medida por unidade de incremento de massa na abundância atmosférica do gás (IPCC 2006, Cap. 2 p. 211). A FR é calculada mantendo as propriedades da troposfera fixas e permitindo o reajuste da temperatura estratosférica (IPCC, 2007a).

A FR positiva tende a esquentar o sistema (mais energia recebida do que emitida), enquanto um forçamento negativo o esfria (mais energia perdida do que recebida). Por ser medida de irradiância, as unidades usuais da FR são W/m^2 . A FR pode se expressar em termos instantâneos ou como médias de um determinado período de tempo.

A Figura 2.3, tomada das estimativas do IPCC (2013), apresenta a FR média dos principais GEE entre 1750 e 2005. O CO₂ é a principal fonte de aquecimento global, porém, os demais de gases, em soma, têm uma contribuição semelhante.

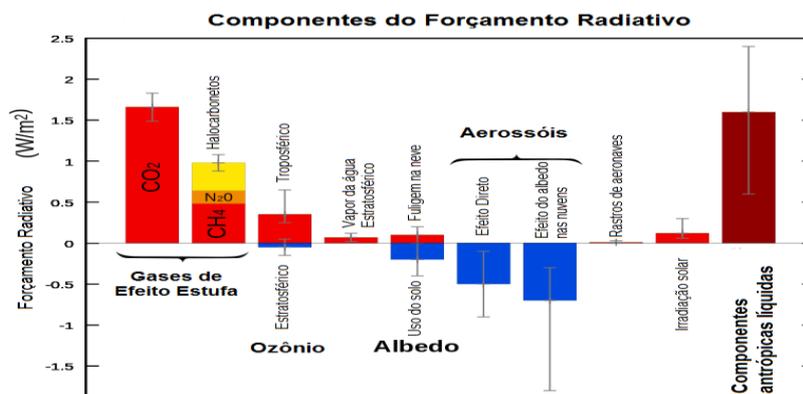


Figura 2.3- Forçante Radiativa Estimada para GEE selecionados entre 1750 e 2005.

Fonte: IPCC, 2013.

2.6 O Ciclo do Carbono

O conceito de ciclo do carbono é um bom ponto de partida para o estudo de sequestro mediante a vegetação. O elemento carbono é o principal constituinte de tudo o que é orgânico e embora o dióxido de carbono (CO₂) represente apenas 0.35 % dos gases que compõem a atmosfera, o carbono é um elemento que nos últimos anos tem provocado mudanças profundas em todo o mundo (FARIA, 2010).

O elemento carbono é encontrado na atmosfera na forma de gás originado quase todo ele do processo de respiração dos seres vivos (79%) pelo qual se completa o que é chamado de “Ciclo do carbono”.

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou de aproximadamente 277 partes por milhão (ppm) em 1750 (JOOS; SPAHNI, 2008), até no início da era industrial para 392,52 em 2012 (DLUGOKENCKY; TANS, 2013). Médias diárias chegaram nos 400 ppm na estação de Mauna Loa em dezembro de 2014 como pode ser visto na figura 2.4 (SCRIPPS, 2014).

Esta estação possui a série histórica mais longa de medidas diretas de concentração de CO₂ atmosférico (TANS; KEELING, 2013). O aumento de CO₂ na atmosfera acima dos níveis pré-industriais é causado principalmente pela queima de combustíveis fósseis, desmatamento e outras atividades de mudança no uso da terra (Ciais et al., 2013).

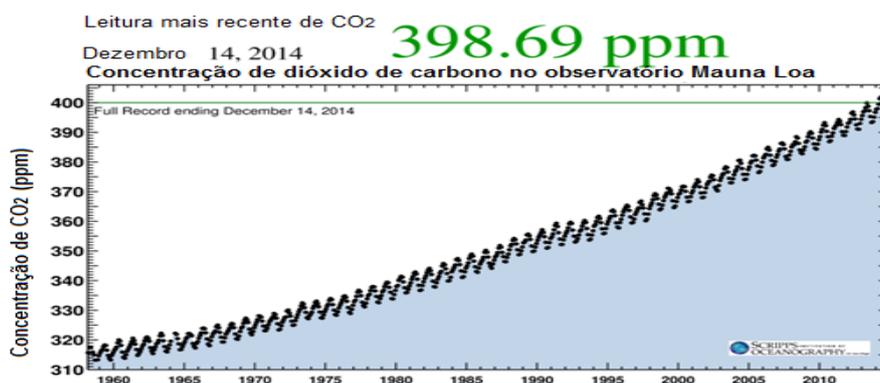


Figura 2.4- Medidas das concentrações de CO₂ na atmosfera (400 ppm, o dobro da época pré-industrial)

Fonte: Adaptada de <https://scripps.ucsd.edu/>(2014)

Segundo Le Queré et al (2013) a quantificação precisa de dióxido de carbono antropogênico (CO₂) e sua redistribuição entre a atmosfera, oceano e biosfera terrestre é importante para compreender melhor o ciclo de carbono global, apoiar o desenvolvimento de políticas climáticas, e prever futuras alterações climáticas. Emissões provenientes da queima de combustível fóssil e produção de cimento (E_{FF}) de CO₂ são baseadas em estatísticas da energia, enquanto as emissões das Mudanças no Uso e Cobertura da Terra (E_{LUC}), incluindo desmatamento, se baseiam em provas combinadas a partir de dados de mudanças de cobertura da terra, queimadas nas regiões em processo de desmatamento e modelos.

A concentração de CO₂ atmosférico global é medida diretamente e a taxa de crescimento (G_{ATM}) é calculada a partir dos ajustes anuais de concentração. O sumidouro médio oceânico de CO₂ (S_{OCEAN}) é baseado em observações da década de 1990, enquanto que as anomalias e as tendências anuais são estimadas com modelos oceânicos. O sumidouro mundial residual terrestre de

CO₂ (S_{LAND}) é estimado pela diferença dos outros termos do orçamento global do carbono e comparado com resultados de Modelos de dinâmica global de vegetação.

Assim, as emissões globais e sua partição entre a atmosfera, oceano e da terra estão em equilíbrio:

$$E_{FF} + E_{LUC} = G_{ATM} + S_{OCEAN} + S_{LAND} \quad (2.1)$$

A equação (2.1), em parte, omite dois tipos de processos. O primeiro é a entrada líquida de CO₂ para a atmosfera a partir da oxidação química de gases reativos contendo carbono a partir de outras fontes (por exemplo, aterros, processos industriais, etc.), principalmente de metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), e compostos orgânicos voláteis, tais como isopreno e terpeno.

A segunda é a perturbação antrópica para o ciclo do carbono nas águas doces, estuários e zonas costeiras terrestres, que modificam fluxos laterais transportados a partir de ecossistemas terrestres para o mar aberto, o fluxo de evasão de CO₂ a partir de rios, lagos e estuários para a atmosfera, o fluxo ar-mar de CO₂ antropogênico líquido das zonas costeiras (REGNIER et al., 2013).

G_{ATM} normalmente é relatada em ppm, mas pode-se converter para unidades de massa de carbono, utilizando 1 ppm = 2,120 GtC (Joos et al., 2013) (Tabela 2.4). Na última década (2003-2012) E_{FF} foi de aproximadamente 8,6 GtCyr⁻¹, E_{LUC} foi de aproximadamente 0,8 GtCyr⁻¹, G_{ATM} foi de ~4,3 GtCyr⁻¹, S_{OCEAN} foi de aproximadamente 2,6 GtCyr⁻¹ e S_{LAND} foi de aproximadamente 2,7 GtCyr⁻¹. Na figura 2.5 são ilustradas as perturbações globais do ciclo do carbono causadas por atividades antrópicas na década 2003-2012.

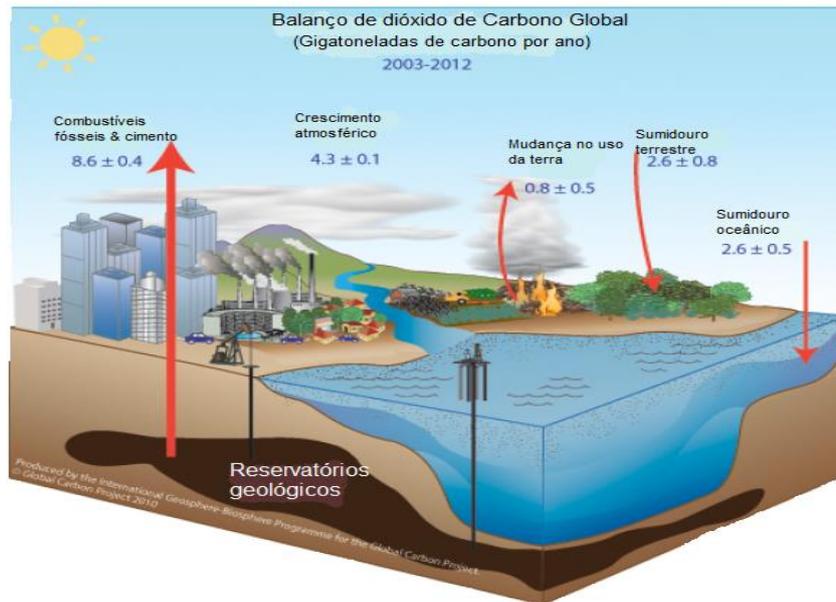


Figura 2.5- Representação esquemática das perturbações globais do ciclo do carbono causado por atividades antrópicas, média global para a década 2003-2012.

Fonte: Adaptada de Le Quéré (2013).

As setas representam emissões da queima de combustível fóssil e produção de cimento (E_{FF}); emissões por desmatamento e mudanças no uso da terra (E_{LUC}); e o crescimento de carbono na atmosfera (G_{ATM}) e a absorção de carbono pelos "sumidouros" nos reservatórios oceânicos (S_{OCEAN}) e terrestres (S_{LAND}). Todos os fluxos são em unidades de $GtC\ yr^{-1}$, com incertezas avaliadas como ± 1 sigma (68% de confiança de que o valor real encontra-se dentro do intervalo especificado).

Tabela 2.4- Fatores para converter Carbono em várias unidades (por convenção, Unidade 1= Unidade 2 x Conversão).

Unidade 1	Unidade 2	Conversão	Fonte
GtC (Giga toneladas de Carbono)	ppm (Partes por milhão)	2.120	Joos et al. (2013)
GtC (Giga toneladas de Carbono)	PgC (Peta gramas de Carbono)	1	Sistema Internacional de Unidades (SI)
GtCO ₂ (Giga toneladas de dióxido de Carbono)	GtC (Giga toneladas de Carbono)	3.664	44/12 em massa equivalente
GtC (Giga toneladas de Carbono)	MtC (Mega toneladas de Carbono)	1000	Sistema Internacional de Unidades (SI)

Fonte: Adaptada de Le Quéré (2013).

2.7 Mercado de Carbono

Créditos de Carbono são certificados que autorizam o direito de poluir. O princípio é simples. As agências de proteção ambiental reguladoras emitem certificados autorizando emissões de GEEs. As empresas recebem bônus negociáveis na proporção de suas responsabilidades. Cada bônus, cotado em US\$, equivale a uma tonelada de poluentes. Quem não cumpre as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, tem que comprar certificados das empresas bem sucedidas. O sistema tem a vantagem de permitir que cada empresa estabeleça seu próprio ritmo de adequação às leis ambientais. Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias. Os créditos de carbono estão sendo comercializados mesmo que ainda não haja uma regulamentação de preços (IMÓVEIS VIRTUAIS, 2003).

Existem ainda outros mercados para negociação de créditos. Os Estados Unidos, por exemplo, não assinam o Protocolo de Kyoto, porém, podem demandar créditos via Mercado Voluntário. Como por exemplo: A Bolsa do Clima de Chicago ((CCX), na sigla em inglês) vem batendo recordes de preços e de volumes. Só em 2007, foram negociados 23 milhões de toneladas. Só nos

primeiros cinco meses de 2008 foram 37 milhões. E o preço da tonelada subiu de uma média de US\$ 3,50 para US\$ 7,40 (Sousa, 2010).

O Brasil, como tem uma adesão voluntária ao Protocolo, pode vender seus créditos tanto para países Anexo I, via MDL, quanto no Mercado Voluntário para empresas de países não signatários. Os créditos gerados para o Mercado Voluntário não precisam ser aprovados pelo Comitê Gestor do MDL, podendo, inclusive, seguir exigências diferentes das estabelecidas no mercado MDL.

As negociações de créditos de carbono no Brasil são realizadas, na sua maioria, no mercado de balcão (OTC Market). Ou seja, são realizadas através de *traders* e *brokers* que representam seus clientes junto ao mercado comprador. A precificação das Reduções Certificadas de Emissões segue diversos parâmetros, dentre eles o preço do petróleo, volumes emitidos pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) e, principalmente, as oscilações das European Union Allowances, ou Permissões de Emissões Europeias (SOUSA, 2010).

De acordo com a organização não-governamental Carbono Brasil (2015), o mercado voluntário abre as portas para a inovação, já que não tem muitas regras preestabelecidas como no Protocolo de Quioto, e para projetos de menor escala que seriam inviáveis sob Quioto.

Conforme, Rocha (2003), uma tonelada de carbono, unidade utilizada rotineiramente pelo mercado de carbono na atualidade, equivale a 3,67 toneladas de CO₂, o que significa dizer que uma tonelada de CO₂ equivale a 0,27 toneladas de carbono.

2.8 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

“O MDL foi criado na Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP-3), em Quioto, Japão, em dezembro de 1997” (FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 1997). Teve origem na proposta brasileira com o objetivo de estabelecer elementos para definição do Protocolo à Convenção. Esta proposta consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que

seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Em Quioto, a idéia do fundo foi transformada, estabelecendo o MDL (PACIORNIK; MACHADO FILHO, 2000).

A partir do Protocolo, ficou claro que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de GEE através da proposta de se criar um valor transacionável para essas reduções, semelhante aos mecanismos existentes para alguns gases poluidores na Europa e Estados Unidos (ROCHA, 2003).

A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais. Os países do Anexo I (citados na página 9) estabelecerão em seus territórios metas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões poderão comprar Certificados de Emissões Reduzidas (CER) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Os países em desenvolvimento, por sua vez, deverão utilizar o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável (ROCHA, 2003).

Regras e normas nacionais e internacionais em concordância com os requisitos do Protocolo de Quioto auxiliam o gerenciamento para a contribuição do MDL para o financiamento de projetos e a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). Na Figura 2.6 podem-se observar as etapas para financiamento de projeto em MDL:

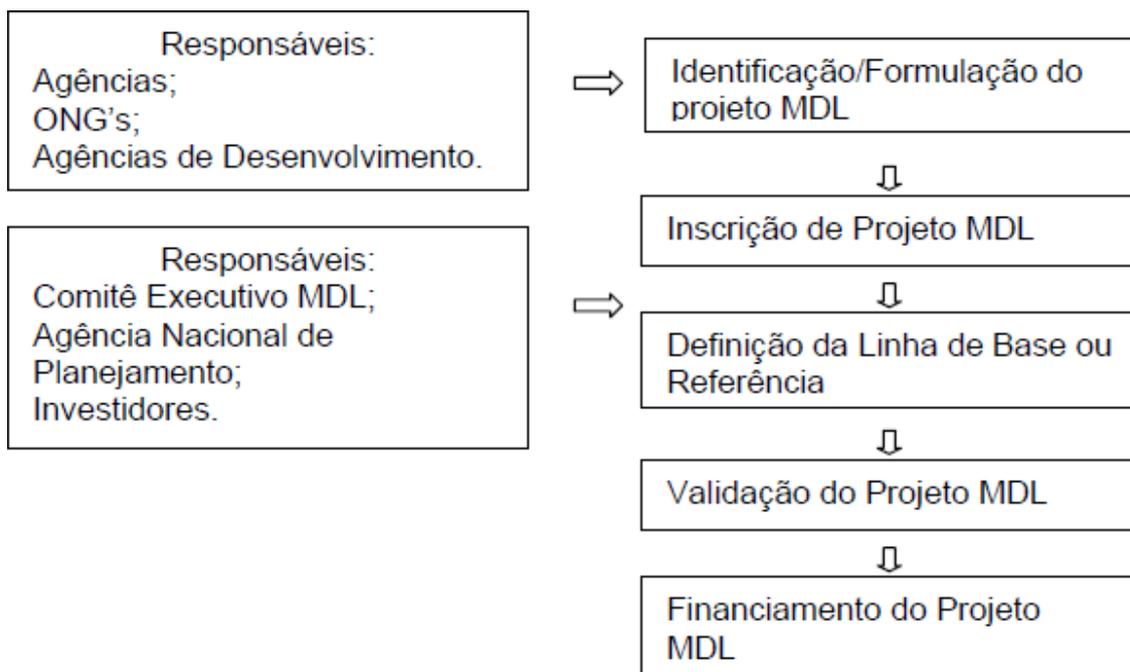


Figura 2.6- Etapas para financiamento de projeto em MDL.

Fonte: Adaptado de Mendis & Openshaw (2001).

“Após obtenção de financiamento, um projeto passa rapidamente para a fase de implementação. Um aspecto importante é assegurar que o monitoramento e registro sejam implementados de acordo com os protocolos estabelecidos em acordo, pois as reduções de emissões (Ers) resultantes do projeto serão mais tarde verificados e certificados” (EMBRAPA SOLOS, 2003).

O Brasil está se beneficiando do MDL com projetos nos setores energético, de transporte e florestal. No setor florestal, pode-se falar em projetos de “florestamento” e reflorestamento, os quais permitem que o carbono, pelo crescimento das árvores, seja removido da atmosfera. Assim, a floresta plantada atua como um sumidouro de carbono ou promove o “sequestro de carbono”. Este “sequestro” é possível porque a vegetação realiza fotossíntese, processo durante o qual as plantas retiram carbono da atmosfera, em forma de CO₂, e o incorporam a sua biomassa (tronco, galhos e raízes). Exemplos de tais projetos são o reflorestamento, a silvicultura e o enriquecimento de florestas degradadas (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2002).

Em julho de 1999, foi criada no Brasil, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, com finalidade de articular as ações do governo decorrentes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seus instrumentos subsidiários de que o Brasil seja parte (BRASIL, 1999). A apreciação e aprovação das atividades de projeto no âmbito do MDL fica sendo dessa Comissão, na forma do Anexo I da Resolução no 1. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015)

ANEXO I

Modalidades e procedimentos para um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

A. Definições

1. Para os fins do presente anexo, aplicam-se as definições contidas no Artigo 1 e as disposições do Artigo 14 do Protocolo de Quioto (PQ) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Além disso:

(a) “Unidade de redução de emissão” ou “URE” é uma unidade emitida em conformidade com as disposições pertinentes do anexo à decisão preliminar da 1ª Conferência das Partes na qualidade de Reunião das Partes no Protocolo de Quioto (decisão -/CMP.1 – Modalidades para a contabilização das quantidades atribuídas) e é igual a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono, calculada com o uso dos potenciais de aquecimento global, definidos na decisão 2 da 3ª Conferência das Partes na CQNUMC (decisão 2/CP.3) ou conforme revisados subsequentemente de acordo com o Artigo 5 do Protocolo de Quioto;

(b) “Redução certificada de emissão” ou “RCE” é uma unidade emitida em conformidade com Artigo 12 do Protocolo de Quioto e os seus requisitos, bem como as disposições pertinentes destas modalidades e procedimentos, e é igual a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono, calculada com o uso dos potenciais de aquecimento global, definidos na decisão 2/CP.3 ou conforme revisados subsequentemente de acordo com o Artigo 5 do Protocolo de Quioto;

(c) “Unidade de quantidade atribuída” ou “UQA” é uma unidade emitida em conformidade com as disposições pertinentes do anexo à decisão -/CMP.1 (Modalidades para a contabilização das quantidades atribuídas) e é igual a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono, calculada com o uso dos potenciais de aquecimento global, definidos na decisão 2/CP.3 ou conforme revisados subsequentemente de acordo com o Artigo 5 do Protocolo de Quioto;

(d) “Unidade de remoção” ou “URM” é uma unidade emitida em conformidade com as disposições pertinentes do anexo à decisão -/CMP.1 (Modalidades para a contabilização das quantidades atribuídas) e é igual a uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono, calculada com o uso dos potenciais de aquecimento global, definidos na decisão 2/CP.3 ou conforme revisados subsequentemente de acordo com o Artigo 5 do Protocolo de Quioto;

(e) “Atores” significa o público, incluindo os indivíduos, os grupos ou as comunidades afetadas, ou com possibilidade de serem afetados, pela atividade de projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

2.8.1 Preços da Tonelada de Carbono Fixado

O valor pago pela tonelada de carbono para projetos florestais de MDL varia entre US\$ 4,00 e US\$ 7,00 por tonelada fixada (SCARPINELLA, 2002), enquanto o Banco Mundial estima que o valor de mercado do carbono está entre US\$ 5,00 e US\$ 15,00 por tonelada de carbono fixado (BNDES; MCT, 1999) e Moura Costa (1998) estima a tonelada de carbono em US\$ 12,00 e segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) cada tonelada de carbono varia de US\$ 3,00 a US\$ 6,00 (IMÓVEIS VIRTUAIS, 2015).

Na figura 2.7 pode-se acompanhar a evolução dos preços da tonelada de carbono.

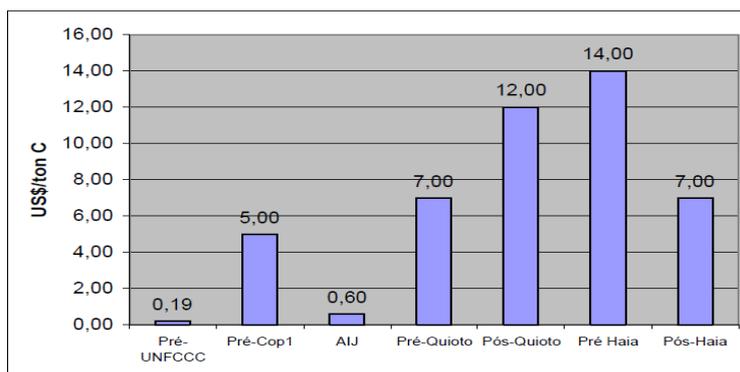


Figura 2.7- Evolução do Preço Pago por Tonelada de Carbono. NOTA: AIJ - Activities Implemented Jointly – denominação dada a fase piloto internacional Conjunta (JI), é uma modalidade de implementação conjunta introduzida na COP-1.

Fonte: Moura e Costa (1998).

Na atualidade os preços da tonelada de carbono não são os mesmos ao redor do mundo, por exemplo, no mercado europeu os créditos de carbono são negociados por volta de US\$ 9,25 por tonelada.

Diante dessa dependência dos preços da tonelada de carbono fixado com a economia global e depois da rejeição de um mercado nacional de carbono pelo Congresso dos EUA (que não ratificou ainda o protocolo de Quioto) reduziu muito a possibilidade de que se torne um mercado global em prazo razoável. No presente trabalho foi considerado o preço que estabelece o PNUD.

2.9 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Mancebo Quintana (2008) um SIG pode ser definido de diferentes maneiras. Para fazer referência ao programa ou aplicação que serve para manejar mapas, alguns autores restringem ele como só os programas os quais além de permitir o manejo dos mapas permitem fazer operações de análises como superposições vetoriais ou álgebra de mapas. Outros autores definem o SIG não apenas como o programa (software), mas também como o computador mesmo e as unidades de armazenamento, bases de dados, e o pessoal que o maneja.

Existem trabalhos feitos na delimitação de APPs usando SIG como o que foi realizado por Nowatzki et al. (2010) na bacia do rio Sagrado em Morretes, Paraná, onde fizeram o levantamento de APPs em nascentes, entorno de reservatórios, topo de morros, mata ciliar, linhas de cumeada, mangues e encostas acima de 45 graus de declividade, baseado no antigo código florestal brasileiro. Os autores encontraram um total de 26,27 km² de APP contabilizando todas as categorias trabalhadas, do total da bacia o 51,9 % foi de nascentes, mata ciliar, entorno de reservatórios e mangues o restante 48,1% foi de topo de morros, linhas de cumeada e encostas acima de 45 graus de declividade demonstrando assim o SIG como uma ferramenta eficiente para realização desse tipo de trabalho. Na figura 2.8 são mostrados os modelos hipotéticos de delimitação de APP que foram usados para a realização do trabalho o qual foi baseado nas leis vigentes daquele ano.

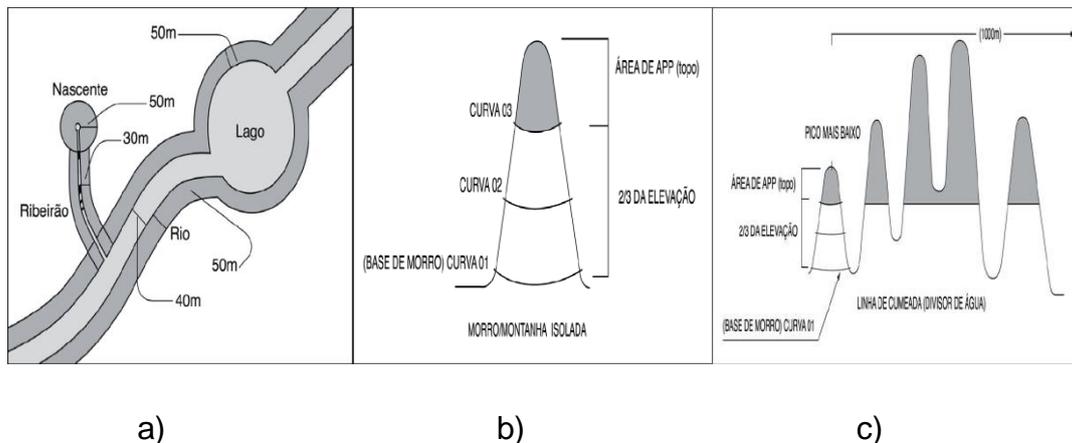


Figura 2.8- Modelos hipotéticos para representar a metodologia usada para delimitação de APPs, em Morretes, Paraná: a) rios, lago e nascentes, b) e c) topo de morros.

Fonte: Nowatzki et al. (2010).

Outro trabalho para delimitação de APPs foi o realizado por De Souza e Teixeira (2007) no município de Santo Antônio do Pinhal, SP baseado também na antiga legislação Brasileira do Código Florestal e resoluções 302 e 303/2002 da CONAMA para a delimitação de APPs em Nascentes, Margens de rios, áreas com inclinação maior que 45°, altitudes maiores que 1800 m e topo de morros.

Eles usaram metodologias baseadas no uso do SIG mediante o software SPRING 4.2, usando cartas topográficas do IBGE, rede de drenagem e modelo digital de elevação.

Na figura 2.9 são ilustradas as representações usadas na detecção das APPs de margens, nascentes e declividade superior a 45°.

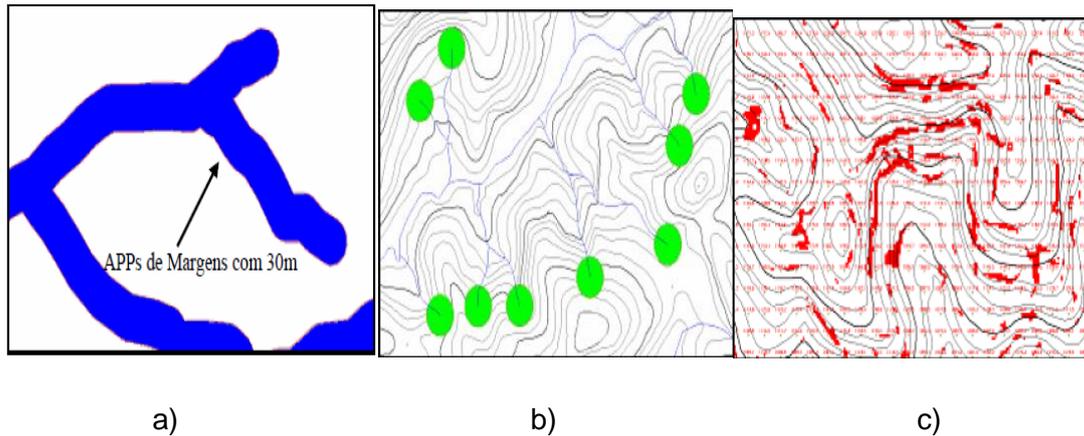


Figura 2.9- Representações usadas na detecção das APPs no município de Santo Antônio do Pinhal: a) Mapameamento de APP de margens de rios, b) Mapeamento de APPs de nascentes com raio de 50 m, c) Mapeamento de APPs de declividade superior a 45 graus.

Fonte: De Souza e Teixeira (2007).

A figura 2.10 ilustra o resultado final do mapeamento elaborado para o município de Santo Antônio do Pinhal, com as 5 classes de mapeamento.

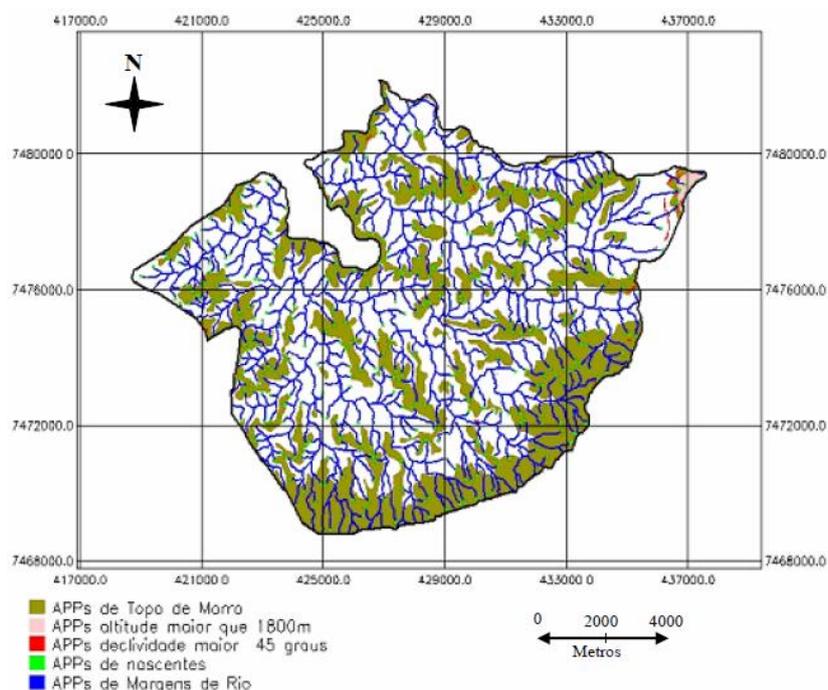


Figura 2.10- Mapa das APPs do município de Santo Antônio do Pinhal, SP.

Fonte: De Souza e Teixeira (2007).

Na tabela 2.5 são mostrados os resultados em hectares das áreas por classe.

Tabela 2.5- Área das classes de APPs do município de Santo Antônio do Pinhal.

Área das APPs			
Classes de APPs	Área (ha)	% das APPs	% das APPs no Município
Nascentes	328	4,6	2,4
Margens (30m)	2585	35,8	18,8
Inclinação > 45°	24	0,3	0,2
Altitude > 1800m	41	0,7	0,3
Topos de Morros	4227	58,6	30,7
TOTAL de APPs	7218	100,0	52,3

Fonte: De Souza e Teixeira (2007).

Outro trabalho consistente na delimitação de APPs foi o realizado por Barros (2011) na bacia do Ribeirão Piraí-SP baseado também no antigo código florestal brasileiro (Lei 4.771/1965) e resoluções 302 e 303 de 2002 CONAMA para a quantificação das categorias de APP em Nascentes, Cursos d'água, lagos, topo de morro e linha de cumeada.

Foram usadas metodologias baseadas no uso do SIG mediante o software ArcGIS 10 e ENVI 4.7, usando cartas topográficas do IBGE, rede de drenagem e modelo digital de elevação SRTM. Na figura 2.11 são ilustrados os mapas das APPs ao longo dos cursos d'água, nascentes, lagos e reservatórios, topo de morro e linhas de cumeada, assim como na tabela 2.6 são mostrados os resultados por categoria:

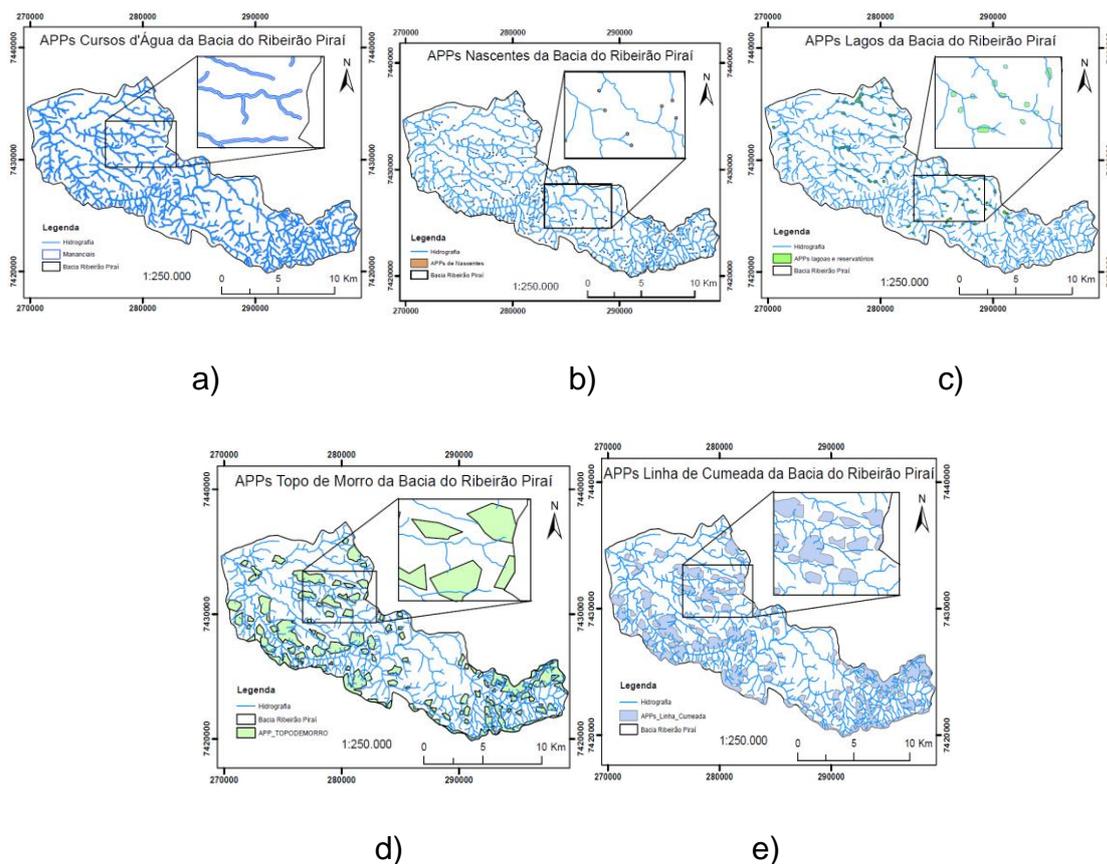


Figura 2.11- Resultados por categorias de APPs na bacia do Ribeirão Pirai-SP: a) APPs de Cursos d'água, b) APPs de Nascentes, c) APPs de Lagos, d) APPs de Topo de Morro e e) APPs de Linha de Cumeada. Fonte: Barros (2011).

Tabela 2.6- Quantidades de APPs por categoria na bacia do Ribeirão Pirai.

NOME	Área (ha)	Porcentagem em relação às APPs (%)	Porcentagem em relação à área da bacia (%)
APPs Nascentes	321,16	2,76	1,47
APPs Cursos d'água	2761,69	23,76	12,64
APPs de Lagos	319,96	2,75	1,46
APPs de Topo de Morro	3956,67	34,04	18,11
APPs de Linha de Cumeada	4263,01	36,68	19,51
TOTAL	11.622,49	100,00	-
Total sem sobreposição de categorias	7.171,44	-	32,82

Fonte: Barros (2011)

2.10 Sequestro de Carbono pela Floresta

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela Conferência de Quioto, em 1997, com a finalidade de conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera, visando a diminuição do efeito estufa. O Protocolo de Quioto ou Terceira Conferência das Partes - COP3 estabeleceu metas de redução das emissões totais de gases do efeito estufa, a serem adotadas pelos países desenvolvidos e em transição para economias de mercado, relacionados no Anexo I da Convenção Quadro da Mudança Climática. Foi prevista, em média, uma redução de 5,2 % das emissões com base no ano de 1990, para o período entre 2008 e 2012, período conhecido como primeiro período de compromisso.

Com a intenção de minimizar os impactos no meio ambiente e amenizar o agravamento do aquecimento global, pela elevação dos gases de efeito estufa (GEE), algumas medidas podem ser tomadas como modalidades dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Entre elas, medidas que envolvam projetos de preservação da floresta com práticas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, contribuindo para absorção e armazenamento do dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera.

As florestas constituem um estoque natural de carbono no processo de fixação de carbono pelo acúmulo de biomassa em sua vegetação e, eventualmente, pela matéria orgânica que se acumula no solo durante o seu desenvolvimento. Essas florestas têm sido apontadas como alternativas para reduzir os gases do efeito estufa, que são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas, como já vimos anteriormente.

Os ecossistemas florestais possuem uma biomassa maior do que os ecossistemas voltados para a agricultura. Por essa razão, a necessidade de se dar uma maior importância e atenção nas áreas já degradadas, ao invés da implantação de projetos que visam atividades agrícolas, com a restauração de matas virgens e, plantações de florestas econômicas e recuperação de ecossistemas naturais (CESARINI, 2002). A substituição de combustíveis fósseis pelos originados da biomassa vem a ser o meio mais efetivo para a

redução nas emissões do gás carbônico na atmosfera, segundo Rochadelli (2001).

Uma alternativa viável para amenizar o agravamento deste processo consiste no armazenamento do carbono atmosférico a partir de reflorestamento em larga escala. A vegetação, utilizando-se de sua capacidade fotossintética, fixa o CO₂ atmosférico, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositado na parede celular. Processo conhecido como “sequestro” de carbono (RENNER, 2004).

Baird (2002) destaca que o CO₂ pode ser absorvido por meio do crescimento de plantas selecionadas especialmente para esse fim e, ainda, que quanto mais rápido for esse crescimento, mais rápida será a remoção do dióxido de carbono da atmosfera.

O Painel Intergovernamental sobre a Mudança do Clima (IPCC) afirmou, em 2000, que as florestas sequestraram por ano, cerca de 1,6 gigatonelada de gás carbônico da atmosfera comparando, em 2004, com as emissões dos gases de efeito estufa chegaram a 50 gigatoneladas.

As florestas são consideradas “sumidouros de carbono”, associadas ao armazenamento e absorção de carbono, com enorme relevância do ponto de vista econômico, social e ambiental. Tanto as árvores nativas, quanto as plantadas para reflorestamentos, ajudam a mitigar as mudanças climáticas retirando CO₂ da atmosfera.

Os fungos, bactérias e outros micro-organismos que ajudam na decomposição do material orgânico são, também, uma forma para que o carbono orgânico permaneça no solo. Os solos representam, portanto, um grande “depósito” de carbono. O IPCC relata que o sequestro de carbono pelo solo é capaz de compensar entre 5 a 15% das emissões globais deste gás. Só o potencial de sequestro das pastagens brasileiras é estimado em 70 milhões de toneladas de C por ano (LEAD; FAO, 2006). Recuperar os solos sob pastagens poderia também, compensar quantidades significativas das emissões globais de metano (outro importante gás do efeito estufa), pois a melhoria da qualidade

das pastagens resultaria em maior produtividade animal e conseqüente redução na proporção de energia perdida como CH₄.

A comunidade científica, o governo e a sociedade já começam a se preocupar seriamente com as questões relacionadas ao aumento das emissões dos gases de estufa e respectivas conseqüências sobre as alterações globais do aquecimento no planeta. Existem vários projetos voltados para preservação das florestas, reflorestamento de áreas degradadas, combate a incêndios nas florestas e, também, de correção do solo em áreas castigadas por erosões, fruto das águas das chuvas que caem anualmente moldando a superfície do solo.

2.10.1 A fotossíntese

Ao respirarem, os seres vivos retiram o oxigênio da atmosfera, devolvendo o gás carbônico, em compensação, enquanto as plantas vão crescendo, nos ajudam retirando o CO₂ da atmosfera e o utilizam na realização do processo da fotossíntese.

Na fase de crescimento as plantas funcionam como verdadeiros “aspiradores” de carbono. Pela fotossíntese elas “capturam” o CO₂ do ar, usando-o para compor suas folhas, caules, raízes e sementes que recebem o nome de biomassa. O carbono entra na planta através dos estômatos para depois chegar ao solo através das raízes e da biomassa em decomposição (LEAD; FAO, 2006).

A fotossíntese é o processo em que as plantas, através das suas folhas verdes e alguns outros organismos, transformam energia luminosa em energia química, armazenadas nas moléculas de glicídios produzindo o seu próprio alimento. As plantas, por meio do processo da fotossíntese aproveitam a energia da luz solar para converter dióxido de carbono, água e minerais em compostos orgânicos e oxigênio gasoso (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2000).

O processo da fotossíntese só ocorre na natureza com a absorção da energia do sol, através de moléculas de clorofilas podendo utilizar 6 moléculas de gás carbônico para produzir glicose e oxigênio.

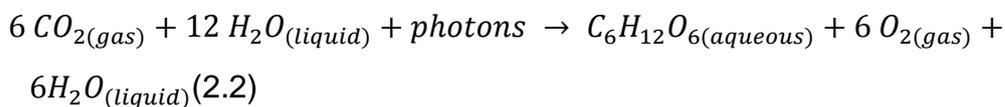
Os reagentes na fotossíntese são (CO₂) e (H₂O) e os produtos formados são gás oxigênio (O₂) e os glicídios. Mas as plantas também respiram, assim a noite na ausência de luz pegam oxigênio da atmosfera e liberam CO₂, portanto existe um balanço de carbono nas plantas, e pode ser expresso como um equilíbrio em termos de absorção de CO₂ (MORENO, 2008):

Entrada= carboidratos fabricados na fotossíntese

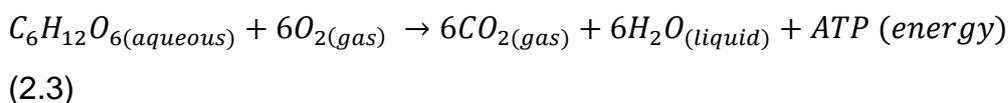
Saída= carboidratos utilizados na construção e manutenção da respiração

Balanço=carboidratos armazenados (os chamados carboidratos não estruturais e outros compostos de armazenamento)

O balanço de carbono de uma árvore está muito relacionado com a sua saúde e vigor e suas interações com outros organismos. A equação geral para a fotossíntese é:



Um resumo altamente simplificado do processo de respiração é:



A reação da fotossíntese libera oxigênio se tornando, pode-se dizer, uma “purificadora” do ar atmosférico, segundo Treichel e Kots (1998).

A fotossíntese é realizada em duas etapas: a fase luminosa e a fase escura. Na fase luminosa ocorre a absorção da energia luminosa e a transformação em energia de ATP.

As moléculas de ATP vão se espalhando e se dissolvendo gradativamente em várias partes das células, sendo usadas para o uso do metabolismo das plantas.

Ocorre então nesta etapa, a quebra das moléculas de água em hidrogênio e oxigênio, onde os átomos de hidrogênio são capturados pelo NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) quando depois, a planta libera o oxigênio à atmosfera. Conforme está sendo ilustrado na Figura 2.12.

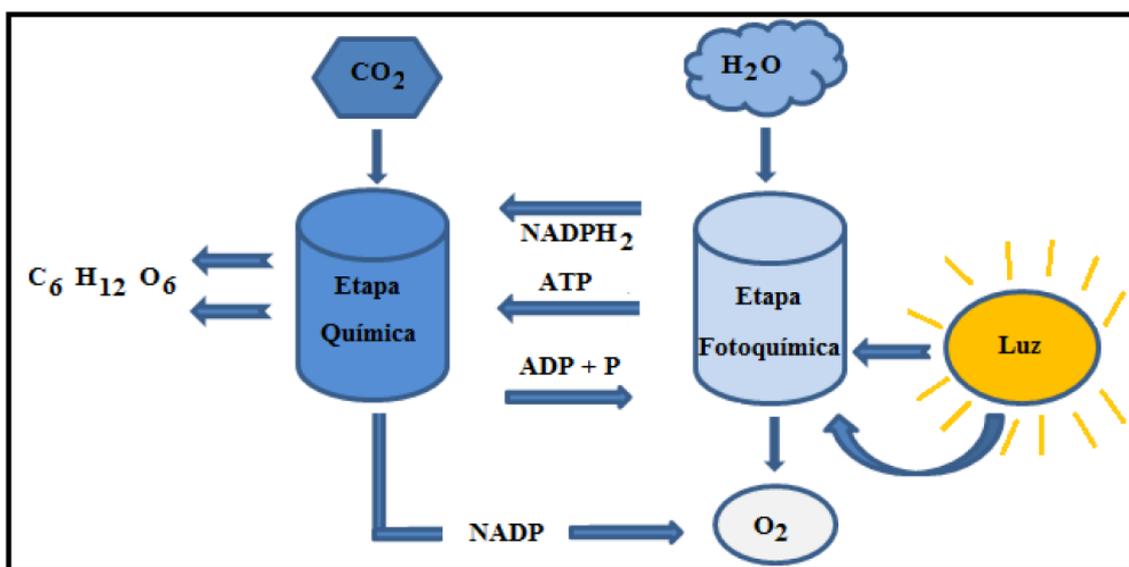


Figura 2.12- Representação do processo da fotossíntese.

Fonte: Nunes (2013).

Na etapa conhecida por fotoquímica, a molécula de clorofila absorve energia luminosa, que é acumulada em elétrons que escapam da molécula, onde serão recolhidos por outras substâncias. Dependendo das substâncias que as transportam, os elétrons podem realizar dois caminhos: o da fotofosforilação cíclica e a fotofosforilação acíclica. Em ambos, os elétrons liberam energia que será utilizada para a síntese de ATP, através do processo conhecido por fosforilação. Processo pelo qual é adicionado ao ADP (adenina dinucleotídeo fosfato) um fosfato rico em energia. Como a energia do elétron depende diretamente da luz, pode-se afirmar que essas moléculas de ATP são

produzidas por fotofosforilação (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2000). Já a fixação do carbono depende indiretamente da luz, podendo ocorrer mesmo no escuro, caso existam a disponibilidade de ATP e NADP.

Através deste processo celular, a planta produz o seu próprio alimento constituído essencialmente por glicose via a energia da luz. Com isso, ocorre a eliminação do oxigênio à medida que a planta produz a glicose.

A glicose é utilizada pela planta na realização de suas funções metabólicas, ou seja, ela é o seu principal combustível. Sem ela, seria impossível manter suas funções vitais. O processo de formação da glicose se dá através de reação química, e esta, somente é possível como consequência da transformação da energia solar em energia química. Sem a fotossíntese, não existiria vida em nosso planeta, pois é através dela que se inicia toda a cadeia alimentar. Daí a grande importância das plantas, vegetais verdes e alguns outros organismos.

2.10.2 O Bioma Mata Atlântica

A Mata Atlântica compreende a cobertura florestal que se estende sobre a cadeia montanhosa litorânea ao longo do Oceano Atlântico, nas regiões nordeste, sudeste e sul do Brasil, incluindo também o leste do Paraguai e Misiones, na Argentina. É um dos locais com maior concentração de biodiversidade do planeta e é considerada um dos mais importantes e ameaçados biomas do mundo (LEDERMAN; PADOVAN, 2005).

A partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, a Mata Atlântica foi oficialmente considerada como Patrimônio Nacional, e tornou-se necessário uma definição legal do bioma e de sua área de abrangência, para que fosse definida a regulamentação de seu uso e conservação.

Aprovado em 1992 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, e posteriormente incorporado à legislação no Decreto Federal No. 750, que dispõe sobre o corte, exploração e supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica, o seguinte conceito foi estabelecido para o bioma:

“... considera-se Mata Atlântica as formações florestais e ecossistemas associados inseridos no domínio Mata Atlântica, com as respectivas delimitações estabelecidas pelo Mapa de Vegetação do Brasil, IBGE: Floresta Ombrófila Densa Atlântica; Floresta Ombrófila Mista; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; manguezais; restingas; campos de altitude; brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste”.

De acordo com este conceito e os registros originais levantados pelo Projeto RADAM, que subsidiaram o Mapa de Vegetação do Brasil elaborado pelo IBGE, o bioma é a segunda maior floresta tropical da América do Sul, ficando apenas atrás da Floresta Amazônica. Sua área original totalizava 1.306.421 km², se estendendo do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, ocupando aproximadamente 15% do território brasileiro e quase integralmente quatro Estados: Rio de Janeiro, Santa Catarina, Paraná e Espírito Santo e porções de mais 13 unidades da federação (ARAÚJO et al., 2007).

Segundo definição do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, a área original da Mata Atlântica, subdividida por estados, pode ser observada na Tabela 2.7 abaixo:

Tabela 2.7- Área original do Bioma Mata Atlântica, por unidade federativa

UF	Área UF	Área Original (DMA)	
	km ² (¹)	km ² (²)	% (³)
Alagoas	27.933	14.529	52,01
Bahia	567.295	177.924	31,36
Ceará	146.348	4.878	3,33
Espírito Santo	46.184	46.184	100,00
Goiás	341.290	10.687	3,13
Mato Grosso do Sul	358.159	51.536	14,39
Minas Gerais	588.384	281.311	47,81
Paraíba	56.585	6.743	11,92
Pernambuco	98.938	17.811	18,00
Piauí	252.379	22.907	9,08
Paraná	199.709	193.011	96,65
Rio de Janeiro	43.910	43.291	98,59
Rio Grande do Norte	53.307	3.298	6,19
Rio Grande do Sul	282.062	132.070	46,82
Santa Catarina	95.443	95.265	99,81
Sergipe	22.050	7.155	32,45
São Paulo	248.809	197.823	79,51
Total	3.428.783	1.306.421	38,10

(¹) IBGE, 1999

(²) Instituto Socioambiental – ISA, 1999

(³) Sobre a área da UF

DMA – Domínio da Mata Atlântica (CONAMA, 1992)

Fonte: SOS Mata Atlântica (2012)

Para alguns autores esta é uma subestimativa, devido ao fato de a região já se encontrar intensamente degradada quando foram realizados os primeiros levantamentos do Projeto RADAM. Estes afirmam que mais de 35% da região Nordeste era originalmente ocupada por formações florestais. Em seu estudo, Coimbra e Câmara (1996) apresentam evidências baseadas em ampla pesquisa bibliográfica, consultas e visitas de campo que sustentam a tese da existência de florestas em regiões hoje classificadas como semiárido, e de uma área original de Mata Atlântica no País de 1.480.400 km², equivalente à 17 % do território brasileiro.

A composição original da Mata Atlântica é um mosaico de vegetações definidas como florestas ombrófila densa, aberta e mista; florestas estacionais decidual e

semidecidual; campos de altitude; mangues e restingas. Duas ecorregiões principais podem dividir o bioma: a floresta Atlântica costeira e a do interior, incluindo as florestas nos diferentes gradientes de altitude (desde o nível do mar e acima de 1.800 m). Esta variação de gradientes resulta em uma diversidade de tipos de solos, de umidade, temperatura e outros fatores cuja combinação promove uma multiplicidade de paisagens com extraordinária diversidade biológica (LEDERMAN; PADOVAN, 2005).

Por ter sido o ponto de chegada dos primeiros colonizadores portugueses e por estar localizada no litoral do país, esta foi uma região conveniente para o aporte de navios e para a exploração e a exportação de matérias-primas. Conseqüentemente, o bioma da Mata Atlântica foi vastamente desmatado.

O “pau-brasil” (*Caesalpinia echinata*) foi o principal recurso explorado na ocasião de chegada dos colonizadores, especialmente para atender ao mercado renascentista europeu de tecido (Lederman & Padovan, 2005). Além dele, foram também intensamente exploradas outras madeiras de alto valor para a construção naval, edificações, móveis e outros usos, em praticamente toda a faixa de florestas costeiras do Brasil, como tapinhoã, sucupira, canela, canjarana, jacarandá, araribá, pequi, jenipaparana, peroba, urucurana e vinhático (DEAN, 1996).

Em meados de 1970 a Mata Atlântica ainda contribuía com 47% de toda a produção de madeira em tora no país, com um total de 15 milhões de m³. Entretanto, a produção madeireira da Mata Atlântica foi drasticamente reduzida para menos da metade (7,9 milhões de m³) em 1988, devido ao esgotamento dos recursos resultante da exploração não sustentável (CAPOBIANCO et al., 2001).

A retirada de epífitas, cactos e orquídeas também teve períodos de grande intensidade, estando esta exploração associada à derrubada de árvores simplesmente para facilitar a extração destas plantas, destruindo grandes áreas de florestas. Das espécies não madeireiras exploradas em diferentes épocas, como a salsaparrilha, ceras e bálsamos, destaca-se a ipecacuanha ou

poaia (*Psychotria ipecacuanha*), planta medicinal que chegou a ser exportada na quantidade de 25 toneladas por ano no final dos anos de 1860 e foi praticamente extinta no Rio de Janeiro (DEAN, 1996).

Quanto à ocupação territorial, a concessão de sesmarias iniciou um processo de ocupação desordenada de terras, e reforçou a lógica de exploração até o seu esgotamento (DEAN, 1996). Este modelo predatório não foi característico apenas do período colonial. Todos os grandes ciclos econômicos como a exploração do pau-brasil, o cultivo da cana-de-açúcar e o início da mineração do ouro, seguidos dos ciclos do café e da industrialização, se valeram da lógica do maior ganho no curto prazo, resultando em forte conversão de ambientes naturais.

Somente nos últimos 25 anos houve perda de 1.735.479 hectares de floresta na Mata Atlântica, de acordo com o que pode ser observado nas tabelas abaixo. Os diferentes ciclos de exploração econômica e a crescente urbanização resultaram na devastação de praticamente 90% da vegetação presente na chegada dos portugueses (CAPOBIANCO et al., 2001).

Nas tabelas 2.8 e 2.9 podem ser observadas as áreas, em hectares, desmatadas de acordo com diferentes períodos, desde 1985. É possível observar um padrão de redução das taxas de desmatamento a partir do ano de 2000. Na tabela 2.9, o desmatamento durante o período de 2010 a 2011 é apresentado por unidade federativa. Pode-se observar nesta tabela que o estado que apresentou maior grau de destruição de suas florestas foi Minas Gerais, sendo que o Estado do Rio de Janeiro apareceu em 9º lugar, com desmatamento de 92 hectares no período. Cabe notar ainda, que dos remanescentes de vegetação em 2011, o Rio de Janeiro apresenta a 3ª menor área.

Tabela 2.8- Desmatamento no Bioma Mata Atlântica, por período.

Período	Desmatamento (ha)
1985-1990	466.937
1990-1995	500.317
1995-2000	445.952
2000-2005	174.828
2005-2008	102.938
2008-2010	31.195
2010-2011	13.312

Fonte: Adaptada de SOS Mata Atlântica (2012).

Tabela 2.9- Desmatamentos no Bioma Mata Atlântica no período de 2010-2011.

Desflorestamentos – período 2010-2011 (em ha)

	UF	Área UF	Área Original do Bioma	% UF	Remanescentes Florestais		Decremento (período 2010-2011)
					2010	2011	
1º	MG*	58.697.565	27.235.854	46%		3.087.045	6.339
2º	BA*	56.557.948	18.875.099	33%		2.408.648	4.493
3º	MS	36.193.583	6.366.586	18%		969.684	588
4º	SC	9.591.012	9.591.012	100%		2.322.891	568
5º	ES*	4.614.841	4.614.841	100%		512.590	364
6º	SP	24.873.203	16.918.918	68%		2.642.468	216
7º	RS	28.403.078	13.759.380	48%		1.132.084	111
8º	PR	20.044.406	19.667.485	98%		2.429.652	71
9º	RJ	4.394.507	4.394.507	100%		861.086	92
10º	GO	34.127.082	1.051.422	3%		33.614	33

*Estado parcialmente avaliado

Fonte: SOS Mata Atlântica (2012).

O resultado da intensidade das atividades de exploração dos recursos naturais, não só com o desmatamento, mas com a eliminação da floresta através do corte e da queimada para desenvolvimento de agropecuária, resultou em ecossistemas completamente degradados ou seriamente vulneráveis à degradação (PHILLIPS, 1997).

2.10.3 Importância Biológica da Mata Atlântica

A Mata Atlântica ainda contém uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil. É uma das cinco regiões que apresenta os maiores índices de endemismo de plantas vasculares e animais vertebrados (com exceção de peixes), abrigando aproximadamente 1.810 espécies de mamíferos, aves, répteis e anfíbios, das quais 389 são endêmicas (ARAÚJO et al., 2007).

Apenas no grupo das angiospermas, acredita-se que o Brasil possua entre 55.000 e 60.000 espécies, ou seja, de 22 a 24% do total que se estima existir no Planeta. Deste total, as Projeções são de que a Mata Atlântica possua cerca de 20.000 espécies, ou seja, entre 33 e 36% das existentes no País. Este número é bastante significativo, considerando-se as 17.000 espécies na América do Norte, 12.500 na Europa e entre 40.000 e 45.000 na África (CAPOBIANCO et al., 2001).

O bioma é detentor de uma enorme biodiversidade, abrigo para várias populações tradicionais e garante o abastecimento de água para mais de 120 milhões de brasileiros. Seus remanescentes regulam o fluxo dos mananciais hídricos, asseguram a fertilidade do solo, controlam o clima, protegem escarpas e encostas das serras, além de preservar um patrimônio histórico e cultural imenso (CAPOBIANCO et al., 2001)

Das 633 espécies de animais ameaçadas de extinção no Brasil, 383 ocorrem na Mata Atlântica. A combinação de um quadro de devastação acentuada, com alta concentração de biodiversidade e espécies endêmicas ameaçadas, faz com que o bioma, além de reconhecido como “patrimônio nacional” pela Constituição Federal e decretada Reserva da Biosfera pela Unesco, seja considerado um dos mais importantes hotspots de biodiversidade do planeta (MITTERMEIER et al., 2005; ARONSON et al., 2011).

A restauração em larga escala deve ser objetivada em biomas onde o funcionamento dos ecossistemas está comprometido e uma vasta porção da biodiversidade nativa se tornou severamente ameaçada (RODRIGUES et al., 2011; FERREZ, 2010).

Assim, considerando o histórico de degradação e o alto grau de fragmentação da Mata Atlântica torna-se necessário não somente estancar o processo de desmatamento e de degradação dos remanescentes, mas também priorizar o desenvolvimento de ações voltadas à ampliação de tais remanescentes, ao estabelecimento da conectividade entre eles e à recuperação de áreas degradadas.

Somente a partir destas iniciativas é possível assegurar fluxos gênicos e a conservação da biodiversidade, além dos demais serviços ambientais pela floresta como contenção de encostas, proteção dos solos, harmonia das paisagens, controle climático, produção de água potável, entre outras (TEEB, 2010).

2.11 Reflorestamento

No Brasil é comum se utilizar o termo reflorestamento para designar plantio de árvores, independentemente se o mesmo ocorre ou não em áreas de florestas degradadas e, muitas vezes, independentemente dos objetivos a que se quer chegar.

De acordo com os fins, as florestas podem ser subdivididas em: florestas de proteção e florestas industriais ou comerciais, baseado em suas funções básicas (TSOGTBAATAR, 2004).

As principais espécies utilizadas com intuito comercial são as dos gêneros Pinus e Eucaliptus que, com o passar dos anos e com o aprimoramento de novas tecnologias, começaram a ser utilizadas intensamente para este fim. A utilização destas espécies exóticas objetiva principalmente a produção de fibra e papel/celulose e a geração de energia. Entre os produtos de exportação do setor florestal destacam-se, em ordem de importância, a celulose e o papel, a madeira, os painéis reconstituídos (produção de aglomerado, MDF (Medium Density Fiberboard) e chapa de fibra), os compensados, o carvão e outros (PUENTES, 2010).

Quando o objetivo é recuperar as funções ecológicas e os serviços ambientais promovidos pela floresta de proteção ambiental, as estratégias incluem a reintrodução de espécies nativas em diversidade, a remoção de espécies exóticas invasoras, o restabelecimento de condições hídricas e pedológicas, e outras atividades que facilitam esta regeneração. Variáveis bióticas e abióticas são manipuladas com objetivo de remover as ameaças aos ecossistemas, facilitar ou acelerar a sua recuperação, e reinstalar a conectividade em uma escala de paisagem, objetivando a criação de florestas que se auto perpetuem e mantenham o ecossistema funcionando, e oferecendo serviços ambientais (RODRIGUES, et al., 2011)

A restauração florestal da paisagem pode ser definida como um processo planejado que almeja recuperar a integridade ecológica e melhorar o bem-estar humano em paisagens desflorestadas ou degradadas (CHABARIBERY et al., 2007).

Cabe destacar que atualmente existem diferentes termos, conceitos e utilizações para o que, em geral, é comumente chamado de reflorestamento ou restauração florestal. Com o objetivo de criar um consenso e uniformizar a compreensão sobre os termos comumente utilizados para este fim, Aronson et al. (2011) criaram o primeiro glossário em português sobre os conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica.

A prática de reflorestamento é uma atividade bastante antiga (MIRANDA, 2008), podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões, entretanto, até recentemente, este se caracterizava como uma atividade sem vínculos estreitos com concepções teóricas, sendo executada normalmente como uma prática de plantio de mudas, com objetivos muito específicos. Muitas vezes estes plantios se baseavam em monoculturas (SIQUEIRA; MESQUITA, 2007).

No Brasil uma das primeiras iniciativas de restauração florestal registrada remonta a 1886. Problemas de abastecimento de água na cidade do Rio de Janeiro, então sede da coroa portuguesa, levaram o governo imperial a adotar

providências legais para a proteção e reflorestamento de matas no entorno de nascentes (SIQUEIRA; MESQUITA, 2007) devastada pelo extrativismo e pelas plantações de café. Pouco depois, o Major Manuel Gomes Acher iniciou o processo de reflorestamento da Floresta da Tijuca, que se estendeu por diversos anos até ser concluído. Nessa época já havia um entendimento da correlação entre a floresta e o serviço ambiental de regulação hídrica, e por consequência, o abastecimento de água. A necessidade de água para a população carioca foi o fator decisivo para a desapropriação das terras das bacias hidrográficas dos rios que abasteciam a cidade, com o objetivo de recompor a vegetação original.

Apenas mais recentemente, a recuperação de regiões degradadas adquiriu o caráter de uma área de conhecimento, sendo denominada por alguns autores como Restauração Ecológica (MIRANDA, 2008), por estar baseada principalmente no conceito de sucessão ecológica (SIQUEIRA; MESQUITA, 2007).

A clássica Teoria da Sucessão Ecológica descreve o desenvolvimento de um ecossistema da fase inicial, ou colonização, até a maturidade, ou clímax. HOLLING (1973) acrescenta a esta teoria a questão cíclica da trajetória de interações dinâmicas que ocorrem em quatro fases distintas:

A primeira fase, também chamada de fase de exploração, se caracteriza pela uma rápida acumulação de biomassa e pelo domínio de organismos pioneiros, que possuem altas taxas reprodutivas e menor capacidade de sobrevivência (estratégia r).

Já a segunda fase, ou fase de conservação, caracteriza-se pela acumulação de uma quantidade alta e estável de biomassa e corresponde à fase clímax da teoria tradicional. O domínio, nesta fase, é de organismos com menor investimento de energia na reprodução e maior investimento na capacidade de sobrevivência e manutenção (estratégia K).

A terceira fase se caracteriza pela rápida dissolução de estruturas e perda de biomassa. A origem de tal acontecimento pode ser interna ao sistema, estando

relacionada ao altíssimo grau de interconexão e complexidade da fase anterior. O evento que a caracteriza normalmente é externo ao sistema, como incêndios, tempestades e pestes. É nesta fase que ocorrem oportunidades para renovação e modificação do sistema.

Na quarta fase, também chamada de fase de reorganização, os meios físico e biológico se reorganizam de forma a estarem disponíveis e possivelmente reiniciar o ciclo (STRASSBURG, 2005).

O racional dessa teoria é que, utilizando-se nos plantios de reflorestamento, inicialmente muitas espécies pioneiras e tardias de dossel e sub-dossel, dispostas num arranjo espacial favorável e com abundância adequada, ocorrerá uma substituição gradual. A presença dessas pioneiras no dossel vai se reduzir, e elas serão aos poucos substituídas por espécies tolerantes à sombra e de estágios sucessionais mais avançados, aumentando gradualmente a heterogeneidade florística e arquitetural desse estrato. Na floresta madura, esse estrato permanecerá como um mosaico em que as espécies pioneiras e secundárias estarão presentes, porém em menor abundância, predominando as espécies mais climáticas.

Vale ressaltar que o sucesso de projetos de reflorestamento requer também integração com a situação social, cultural e econômica para que sejam incluídas necessidades e interesses dos envolvidos, considerando principalmente, neste caso, a comunidade local (ALEXANDER et al., 2010).

2.12 Projetos no Brasil e no exterior

O Projeto Corumbataí prevê a utilização do MDL como uma fonte de recursos para a recuperação dos fragmentos florestais e reflorestamento de áreas degradadas. Propõe-se a recuperação da mata ciliar na Bacia do Corumbataí, abrangendo uma área total de 28.750 ha, com o potencial sequestro de 1.838.000 t/C (MANFRINATO; VIANA, 1999).

Com o plantio de 3 mil hectares de Teca no Mato Grosso, espera-se que haja o sequestro de 178.000 t/C (período de 30 anos). Nesse projeto, o valor presente

líquido de US\$ 3,5 a 3,6 milhões (período de 30 anos). Cabe ressaltar que os valores acima foram calculados para uma taxa de desconto de 15% (BRAZIL/U.S. ASPEN GLOBAL FORUM, 2000).

No projeto de plantação de 1 mil hectares de *Hevea brasiliensis* (seringueira) - Mato Grosso - é estimado que com vida útil de 35 anos sejam sequestrados 107.000 t/C. O valor presente líquido estimado seria de US\$ 2,2 milhões (MEYERS et al; 2000).

Na região de Guaraqueçaba e Antonina (Paraná) a SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental) vem desenvolvendo entre diversos projetos, o sequestro de carbono, contando como o apoio da The Nature Conservancy (TNC):

- No Projeto Ação Contra o Aquecimento Global em Guaraqueçaba, desenvolvido na Reserva Natural Serra do Itaqui, município de Guaraqueçaba no litoral paranaense. Tem como meta a recuperação de 7 mil hectares de área degradada. Foi iniciado em junho de 2000.
- Projeto de Restauração da Mata Atlântica, desenvolvido na Reserva Natural Morro Azul, localizada ao longo da bacia do Rio Cachoeira, município de Antonina. Foi iniciado em 2001 e tem como meta a recuperação de 12 mil hectares de área degradada.
- Projeto Piloto de Reflorestamento em Antonina, litoral do Paraná, iniciado em 2001, tem como meta recuperar 1000 hectares de área degradada incorporados à Reserva Morro da Mina. Além da recuperação a proteção vitalícia e a manutenção do abastecimento de água para a Cidade.

Na Ilha do Bananal, Estado do Tocantins, o projeto é financiado pela Fundação Inglesa AES Barry Foundation, com o envolvimento de instituições públicas, empresas privadas e ONGs, funcionando como um novo modelo de gestão voltado para os programas de conservação e desenvolvimento no Parque Nacional do Araguaia. Seu desenvolvimento está previsto para um período de 25 anos, incluindo os municípios de Caseara, Lagoa da Confusão, Cristalândia,

Pium e Dueré. Ao final do período pré-estabelecido, estimam-se que sejam sequestrados e garantidos a preservação e estoque de carbono da ordem de 25.110.000 t/C em 25 anos (AMBIENTE BRASIL, 2003).

Como antecedente deste trabalho, o INPE vem se executando um projeto de reflorestamento com fins científicos e educacionais. O projeto, lançado em fevereiro de 2013, consiste em plantar espécies nativas de Mata Atlântica em uma porção de 25 ha do campus de Cachoeira Paulista, SP. Na Figura 2.13, apresenta-se uma imagem de satélite com os limites da área reflorestada (Verde) e os limites do campus do INPE (Azul escuro).

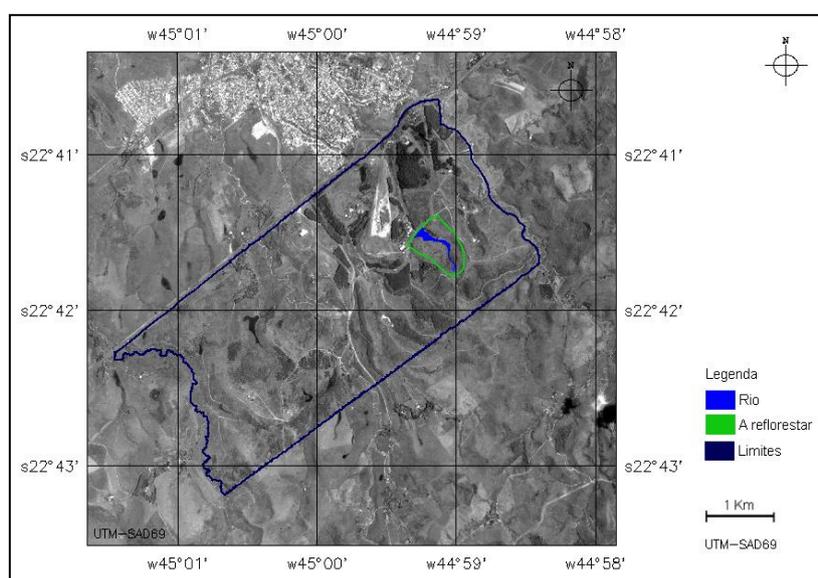


Figura 2.13- Mapa identificando a área a ser reflorestada.

Fonte: INPE (2009).

O foco do projeto é compensar as emissões de carbono e sua linha de ação refere-se à “fixação do carbono e emissões evitadas com base na recuperação de áreas degradadas” (INPE, 2009).

Para isto, dentro do projeto Mata Nativa, um inventário parcial já foi realizado no INPE. Estimaram-se as emissões em algumas das atividades do INPE para o ano 2008 e se contrastaram com o sequestro de carbono de um projeto de reflorestamento que se adiantaria na área de Cachoeira Paulista (INPE, 2009).

No total, estimou-se que as emissões do INPE pelos itens considerados somaram 2.455 tCO₂; sendo que, por uso de energia elétrica emitiram-se 1.370,41 tCO₂; por queima de combustíveis fósseis 268,6 tCO₂ e por passagens aéreas em voos comerciais 703,44 tCO₂. Estimou-se também que para compensar estas emissões anualmente, o INPE deveria plantar ao redor de 178,5 ha.

Outros trabalhos feitos fora do Brasil como o realizado por De Jong et al. (1997), no México, onde foram estimadas 4,5 x 10⁶ ha para a agricultura florestal, entretanto mais de 6,1 x 10⁶ ha poderiam ser salvas do desmatamento com o plantio de culturas mais produtivas e sustentáveis. Muitos sistemas florestais são técnicas, social e economicamente viáveis, incluindo cercas vivas, café com árvores de sombra, plantações, árvores de enriquecimento de pousios e taungya (sistema de gestão do uso da terra na qual árvores ou arbustos são cultivados ao redor ou entre culturas ou pastagens), com um sequestro de carbono potencial que varia de 17,6 até 176,3 Mg C ha⁻¹. Algumas estimativas preliminares das áreas potenciais disponíveis para o sequestro de carbono no México são (Trexler and Haugen, 1995): 4.5 x 10⁶ ha para campos florestais (com um sequestro potencial de 33.3 até 113,4 x 10⁶ Mg C), 1 x 10⁶ ha para plantações (30,7 até 85,5 x 10⁶ Mg C), e 30 x 10⁶ ha para regeneração natural (1 até 3 x 10⁹ Mg C). Eles sugerem que mais de 6,1 x 10⁶ ha (com sequestro potencial de 348,3 até 714,9 x 10⁶ Mg C deveriam ser salvas do desmatamento até 2040.

Dixon et al., (1993) e Maser et al., (1995) consideram a agrofloresta como a mais promissora alternativa para o sequestro de carbono, em termos da produtividade de biomassa e o custo-eficiência. Estudos iniciais realizados por De Jong et al. (1995), indicaram que em regiões como Chiapas, os métodos mais apropriados para aumentar o armazenamento de carbono na terra gerenciados em pequenas propriedades são a introdução de árvores dentro de sistemas agrícolas como combinações lavoura-árvore ou o desenvolvimento de plantações de pequena até meia escala. Daí a importância na gestão de projetos de reflorestamento. Na figura 2.14 é mostrado o comportamento do

sequestro de carbono quando se tem em desenvolvimento um projeto de reflorestamento.

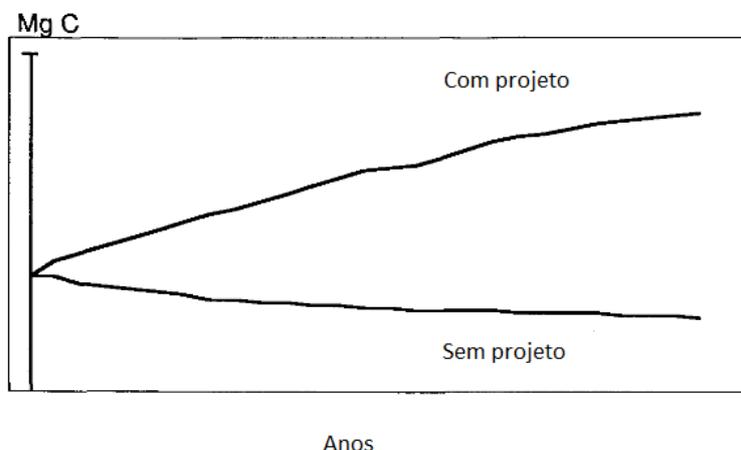


Figura 2.14- Efeitos hipotéticos de um projeto de campo florestal com mitigação de Carbono, comparado com os valores sem projeto.

Fonte: Adaptado de Jong et al., (1997).

Segundo Nascimento et al (2009) na cidade de Ourinhos-SP, estimaram a quantidade de 133.320 kg de carbono a ser sequestrada por cada espécie de *eucalyptus saligna* de 6 anos de idade em áreas de reflorestamento, cultivadas em 280 hectares com uma densidade de 2.222 árvores por hectare, o que gera um potencial de sequestro de carbono de 37.330 tC.

2.13 A legislação Ambiental Brasileira Referente às Áreas de Preservação Permanente

No Brasil, atualmente os mecanismos legais associados à preservação do meio ambiente estão em vigor com o Novo Código Florestal Brasileiro de 2012. Dentro deste quadro de leis, as APPs são consideradas espaços físicos legalmente protegidos, estando devidamente definidos nos termos dos Artigos 3º e 4º da Lei Nº 12.651 (Novo Código Florestal Brasileiro). Estas áreas, em geral são cobertas por vegetação nativa, tendo a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. É de suma importância a preservação destes espaços, pois eles prestam “serviços” aos ecossistemas que eles estão

inseridos. Mascarenhas et al. (2009) argumentam que “a legislação ambiental brasileira apresenta vários institutos que visam à proteção do meio ambiente. Essa preocupação encontra-se presente na Constituição Federal, em seu artigo 225, que garante a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado”.

No que se refere às APPs, o Código Florestal Brasileiro apresenta onze categorias passíveis de serem delimitadas de acordo com fatores hidrológicos e com aspectos naturais da paisagem em conformidade com a disposição e a caracterização geomorfológica do ambiente. Conforme o Artigo 4º da Lei 12.651 as categorias são:

1) Ao longo dos rios ou qualquer curso de água, em faixa marginal, cuja largura mínima será:

- a) de 30 metros para rios de menos de 10 metros de largura;
- b) de 50 metros para cursos de 10 a 50 metros de largura;
- c) de 100 metros para cursos de 50 a 200 metros de largura;
- d) de 200 metros para cursos de 200 a 600 metros de largura;
- e) de 500 metros para cursos que tenham largura acima de 600 metros de largura.

2) Em um raio de 50 metros de nascentes ou olhos d'água;

3) Ao redor de lagoas ou lagos naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100 m em zonas rurais exceto para o corpo d'água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 metros;
- b) 30 metros, em zonas urbanas;

4) As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento,

- 5) No topo de morros, montes, montanhas e serras; com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;
- 6) Em encostas com declividade superior a 45 graus, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- 7) Nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- 8) Nas bordas dos tabuleiros ou chapadas;
- 9) Em altitude superior a 1 800 metros.
- 10) Os manguezais, em toda a sua extensão; e,
- 11) As veredas.

Nesse estudo são considerados os itens 1), 2), 5) e 6) para fins de praticidade.

É importante de se mencionar que de acordo com a resolução da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA 32), baseada no decreto Federal nº 7830, de 17 de outubro de 2012, os projetos de recomposição florestal devem conter a proporção de 80 espécies distintas, sendo priorizadas as espécies ameaçadas de extinção, sendo que o número de indivíduos por espécie deve ultrapassar o limite máximo de 20% do total de mudas plantadas, escolhendo-se representantes de todos os estágios sucessionais – pioneiras (pioneiras e secundárias iniciais) e não-pioneiras (tardias e climáticas). As árvores e palmeiras sugeridas para implantação do projeto de recomposição florestal encontram-se em acordo com o Instituto de Botânica o qual é mencionado na resolução 32 SMA.

No geral, para o plantio das espécies nativas recomenda-se espaçamentos que variam de 2 m x 2 m, até 4 m x 4 m, ou seja de 4 a 16 m² por planta, determinando uma densidade de 625 a 2500 plantas por hectare (INPE, 2009).

Segundo as técnicas de plantio das resoluções da SMA 08, 21 e 47(revogadas) pela 32 de 03 de abril de 2014 (mas não mudam as técnicas) sugere que as espécies devem ser plantadas com um espaçamento de 2m x 3m, gerando uma densidade de arvore de 1666 espécies por hectare, vale a pena mencionar que a referida resolução determina que se pode escolher o espaçamento que melhor se ajuste de acordo com as características topográficas, biológicas, geológicas, da área a ser reflorestada.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização.

O município de São Luís do Paraitinga está localizado no estado de São Paulo, no Alto Vale do Rio Paraíba do Sul, na região administrativa de São José dos Campos, ilustrado na figura 3.1 abaixo. A extensão territorial do município é de 617.148 km², a uma distância de 170 km da capital São Paulo (IBGE 2010).



Figura 3.1 – Localização do município de São Luiz do Paraitinga no estado de São Paulo.

Fonte: Elaboração Própria.

Segundo a Prefeitura de São Luiz do Paraitinga (2014), o Vale do Paraíba no século XVII era passagem de bandeirantes e tropas que se dirigiam a Ubatuba pela “Trilha dos Tamoios”. Muitos viajantes paravam, às margens do rio Paraitinga, para descansar da viagem às Minas Gerais, trazendo cargas e ouro que seriam despachados para a Europa. Em 5 de março de 1688, foram concedidas, nos sertões do Paraitinga, as primeiras sesmarias requeridas ao capitão-mor de Taubaté, Felipe Carneiro de Alcaçouva e Sousa, pelo Capitão Mateus Vieira da Cunha e João Sobrinho de Moraes, que desejavam povoar a região. Em consequência da decadência da mineração em Minas Gerais e pela

necessidade de ocupar as terras e crescer a produção agrícola da região, o Governador da Capitania de São Paulo, D. Luiz Antônio de Souza Mourão, conhecido por Morgado de Mateus, autorizou a fundação de uma povoação, junto ao rio Paraitinga e entre Taubaté e Ubatuba, tendo o centro urbano todo planejado.

Em 2 de maio de 1769, a povoação recebeu o nome de São Luís e Santo Antonio do Paraitinga, tendo como padroeira Nossa Senhora dos Prazeres. Em 31 de março de 1773, devido a um incentivo do governador geral, que estimulou o agrupamento de novos moradores na localidade, a povoação foi elevada à categoria de vila. Em 1774, o registro de habitantes era de 800 pessoas. Pela lei provincial, a 30 de abril de 1857, São Luiz do Paraitinga foi elevada à categoria de cidade e, por título de 11 de junho de 1873, com a visita de Dom Pedro II, obteve a denominação de “Imperial Cidade de São Luís do Paraitinga” (PREFEITURA, 2014).

O município foi escolhido por estar dentro do Bioma Mata Atlântica, e por ser uma área que ficou devastada na enchente que ocorreu na virada do ano 2009 para 2010, originada pelos fatores descritos anteriormente.

O município insere-se na bacia hidrográfica do rio Paraitinga, bastante extensa, a qual abrange uma área de drenagem de 5.271 km² (Fundação Christiano Rosa, 2009). Sua cabeceira de drenagem principal está localizada na Serra da Bocaina, entre os municípios de Areias e São José do Barreiro (SP), em uma altitude próxima a 1 800 m.

O percurso do rio Paraitinga até o município do São Luiz de Paraitinga é de cerca de 80 km, com desnível altimétrico de 1.000 m e com declividade média de 4,9 m/km, atravessando o planalto de Paraitinga/Paraibuna pelos municípios de Cunha e Lagoinha, entre a Serra do Mar e as Serras da Bocaina, Quebra-Cangalha e Jambeiro, onde recebe diversos afluentes em vale encaixado e meandrante (SANTOS et al, 2009; FUNDAÇÃO CHRISTIANO ROSA, 2009).

Essas características condicionam a ocorrência de inundações bruscas em episódios de chuva intensa. A partir da área urbana de São Luiz de Paraitinga, o rio ainda percorre mais de 20 km até sua foz no reservatório de Paraibuna.

A área de estudo encontra-se em terrenos constituídos por rochas ígneas-metamórficas pré-cambrianas associados principalmente ao Complexo Embu, recortados por zonas de cisalhamento dúcteis, dextrais, sub-verticais e profundas, com orientações segundo ENE a E-W (PERROTA et al 2006). As litologias predominantes são quartzo, mica, xistos e quartzitos impuros, quartzitos intercalados com rochas cálcio-silicáticas e sillimanita granada biotita gnaisses, biotita ortognaisses tonalíticos a graníticos e biotita granitoides porfiriticos e muscovita-biotita granitos (FERNANDES, 1991).

Os terrenos compõem a morfoescultura do planalto de Paraitinga/Paraibuna, no cinturão Orogênico do Atlântico, com relevo caracterizado por morros alongados com topos convexos, com altitudes variando entre 800 a 1200 m e declividade entre 20 e 30 %, apresentando formas muito dissecadas e vales entalhados associados a alta densidade de drenagem. Os solos mais frequentes são cambissolos e litólicos. Todos esses fatores resultam em um grau de fragilidade potencial alto, sendo, portanto, uma área sujeita a processos erosivos agressivos, com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com voçorocas (ROSS; MOROZ, 1997).

O município encontra-se na área dos climas controlados por massas tropicais e equatoriais (MONTEIRO, 1973). Predominam os sistemas atmosféricos intertropicais de leste-nordeste durante cerca de 50 % de um ano (na média). A participação deles pode ser reduzida em até 25 % em um ano em casos extremos, quando os sistemas extratropicais alcançam latitudes mais baixas com maior frequência. Quanto mais frequente for a passagem de sistemas frontais nesta área do estado, mais chuvoso pode se tornar a estação ou o ano como um todo. O total pluviométrico anual médio é de 1.193 mm. Os excedentes hídricos (excesso de água no solo) ocorrem preferencialmente de

dezembro a março (no verão), condicionando os períodos mais críticos à ocorrência de escorregamentos e inundações (IG-SMA, 2008).

A população estimada de 10.397 habitantes, segundo Censo IBGE (2010). O município possui área predominantemente rural. O PIB do município, em 2013, foi R\$ 89.560.00,00 segundo dados do SEADE. As atividades econômicas predominantes são de serviços e agropecuária, pois do total de 1.471 empregos formais, 717 estão nas atividades de serviços, 372 na agricultura e pecuária (leite, milho, feijão, hortaliças) e 119 na indústria, segundo dados do SEADE (2010).

O município possui forte vocação turística devido aos atrativos naturais como morros, cachoeiras e construções históricas, aliado as atividades populares folclóricas e religiosas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste Capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida para este trabalho, assim como os recursos (imagens, bases cartográficas digitais e programas) utilizados para a realização dos experimentos ou levantamentos.

4.1 Material

Foram utilizados os seguintes dados e programas para a realização deste trabalho:

- 1) Quatro cenas do satélite *RapidEye* com resolução espacial de 5 m, e cinco bandas espectrais (440-510 nm no Azul; 520-590 nm no Verde; 630-685 nm no Vermelho; 690-730 nm na borda vermelha; 760-850 nm Infravermelho próximo). As imagens foram obtidas em 26 de agosto de 2014, com ângulo de 97.8° em órbita heliosincrônica.
- 2) Um arquivo no formato *shape* da rede de drenagem do município, obtida junto à DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) em dezembro de 2014.
- 3) Modelo Digital de Elevação: a) Modelo de Altitude com dados da *Missão Topográfica Radar Shuttle* (acrônimo em inglês SRTM) obtidos no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil no site da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE (DSR/INPE) com resolução espacial de aproximadamente 30m ou 1 arcosegundo e sistema de projeção de coordenadas geográficas *World Geodetic System 1984* (WGS1984), obtido em setembro de 2014 b) Modelo de Declividade com dados SRTM obtidos junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil no site da DSR/INPE com resolução espacial de aproximadamente 30m ou 1 arcosegundo e sistema de projeção de coordenadas geográficas *World Geodetic System 1984* (WGS1984), obtido em setembro de 2014.
- 4) Novo Código Florestal Brasileiro de 2012 (Lei Nº 12.651), Resolução 32/2014 da SMA e Relatório do IPCC.

5) Dados de Emissões de CO₂ obtidos através do Anuário Estatístico - site < www.energia.sp.gov.br/arquivos/anuario-estatistico-de-energeticos-2013.pdf>

4.1.1 Programas utilizados

1) *Arc Gis 10.2*→ Para visualização da Topografia e Drenagem (DAEE, 2014), geração e exportação dos dados vetoriais: Faixas das Áreas de Preservação Permanente, e um arquivo no formato *shape* da declividade, assim como a quantificação das APP.

2) *Definiens*→ Para geração do mapa de cobertura da terra, a partir das imagens *RapidEye* e classificação orientada a objetos.

4.2 Metodologia

Os métodos utilizados para identificar as áreas potenciais para sequestro de carbono em APP de cursos de água e topo de morros na área de estudo foi, inicialmente, dividida em dois eixos: o primeiro eixo relacionado às atividades de SIG (Sistema de Informação Geográfico) e o outro eixo relacionado à estimativa de sequestro de carbono. Cabe mencionar que a base utilizada: mapa de cobertura do solo, drenagem e a geração das APP em cursos d'água foram cedidos para o seu uso neste trabalho.

Na figura 4.1 são mostradas as etapas do desenvolvimento do trabalho:

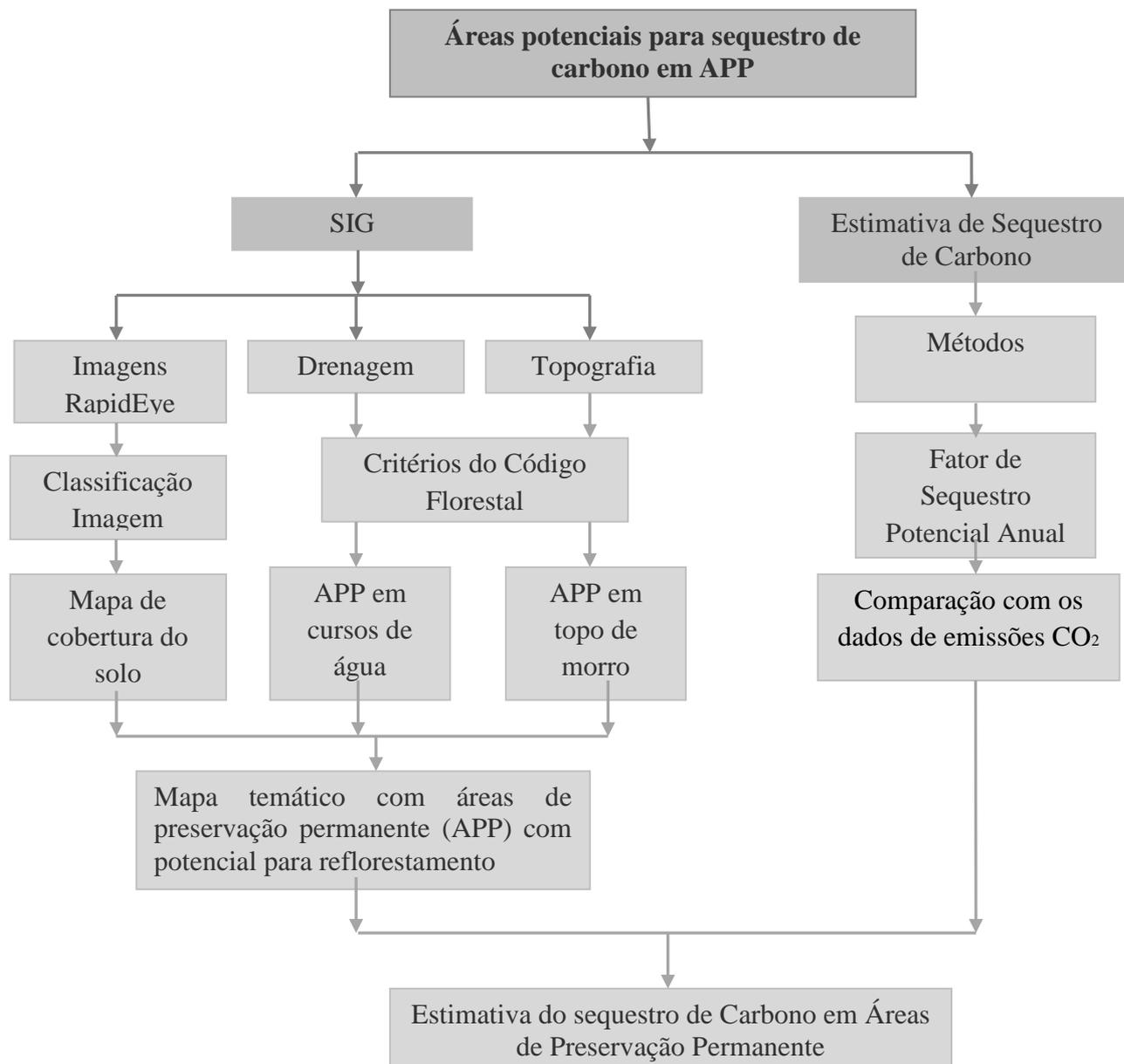


Figura 4.1- Fluxograma onde são mostradas as etapas de desenvolvimento da dissertação em questão.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

As atividades de SIG estão divididas em três partes: a primeira parte refere-se às imagens usadas para geração do mapa de cobertura do solo do município, a segunda parte ao uso da rede drenagem para a geração das faixas de APP nos cursos d'água, cedidas por Sousa (2014) para serem usadas neste

trabalho e a terceira parte ao uso da topografia para a geração das APP em topo de morro.

4.2.1.1 Geração do mapa de cobertura do solo

Segundo Souza (2014) a metodologia utilizada apoiou-se nas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A primeira etapa foi aquisição das cenas orbitais dentro da área de estudo. As cenas orbitais escolhidas para realização do mapeamento foram as geradas pelo satélite *RapidEye* com uma resolução espacial de 5 metros que facilita a identificação das classes a serem geradas.

Sousa (2014) destaca que as cenas estão disponíveis sem custos para os órgãos públicos governamentais e de pesquisa. O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Programa de Regularização Ambiental (instituído pelo Decreto Presidencial 7.830/2012) adquiriu imagens *RapidEye* para todo o território brasileiro.

A técnica de processamento digital das imagens selecionadas foi a classificação orientada a objeto a qual foi realizada no aplicativo *Definiens*, visando aproveitar o máximo as informações que as imagens de alta resolução espacial fornecem (SOUSA, 2014).

De acordo com Pinho (2008) apud Sousa (2014) a utilização do conceito de objeto é o principal item na análise de imagens de alta resolução espacial, pois o seu princípio é que a informação semântica necessária para a interpretação de uma imagem não está presente somente no pixel, mas sim em objetos da imagem e nas relações existentes entre eles.

Segundo esclarece Sousa, (2014) o processamento orientado a objeto permite realizar segmentação em diferentes níveis de escala, utilizar vários elementos referencias como, por exemplo, a tonalidade, textura, tamanho, vizinhança,

forma, brilho, média de pixel, e também permite utilizar *layers* ou *shapes* existentes, além da hereditariedade entre níveis e/ou classes.

A autora esclarece que as classes temáticas que foram geradas no mapeamento da cobertura do solo foram: pastagem, eucalipto, mata, perímetro urbano e outros. Destaca-se que a classe “outros” abrange porções de solo exposto, caminhos e afloramentos rochosos. O objetivo da definição destas classes visa análise da cobertura do solo nas áreas de preservação permanente dos cursos d’água e topo de morros.

Sousa (2014) acrescenta, ainda, que um mapa de cobertura de solo fornece muitas informações para os mais variados especialistas, e amplia a potencialidade de informações se combinado com outros mapas e dados. O mapa de cobertura do solo da área de estudo mostra, em uma primeira análise espacial visual, que a classe que predomina é a pastagem, a fragmentação da vegetação característica da região ao longo do município, contra uma extensão de área da mesma vegetação preservada ao sul do município e finalmente uma mancha compacta de cultivo de eucaliptos.

A figura 4.2 ilustra o resultado do mapeamento da cobertura do solo no município, proporcionando um retrato da situação atual da cobertura do solo.

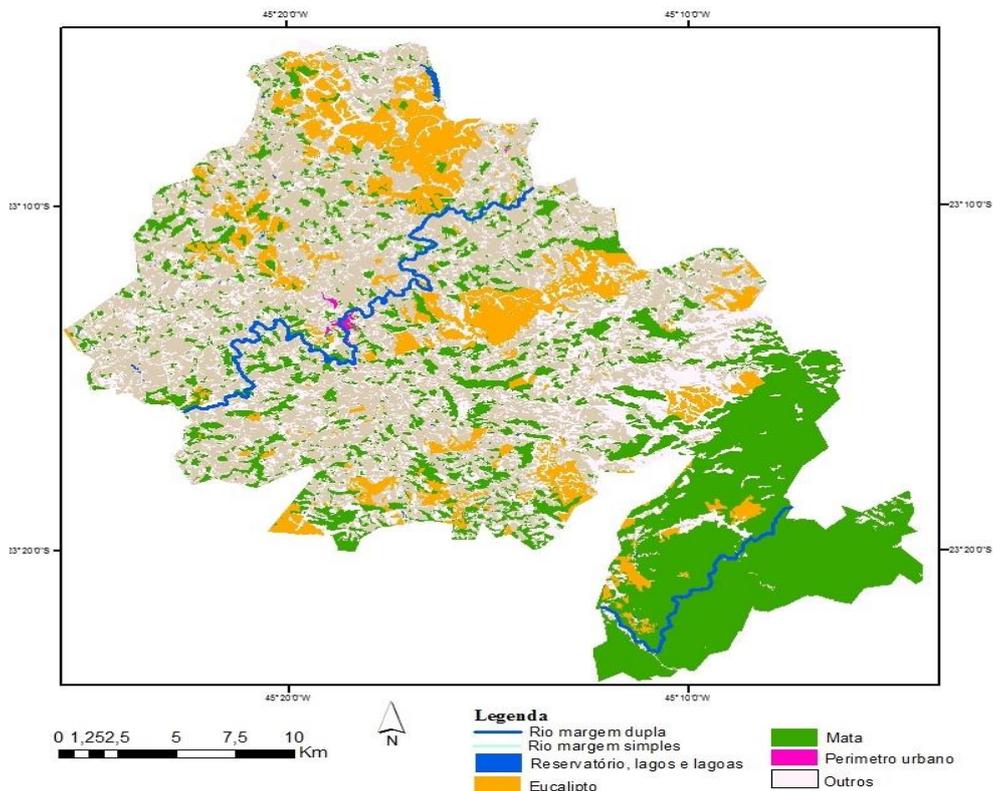


Figura 4.2- Mapa da cobertura do solo do Município de São Luís do Paraitinga.

Fonte: Sousa (2014).

4.2.1.2 Geração do mapa das APP em cursos d'água

Sousa (2014) informa que a segunda parte da metodologia se refere à utilização da rede de drenagem elaborada pelo DAEE e anteriormente ajustada com o auxílio das imagens *RapidEye* para a elaboração da faixa de APP dos rios, nascentes e reservatórios, seguindo as especificações ou critérios da legislação do Novo Código Florestal Brasileiro. Na tabela 4.1 são ilustradas as medidas adotadas para área de preservação permanente em corpos d'água.

Tabela 4.1- Medidas da faixa de preservação especificadas pelo Código Florestal Brasileiro.

Largura da margem do rio	Faixa de preservação *(APP)
até 10 metros	30 metros para matas ciliares
entre 10 e 50 metros	50 metros nas margens de rios
nascentes de qualquer dimensão	50 metros
entre 50 e 200 metros	100 metros nas margens de rios
entre 200 e 600 metros	200 metros
superior a 600 metros.	500 metros nas margens de rios

Fonte: Novo Código Florestal Brasileiro (2012).

Segundo Sousa (2014) o mapa, exibido na figura 4.3, mostra o resultado do ajuste da malha de drenagem do DAEE e a faixa de APP dos corpos d'água a qual foi gerada a partir da rede de drenagem. A parte "B" da figura citada exhibe o detalhe da faixa de APP nos rios de margens simples e nas nascentes.

A autora acrescenta ainda, que a faixa de APP foi utilizada como uma máscara ou filtro para retirar do mapa de cobertura do solo somente os tipos de coberturas que estão dentro das APP.

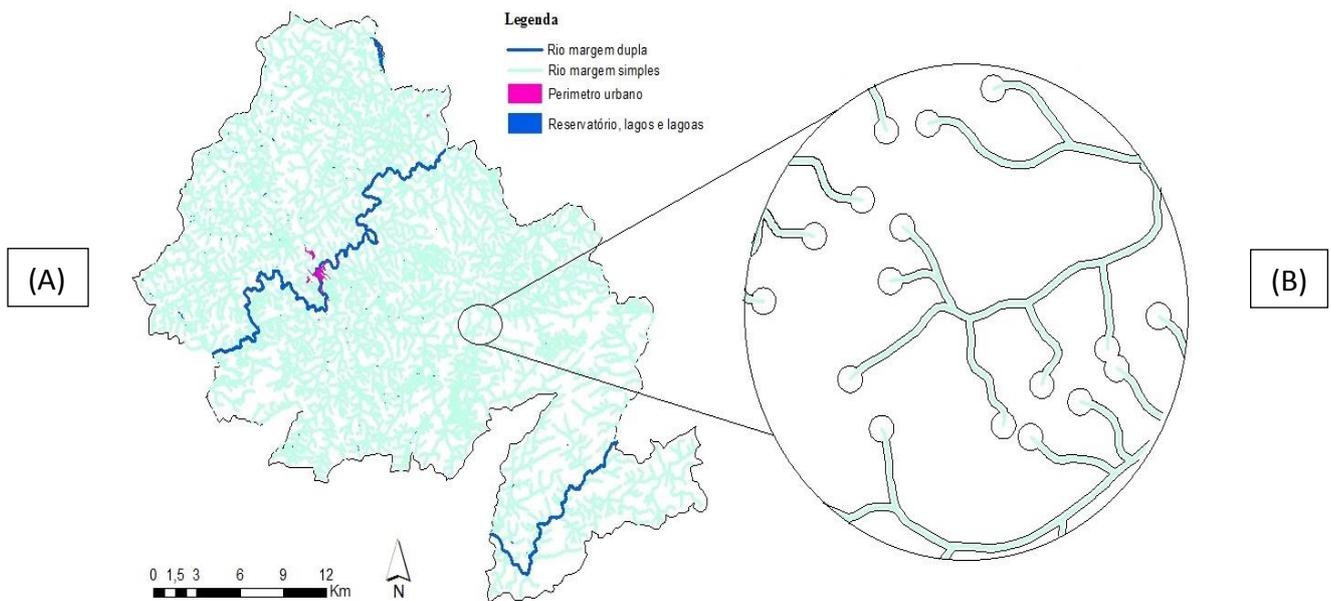


Figura 4.3 – Mapa de drenagem do município de São Luís do Paraitinga (A) e Detalhe da Área de Preservação Permanente dos cursos d’água (B). Fonte: (Sousa, 2014)

Na etapa seguinte da metodologia, a autora acima citada, utilizou uma das técnicas de análise espacial a qual consistiu na interseção do mapa de cobertura do solo com o mapa da faixa de APP criados anteriormente, gerando assim o mapa de cobertura do solo nas faixas de APP dos corpos d’água do município, sendo desta maneira possível identificar e contabilizar o tipo de cobertura do solo dentro da faixa de APP, o resultado desta etapa está ilustrado na figura 4.4 abaixo.

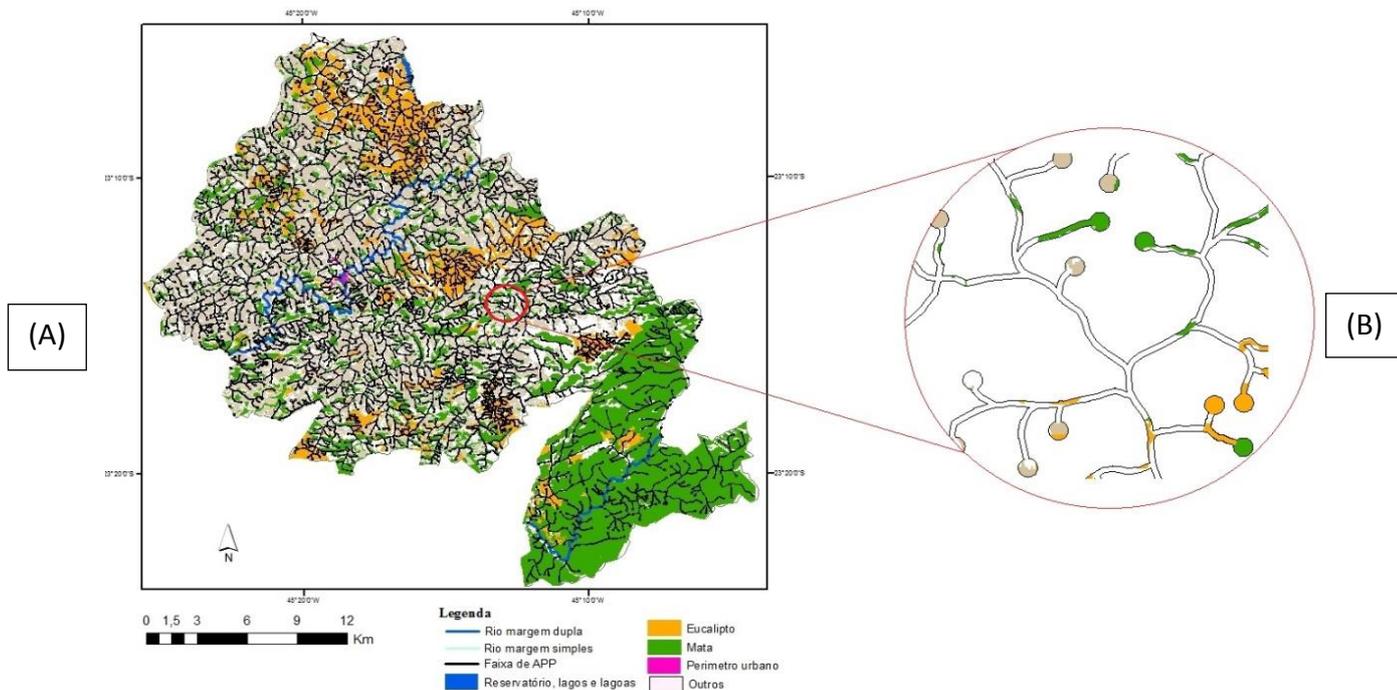


Figura 4.4 – Mapa temático da cobertura do solo no município de São Luís do Paraitinga (A) e Detalhe das classes de uso e cobertura do solo na Área de Preservação Permanente dos cursos d'água (B).

Fonte: Souza (2014)

4.2.1.3 Geração do mapa das APP em topo de morros

A terceira parte do SIG foi a geração das APP em topo de morros, para isso foi preciso usar os dados topográficos SRTM. Na tabela 4.2 são mostrados os critérios para as APPs em topo de morros.

Tabela 4.2- Critérios para a detecção das APP em topo de morros especificados pelo Novo Código Florestal Brasileiro.

Montanhas, morros ou encostas	Área de preservação *(APP)
Encostas ou partes destas com Declividade > 45°.	100% na linha de maior declive.
Topo de morros, montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25°	Áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

Fonte: Novo Código Florestal Brasileiro (2012).

Na figura 4.5 é ilustrado o critério do Novo Código Florestal para as Áreas de Preservação Permanente em topo de morros, com a finalidade de fornecer uma melhor interpretação.



Figura 4.5- Ilustração do critério para detecção de APP no topo de morros.

Fonte: Elaboração Própria.

Na figura 4.6 é ilustrado o critério do Código Florestal para as Áreas de Preservação Permanente em relevos ondulados, com a intenção de um melhor entendimento.

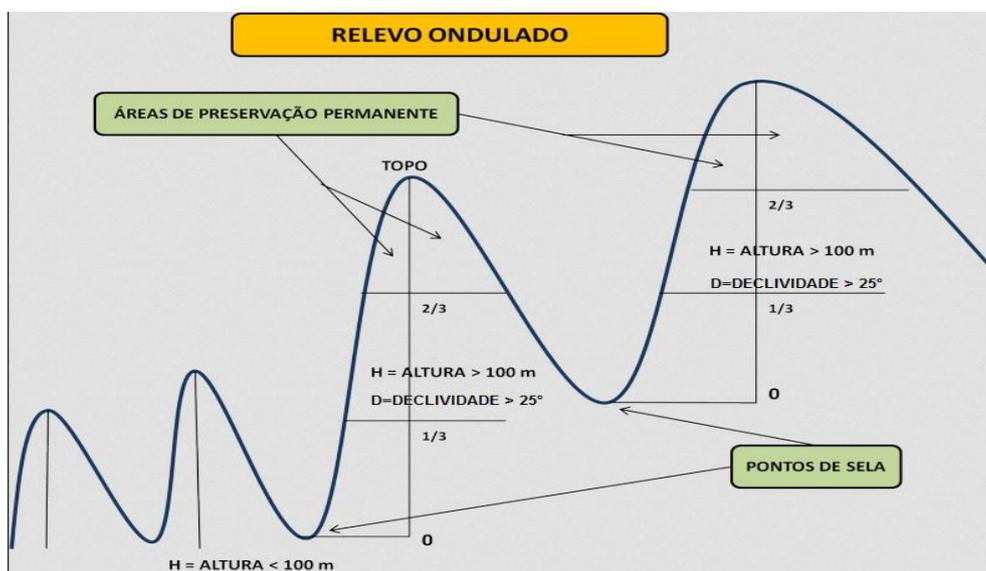


Figura 4.6- Ilustração do critério para detecção de APP em relevos ondulados.

Fonte: Elaboração Própria.

A primeira etapa para a detecção das APPs em topos de morros com altura maior que 100 metros e declividade maior que 25° foi fazer uma separação das altitudes em um intervalo de 100 m em 100 m usando os dados SRTM com resolução espacial de aproximadamente 30 m. Os valores da declividade em porcentagem foram depois interceptados com o *shape* gerado das altitudes maiores que 100 metros para assim obter as APPs que cumprem com os requisitos antes mencionados como é amostrado nas figuras 4.8, 4.9 e 4.11. Dentro do processo para obter o último terço (topo) do morro foi preciso calcular as altitudes relativas (com respeito à sua base ou o ponto de sela) pois na grade SRTM só existem as altitudes absolutas (com respeito ao nível do mar) mediante as seguintes equações:

$$t_m = \frac{h_m - b}{3} \quad (4.1)$$

$$T_m = h_m - t_m \quad (4.2)$$

Onde:

t_m = Terço do morro (metros)

h_m = Altitude máxima do morro (metros)

b = Base do morro (metros)

T_m = Topo ou base dos 3/3 do morro (metros)

Assim foi possível a identificação de três Morros dentro da área de estudo que cumprem com os requisitos definidos anteriormente. A figura 4.7 exhibe a localização dos três topos de morros identificados na área de estudo, que foram nomeados como Morro 1, Morro 2 e Morro 3.

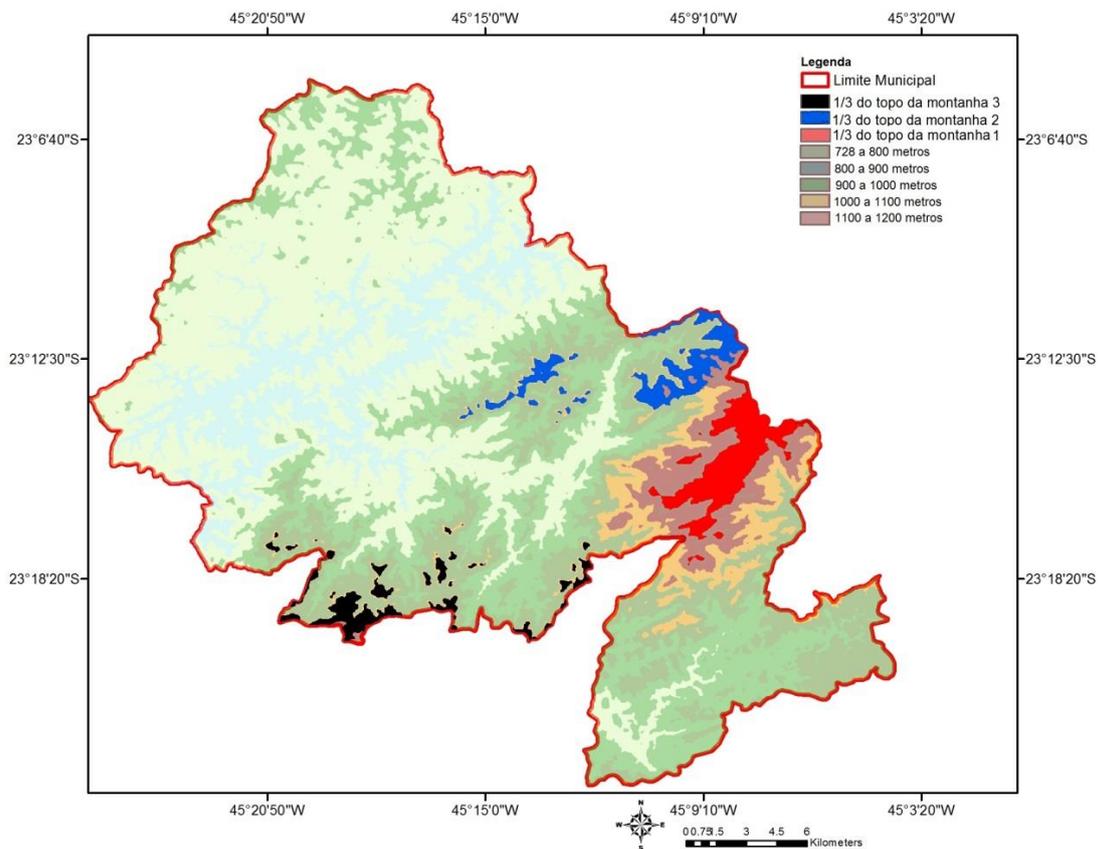


Figura 4.7- Localização dos três topos de morros identificados no município, Morro 1(Vermelho), Morro 2(Azul) e Morro 3 (Preto). Fonte: Elaboração própria.

A seguir serão apresentadas as características de cada um dos três topos de morros mapeados.

Morro 1:

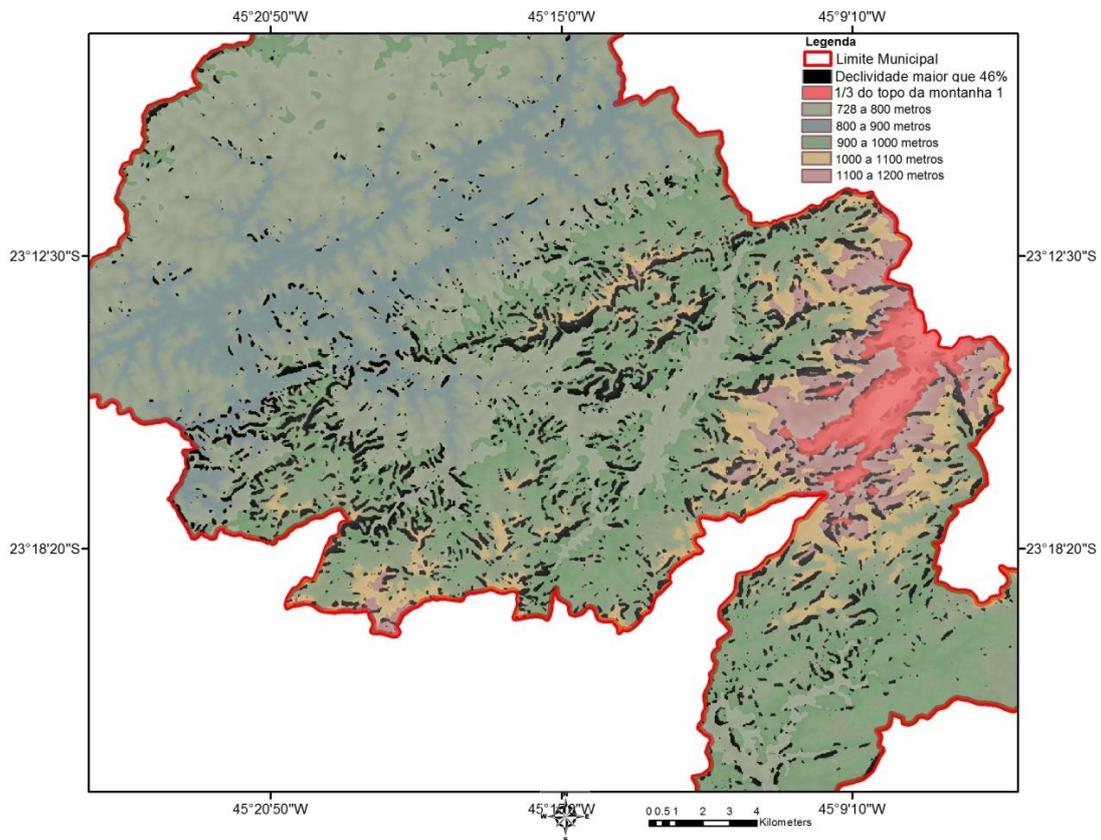


Figura 4.8- Mapa do Topo ou último terço do Morro 1 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.

Fonte: Elaboração Própria.

Relevo ondulado

Altitude máxima=1600 m

Altitude ou base do ponto de sela= 834 m

Então, aplicando a equação (4.1), segue que:

$$t_m = 1600 \text{ m} - 834 \text{ m} = \frac{766 \text{ m}}{\text{Altura relativa do Morro}} = \frac{766 \text{ m}}{3} = \frac{255 \text{ m}}{\text{Cada terço do Morro}}$$

Agora aplicando a equação (4.2), segue que:

$$T_m = 1600 \text{ m} - 255 \text{ m} = 1345 \text{ m}$$

Em 1345 metros é onde começa o último terço do Morro que segue até o topo que é de 1600 metros, que pode ser visto na figura 4.10 para um melhor entendimento.

Morro 2:

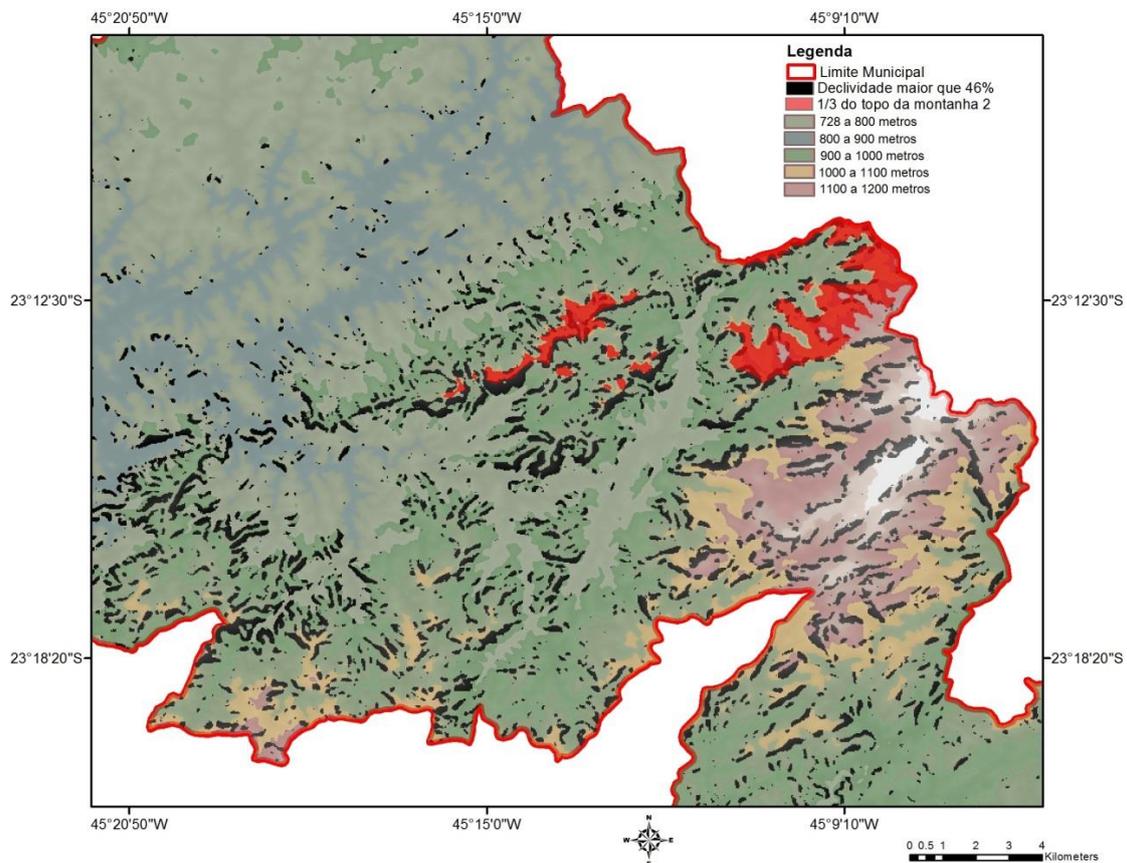


Figura 4.9- Mapa do Topo ou último terço do Morro 2 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.

Fonte: Elaboração Própria.

Parte final do relevo ondulado

Altitude máxima= 1250 m

Base do Morro= 750 m

Aplicando a equação (4.1), tem-se que:

$$t_m = 1250 \text{ m} - 750 \text{ m} = \frac{500 \text{ m}}{\text{Altura relativa do Morro}} = \frac{500 \text{ m}}{3} = \frac{166 \text{ m}}{\text{Cada terço do Morro}}$$

Agora aplicando a equação (4.2), tem-se que:

$$T_m = 1250 \text{ m} - 166 \text{ m} = 1084 \text{ m}$$

Em 1084 metros é onde começa o último terço do Morro que segue até o topo que é de 1250 metros, como pode ser visto na figura 4.10 para um melhor entendimento dos valores obtidos com as equações (4.1) e (4.2).

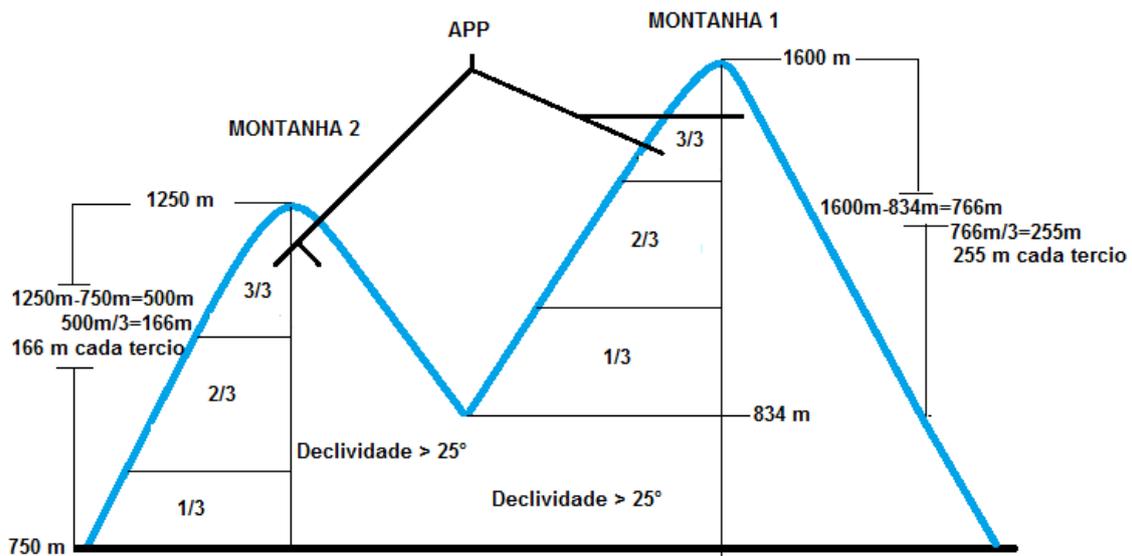


Figura 4.10- Ilustração dos valores encontrados a partir das equações usadas para o Morro 1 e o Morro 2.

Fonte: Elaboração própria.

Morro 3:

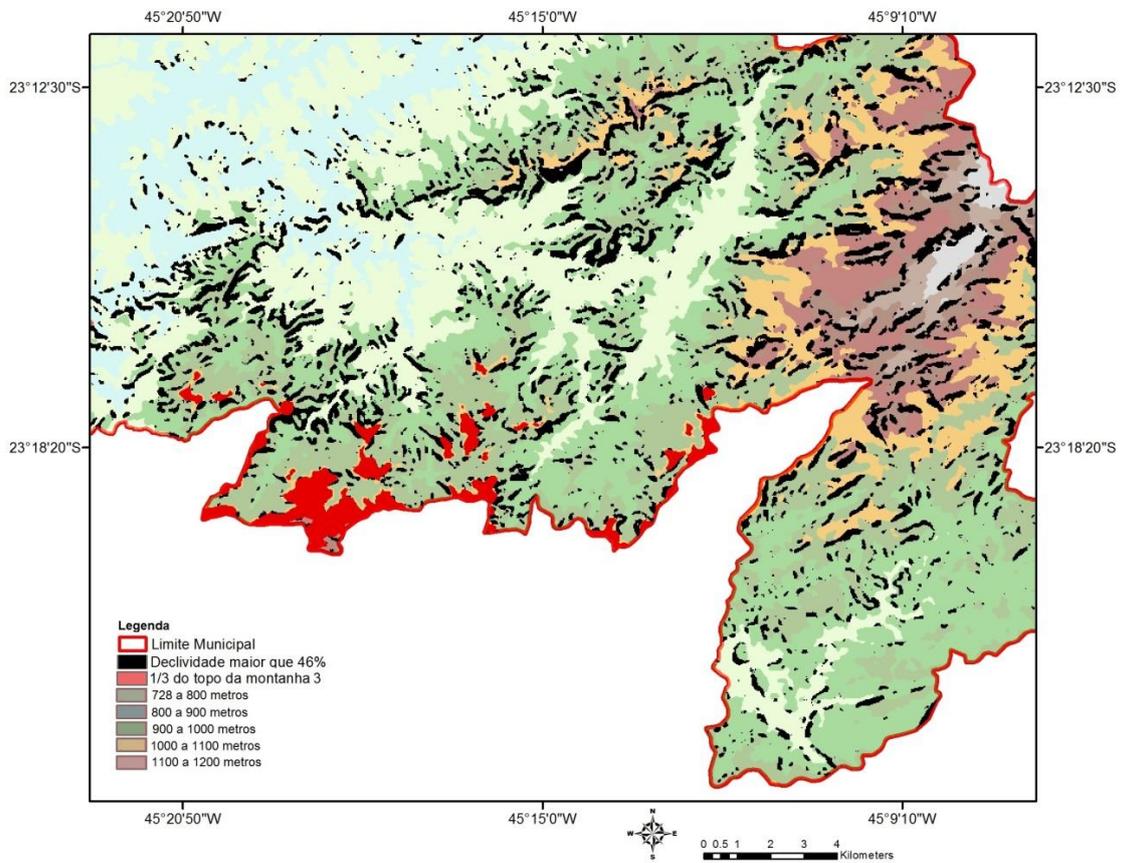


Figura 4.11- Mapa do Topo ou último terço do Morro 3 interceptado com as declividades maiores que 46 % ou maior que 25°.

Fonte: Elaboração Própria.

Morro fracionado

Altitude máxima=1300 m

Altitude da base= 750 m

Aplicando a equação (4.1) novamente, tem-se que:

$$t_m = 1300 \text{ m} - 750 \text{ m} = \frac{550 \text{ m}}{\text{Altura relativa do Morro}} = \frac{550 \text{ m}}{3} = \frac{183 \text{ m}}{\text{Cada terço do Morro}}$$

Agora aplicando a equação (4.2), temos:

$$T_m = 1300 \text{ m} - 183 \text{ m} = 1117 \text{ m}$$

Em 1117 metros é onde começa o último terço do Morro que segue até o topo que é de 1300 metros, da mesma maneira na figura 4.12 são mostrados de forma ilustrativa os resultados das equações (4.1) e (4.2).

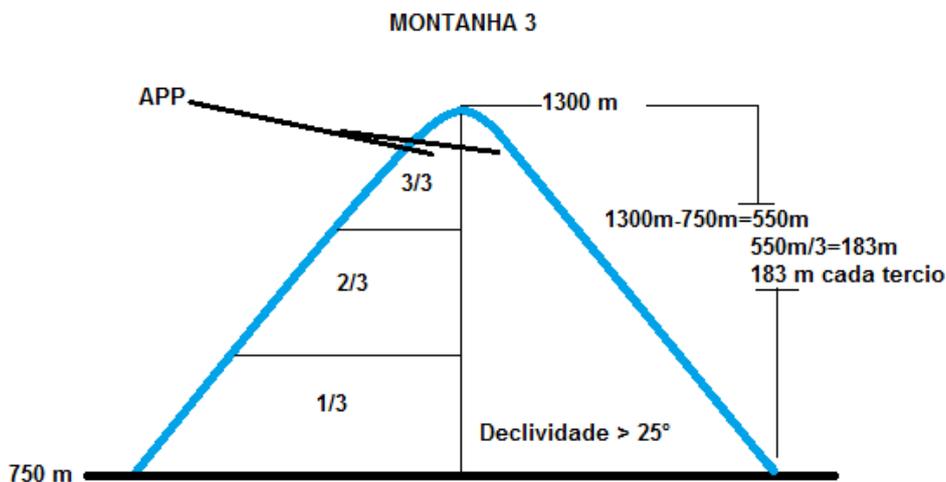


Figura 4.12- Ilustração dos valores encontrados a partir das equações usadas para o Morro 3.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.1.4 APP em encostas com declividade maior que 45 graus

Na área de estudo não foram encontradas áreas com declividade maior que 45° por tanto esse critério para a detecção de APP do Código Florestal não foi considerado.

4.2.1.5 Geração do Mapa Temático Final com áreas potenciais para reflorestamento nas áreas de preservação permanente (APP) de cursos d'água e topos de morros.

O resultado da etapa do SIG foi o mapa temático final com áreas potenciais para reflorestamento em APP de cursos d'água e topo de morro levando em consideração as classes do mapa de uso do solo.

Para isso foi preciso fazer a interseção do mapa vetorial que contém as APPs nos cursos d'água e mapa vetorial que contém as APPs em topo de morro com o mapa do uso do solo. Assim foi realizado um recorte com os usos de pastagem e eucalipto (usos com potencial para reflorestamento) os quais só estiveram dentro das faixas ou áreas de preservação permanente (figura 4.13).

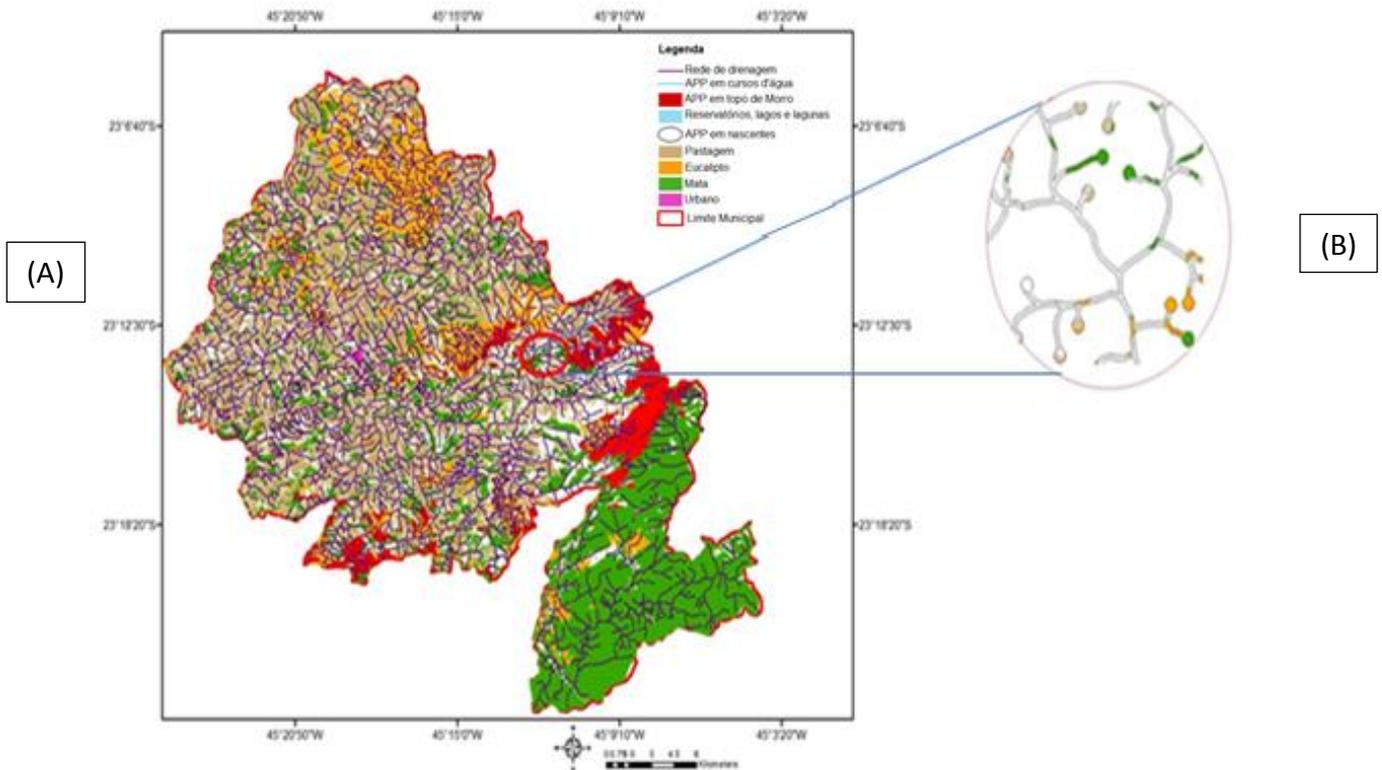


Figura 4.13- Mapa Temático Final com áreas de preservação permanente (APP) e com potencial para reflorestamento (A) e Detalhe das classes de uso e cobertura do solo na área de preservação permanente dos cursos d'água (B).

Fonte: Elaboração Própria.

4.2.2 Estimativa de Sequestro de Carbono

Nesta análise serão considerados alguns métodos encontrados na literatura e em estudos práticos para estimar a quantidade de CO₂ sequestrada em plantios de reflorestamento com espécies nativas.

Por causa da influência que a localização geográfica e a composição florística têm na taxa de sequestro de carbono, foram levantados alguns estudos com valores para captura de CO₂ por reflorestamento na região da Mata Atlântica próximo ao Estado do Rio de Janeiro, São Paulo ou semelhante, utilizando espécies nativas.

A seguir estes dados estão elencados, separados de acordo com suas respectivas fontes.

4.2.2.1 IPCC (2006)

Os valores do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas IPCC (2006) apud Pinto (2013), para a taxa de captura de carbono em florestas tropicais naturais da América do Sul é subdividido por período, sendo considerada uma taxa para áreas de até 20 anos e outra para áreas em que o plantio florestal possui mais de 20 anos.

Assim, para o primeiro período a taxa calculada a partir dos parâmetros determinados é de 7,0829 tC/ha/ano ou 25,9942 tCO₂/ha/ano; já para o segundo período, esta taxa é de 1,9960 tC/ha/ano ou 7,3253 tCO₂/ha/ano. Para estimativa de sequestro de C a contabilização da parte aérea e raiz é fundamental, enquanto que a contabilização do solo e serrapilheira não é tão relevante, ao menos para as fases iniciais da restauração (FEREZ, 2010). Por este motivo, foram considerados, os valores de captura de carbono na biomassa aérea e abaixo do solo.

Assim, considerando qualquer projeto a ser desenvolvido que dure 20 anos, seriam capturados cerca de 519.884 tCO₂/ha. Os relatórios do IPCC, assim como outros estudos da área (LACERDA et al, 2009), recomendam que sejam desenvolvidos valores mais específicos por região a ser analisada.

4.2.2.2 Projeto Mata Nativa INPE (2009)

A metodologia do INPE (2009) desenvolvida no projeto Mata Nativa apud Ordoñez (2014) disse que no caso de sequestro de carbono, não é simples utilizar um fator equivalente para realizar o cálculo do sequestro de carbono por

árvore. A razão é que, como está representada na Figura 4.14, a dinâmica de crescimento de uma floresta não é linear e, portanto, a absorção de carbono também é irregular além do que não é possível saber se todas as árvores vão sobreviver caso fossem plantadas. Por esta razão, assume-se que a plantação cresce a um ritmo constante, ou seja, que a taxa de crescimento da massa das árvores usada para o cálculo é constante durante o tempo e equivale ao crescimento durante os primeiros 20 anos (ORDOÑEZ, 2014).

Desta maneira os dados necessários para o cálculo do sequestro de carbono de uma plantação de árvores são a densidade da madeira (ρ_m), o teor de carbono (t_c) e a velocidade de crescimento da massa das árvores por unidade e área (m_{ha}); com isso, pode-se calcular o fator de sequestro de carbono anual médio por hectare de plantação (S) segundo a equação (4.3):

$$S_{20} = m_{ha} * \rho_m * t_c * k \quad (4.3)$$

A constante k representa a constante estequiométrica para fixar o carbono do CO₂ atmosférico e tem um valor de 44/12.

Desta maneira seguindo a metodologia apresentada em INPE (2009), para o Projeto Mata Nativa se obtiveram os seguintes valores para os parâmetros:

$$m_{ha} = 15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano} \text{ (Assumido linear)}$$

$$\rho_m = 0,5 \text{ tC/ m}^3$$

$$t_c = 50 \%$$

Finalmente substituindo os valores anteriormente ditos na equação (4.3), a captura de CO₂ da atmosfera, fica:

$$S_{20} = 15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano} * 0,5 \text{ tC/m}^3 * 0,5 * 44/12$$

$$S_{20} = 13,75 \text{ tCO}_2/\text{ha}/\text{ano}.$$

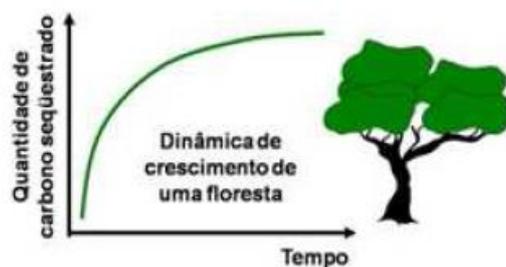


Figura 4.14- Sequestro de Carbono por projeto de reflorestamento.

Fonte: INPE (2009)

O Projeto Mata Nativa se desenvolve em uma área de 25,3ha no INPE de Cachoeira Paulista. Logo, as remoções totais anuais por este projeto são de aproximadamente 348,0 tCO₂e por ano, lembrando que a estimativa se refere a uma média para os próximos 20 anos e que leva em consideração como constantes as diferenças no ritmo de crescimento da floresta a cada ano.

4.2.2.3 Metodologia gerada a partir da coleta de dados de diversas fontes

Esta metodologia foi desenvolvida a partir de diversos dados levantados de diversas fontes bibliográficas para assim obter um fator de sequestro potencial de carbono.

De acordo com INPE (2009) a metade da biomassa em uma floresta contém Carbono e para transformar esse carbono em CO₂ basta multiplicar por 44 e dividir por 12 (44 é a massa molecular do CO₂ e 12 a massa atômica do Carbono). Segundo Dávila (2010) as árvores fixam 300 kg de CO₂ no tempo de vida, aproximadamente uns 40 anos, então absorvem 7,5 kg de CO₂ por ano.

Logo, levando em consideração as técnicas de plantação da resolução 32 da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) baseada no decreto Federal nº 7830 e publicada no DOE de 05-04-2014 (anteriormente, resoluções 08, 21 e 47 as quais foram revogadas), considera-se que as espécies devem ser plantadas com um espaçamento de 2m x 3m da área a ser reflorestada (mas essas medidas podem ser substituídas de acordo com as características topográficas, biológicas, geológicas) gerando uma densidade de árvores de 1666 espécies por hectare, como falado anteriormente.

Desta maneira pode-se realizar o cálculo do sequestro potencial de carbono anual, levando em consideração que é uma estimativa média para os próximos 40 anos e que a dinâmica de crescimento da árvore não é implícita, pois se considera o tempo de vida médio:

$$S_{40} = 7,5 \text{ kg CO}_2/\text{ano} * 1666 \text{ árvores/hectare} \quad (4.4)$$

$$S_{40} = 12495 \text{ kg CO}_2/\text{ano/hectare}$$

$$S_{40} = 12,5 \text{ tCO}_2/\text{ano/hectare}$$

4.2.2.4 Características dos métodos para sequestro de carbono

Com a finalidade de avaliar os três métodos anteriormente apresentados para cálculo do sequestro de carbono no presente trabalho, foi realizada a seguinte comparação entre cada um deles, apresentando suas características na tabela 4.3:

Tabela 4.3- Comparação entre as características dos três métodos para Sequestro de Carbono.

Método	Fonte	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano)	Tempo	Características que considera:
1	IPCC (2006)	25,9942 (áreas de até 20 anos) 7,3253 (áreas com mais de 20 anos)	Dividido em dois períodos: para áreas com até 20 anos e para áreas com mais de 20 anos	Contabilização da parte aérea e raiz, isto é os valores de captura de carbono na biomassa aérea e abaixo do solo, diferencia etapas de crescimento da árvore.
2	Projeto Mata Nativa (INPE, 2009)	13,75 (para os primeiros 20 anos de crescimento)	20 anos	A velocidade de crescimento da massa da árvore por unidade e área é assumido linear
3	Desenvolvido a partir das resoluções da SMA e Dávila (2010)	12,5 (para o tempo de vida de 40 anos da árvore)	40 anos	Dinâmica de crescimento da árvore não é implícita, pois considera tempo de vida médio.

Fonte: Elaboração própria.

Com o anteriormente mostrado o método escolhido para fazer a estimativa do sequestro de carbono da área de estudo deste trabalho foi o método proposto pelo IPCC.

O método utilizado pelo IPCC é oficial, além que considera a contabilização da parte aérea e raiz, ou seja, a captura de carbono na biomassa aérea e abaixo do solo, também porque considera um horizonte de tempo de 20 e de mais de 20 anos, e não assume como linear a velocidade de crescimento da árvore e portanto, o fator de sequestro de carbono é mais próximo da realidade.

Os outros dois métodos o do Projeto Mata Nativa INPE (2009) e o desenvolvido a partir da coleta de dados de diversas fontes não foram escolhidos porque consideram a velocidade de crescimento da árvore como linear. Em outras palavras, usam valores médios, portanto não diferenciam as fases de crescimento das árvores. Outro fato é que o método 3 considera um horizonte de 40 anos e isso implica um maior tempo na absorção do carbono atmosférico e desde o ponto de vista do gerenciamento de recursos, levaria em um maior custo.

5 RESULTADOS

5.1 Quantificação das áreas das classes selecionadas para potencial reflorestamento dentro das APP

Foi gerado o cálculo automático das áreas das classes selecionadas para potencial reflorestamento das APPs dos corpos d'água, assim como em topo de morros usando como base as classes temáticas do mapa de Uso do solo nas APPs.

A classe pastagem foi considerada mais propícia para reflorestamento devido a facilidade para sua utilização e também pelas características que o solo geralmente apresenta. Por exemplo, são férteis e algumas vezes úmidos, com nutrientes indispensáveis para a plantação de novas espécies, além do potencial de sequestro de carbono ser menor do que a floresta nativa.

A classe eucalipto também pode ser considerada como propícia para reflorestamento embora, a maioria dessas plantações tenha fins comerciais, ou seja, são propriedades de empresas, posses rurais ou fazendas, o que significa que têm cortes e plantios periódicos. Isso implica que o carbono que elas absorvem durante seu crescimento é devolvido para atmosfera quando são cortadas. Na tabela 5.1 são mostradas as quantidades totais de APP em cursos d'água tomando como base as classes do mapa de uso do solo.

Tabela 5.1- Área das classes de APPs em cursos d'água

Cursos d'água	
Classe	Área (hectares)
Pastagem	1234,5
Eucalipto	825,1
Mata	1440,3
Urbano	8,9
Outros	1453,2

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 5.2 são mostradas as quantidades totais de APPs em nascentes da mesma maneira tomando como base as classes do mapa de uso do solo.

Tabela 5.2 – Área das classes de APPs em nascentes

Nascentes	
Classe	Área (hectares)
Pastagem	595
Eucalipto	373,23
Mata	408,10
Urbano	1,5
Outros	28,8

Fonte: Elaboração Própria

Diante desses resultados apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2, o mais viável seria o reflorestamento das classes pastagem e eucalipto em nascentes porque tem uma extensão de área menor de APP para reflorestar o que se traduz em menor gasto financeiro. Outro fator é a importância ecológica do replantio com vegetação das nascentes, pois elas ajudam a abastecer os rios absorvendo água das chuvas e evitando possíveis desmoronamentos nos topos de morro. Apesar de que, o acesso para a maioria das APPs em nascentes é difícil, fato que seria comprovado com uma visita in loco. Conseqüentemente, por ter extensão menor de área para reflorestamento terá menor quantidade de carbono sequestrado pela floresta.

A área de reflorestamento nas APPs de cursos d'água é extensa e por conta disso seria interessante estabelecer quais áreas serão prioritárias para reflorestar. Visto que o município tem uma rede de drenagem muito vasta devido a forma acidentada do relevo e a sua proximidade com o litoral.

Nota-se que a classe "outros" tem uma área significativa nas APPs de cursos d'água, pois abrange entre outros tipos de uso do solo, tais como, solo exposto, caminhos e solos rochosos. O solo exposto poderia ser, também, considerado como área potencial para reflorestamento, visto que o solo está sem nenhuma

cobertura vegetal e uso. No entanto para os caminhos e afloramentos rochosos não seria possível usar para reflorestamento.

A classe Mata representa o remanescente do bioma Mata Atlântica na região, atualmente é uma classe que não pode ser contabilizada para o sequestro de carbono do município, pois já tem cobertura vegetal e assim não conta para o sequestro durante o crescimento da floresta, embora também sequestre carbono em uma taxa menor.

Na tabela 5.3 são mostradas as quantidades totais de APP no topo de morros. A classe urbano foi omitida da planilha, pois não há ocupação nos topos.

Tabela 5.3- Áreas das classes de APPs em topo de morro.

Topo de morros				
Morro	Área (hectares)/classes			
	Pastagem	Eucalipto	Mata	Outros
1	12,8	44	24,7	47,2
2	11,5	75,2	1,1	20,5
3	36,9	27,6	112,2	60,5
TOTAL	61,2	146,8	138	128,2

Fonte: Elaboração Própria

Nota-se que a maior área potencial de reflorestamento em topo de morro está na classe eucalipto. Como explicado anteriormente estas plantações possuem fins comerciais e não deveriam existir dentro das APPs, pois de acordo com a legislação ambiental as áreas de topo de morros devem ser protegidas.

Uma característica importante da classe “Eucalipto” é que a grande parte de áreas com essas plantações estão em propriedades particulares arrendadas por empresas de celulose ou pelas fazendas dessas empresas. Sendo assim, o reflorestamento dessas áreas demandaria à prefeitura tomar medidas administrativas para gerenciamento da questão.

Mesmo assim, destaca-se a importância de aproveitar a extensão de área das duas classes para reflorestar os topos de morros.

A classe “Outros” apresenta uma área significativa de APP, pois é precisamente nos topos de morros onde se localizam os afloramentos rochosos.

Observa-se também que a extensão de área de APP em topo de morros é inferior a extensão de área de APP de cursos d’água e nascentes.

Um dos motivos para esta diferença de área está na mudança dos requisitos para delimitação dos topos de morros no novo código florestal. Para os “relevos ondulados” considera-se o ponto de sela como a base do próximo morro. Na lei anterior a base do morro como cota inicial do topo. Outro fator é a declividade maior que 25 graus nos topos de morros. A lei anterior não exigia declividade nos topos de morros.

A quantidade total de pastagens e eucalipto dentro de APP com potencial para reflorestamento em cursos d’água é de 1234,5 ha de pastagem e 825,1 ha de eucalipto, nascentes é de 595 ha de pastagem e 373,23 ha de eucalipto.

Já no topo de morros, no Morro 1 é de 12,8 ha de pastagem e 44 ha de eucalipto, no Morro 2 é de 11,5 pastagem e 75,2 de eucalipto, e no Morro 3 é de 36,9 de pastagem e 27,6 de eucalipto. Nesta categoria de APP se tem um total de 208 ha se somando todas as áreas. Na tabela 5.4, são mostrados os totais de áreas das classes de APPs por categoria.

Tabela 5.4- Categorias de Áreas de Preservação Permanente do município de São Luiz do Paraitinga (Considerando as APPs com plantações de eucalipto). Obs: a área total do município é de 61.714,8 ha.

Área das APPs			
Categorias de APPs	Área (ha)	% das APPs	% das APPs no município
Cursos d’água	2059,6	63,6	3,3
Nascentes	968,23	30	1,6
Topo de Morros	208	6,4	0,3
TOTAL de APPs	3235,83	100	5,2

Fonte: Elaboração Própria

Somando as quantidades das áreas anteriormente ditas, as quantidades finais de APP com potencial para reflorestamento no município são 1890,7 ha de pastagem e 1345,13 ha de eucalipto, o que gera uma quantidade total de área de preservação permanente com possibilidade para reflorestamento de 3235,83 ha, considerando-se as áreas com plantação de eucaliptos, o que equivale aproximadamente a 6.471,70 campos de futebol.

É importante mencionar que as plantações de eucalipto não deveriam estar dentro das APP de acordo com a legislação do Novo Código Florestal Brasileiro. Um recurso que poderia ser usado pelo poder público é contabilizar as áreas de APP com plantações de eucaliptos após o corte das plantações e definir ações de substituição gradual deste tipo de cultura por vegetação nativa, pois a cultura de eucalipto é periódica e plantada por empresas.

No total 1.345,13 ha são as áreas de preservação permanente que tem plantação de eucalipto o que equivale a 41,6 %, com potencial para reflorestamento dentro do município, o que indica quase a metade do total das APPs.

É importante salientar que as informações de APPs de topo de morro encontram-se no ponto de maior complexidade tanto no entendimento de seus limites reais e legais, quanto na sua delimitação espacial (MOREIRA et al., 2003).

5.2. Cálculo do Sequestro de Carbono

O cálculo do sequestro de carbono foi realizado, como mostrado na equação (5.1), usando o método do IPCC anteriormente descrito. Merece destacar que para a realização deste cálculo basta multiplicar o fator de sequestro de carbono pela área de APP disponível e multiplicar pelo horizonte de tempo, o qual foi de 20 anos para este trabalho,

$$S = FSC \times \text{Área APP} \times 20 \text{ anos} \quad (5.1)$$

Onde:

FSC= Fator de sequestro de carbono (25,9942 tCO₂/ha/20anos)

No presente trabalho a estimativa do sequestro de carbono foi feita por categoria de APP, começando pelos cursos d'água, nascentes e finalmente os topos de morros.

Cabe lembrar que para todos os resultados da quantificação das áreas das classes selecionadas para potencial reflorestamento dentro das APP foram consideradas somente as classes pastagem e eucalipto pelos motivos já explicados anteriormente.

Da mesma maneira, como descrito no capítulo 2, item 2.7, uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂. O que significa dizer que uma tonelada de CO₂ equivale a 0,27 toneladas de carbono.

5.2.1 Estimativa do sequestro de carbono para APPs de Cursos d'água

Na tabela 5.5 são mostrados os resultados das quantidades de sequestro potencial de CO₂ nas APPs de cursos d'água.

Tabela 5.5- Quantidade de Sequestro Potencial de CO₂ nas APPs mapeadas nos cursos d'água. (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).

Fonte	Tempo	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano)	Área total de APP (ha)	Valor (tCO ₂)	Valor (tC)
IPCC (2006)	20 anos	25,9942	2059,6	1.070.753	289.103,3

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que a categoria de cursos d'água foi a com maior área disponível para reflorestamento dentro de APP, conforme tabela 5.4, com 2059,6 hectares equivalentes a 3,3 % do total do município. Isso demonstra claramente a

importância dessa classe de APP em relação a extensão de área disponível para reflorestamento.

Esse fato foi também evidenciado por Souza (2014) o que leva a uma reflexão sobre a importância dessa categoria de APP, especialmente no domínio hidrográfico onde se insere este município e onde a tradição de uso do solo é tipicamente conflitante com a necessidade de preservação.

De acordo com o IPCC (2006), o potencial de sequestro de carbono por reflorestamento com mata nativa para a categoria de cursos d'água é de 1.070.753 tCO₂ ou 289.103,3 tC quantidades equivalentes ao 64% do total do município considerando as três categorias de APP, sendo assim a categoria que apresenta maior potencial para sequestro.

5.2.2 Estimativa do sequestro de carbono para APPs de Nascentes

A categoria Nascente possui uma área disponível para reflorestamento dentro de APP de 968,23 hectares. Conforme ilustra a tabela 5.6 esta categoria de APP possui também um importante potencial de sequestro de carbono por reflorestamento com um valor de 503.367,3 tCO₂ ou 135.909,2 tC o que equivale ao 30 % do total do potencial do município considerando as três categorias.

Tabela 5.6- Quantidade de Sequestro Potencial de CO₂ nas APPs mapeadas nas nascentes (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).

Fonte	Tempo	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano)	Área total de APP (ha)	Valor (tCO ₂)	Valor (tC)
IPCC (2006)	20 anos	25,9942	968,23	503.367,3	135.909,2

Fonte: Elaboração própria

5.2.3 Estimativa do sequestro de carbono nas APPs de Topo de Morro

A categoria Topos de morro foi a terceira em extensão de área disponível para reflorestamento dentro de APPs no município. Isto é esperado, pois na área de estudo não existem grandes Morros que cumpram com os requisitos de altitude maior que 100 m e uma declividade maior que 25 graus.

Por isso as áreas disponíveis para reflorestamento dentro das APPs são escassas para esta categoria. E é importante lembrar que para a categoria de topo de morro também foram consideradas as classes pastagem e eucalipto como potenciais para reflorestamento.

Segundo a tabela 5.3 a classe eucalipto, somando-se a área de eucalipto nos três topos de morros, resulta em 146,8 hectares, a maior extensão de área entre as três classes. Este dado confirma que estas plantações estão dentro de áreas que tem restrição legal e deveriam ser removidas. A classe pastagem tem uma área de 61,2 hectares disponíveis para reflorestamento dentro de APP.

Nas tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 são mostrados o potencial de sequestro de carbono desta categoria de APP para os três topos de Morro do município.

Tabela 5.7- Quantidade de Sequestro Potencial de CO₂ nas APPs mapeadas no Morro 1. (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).

Fonte	Tempo	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano)	Área total de APP (ha)	Valor (tCO ₂)	Valor (tC)
IPCC (2006)	20 anos	25,9942	56,8	29.529,41	7.972,9

Fonte: Elaboração Própria.

Dos 56,8 hectares de APP disponíveis para reflorestamento no Morro 1, 12,8 ha são de pastagem e 44 ha de eucalipto, apresentando um potencial de sequestro de carbono de 29.529,41 tCO₂ ou 7.972,9 tC, sendo assim, o Morro

com menor área de APP e menor potencial de sequestro de carbono, contribuindo com 27,3 % do total para esta categoria.

Tabela 5.8- Quantidade de Sequestro Potencial de CO₂ nas APPs mapeadas no Morro 2. (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).

Fonte	Tempo	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano))	Área total de APP (ha)	Valor (tCO ₂)	Valor (tC)
IPCC (2006)	20 anos	25,9942	86,7	45.073,94	12.170

Fonte: Elaboração própria

Dos 86,7 hectares de APP disponíveis para reflorestamento no Morro 2, 11,5 ha são de pastagem e 75,2 ha de eucalipto. Dentre os três topos de morros, este é o que possui o maior potencial de sequestro de carbono, contribuindo 45.073,94 tCO₂ ou 12.170 tC equivalente, com 41,7 % do total desta categoria.

Tabela 5.9- Quantidade de Sequestro Potencial de CO₂ nas APPs mapeadas no Morro 3. (Obs: são consideradas as áreas com plantações de Eucalipto).

Fonte	Tempo	Valor do fator de sequestro (tCO ₂ /ha/ano))	Área total de APP (ha)	Valor (tCO ₂)	Valor (tC)
IPCC (2006)	20 anos	25,9942	64,5	33.532,52	9.053,8

Fonte: Elaboração própria

Da mesma maneira, dos 64,5 hectares de APP no Morro 3, a pastagem possui uma extensão de 36,9 ha e 27,6 ha de extensão de eucalipto, contribuindo para um potencial de sequestro de carbono de 33.532,52 tCO₂ ou 9.053,8 tC o que equivale a 31 % do total desta categoria de APP.

A categoria topo de morro apresenta no total (somando-se os 3 topos de morros) um potencial de sequestro de carbono de 108.135,87 tCO₂ ou 29.196,7 tC, equivalente a apenas 6% do total do município para as três categorias de APP.

5.3 Comparação do potencial de sequestro de carbono por projeto de reflorestamento com as emissões do Município de São Luiz do Paraitinga

De acordo com dados do Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo, o qual foi elaborado pela Secretaria de Energia e Subsecretaria de Energia Elétrica no ano de 2013 (versão recente) e que de acordo com as Agências Reguladoras (ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) considera emissões geradas dos seguintes energéticos:

- Energia elétrica;
- Gás natural;
- Derivados de petróleo e
- Etanol hidratado.

Segundo o Anuário, o município de São Luiz do Paraitinga emitiu $8,12 \times 10^3$ tCO₂/ano e o município de São Jose dos Campos emitiu $1179,59 \times 10^3$ tCO₂/ano.

Diante desse quadro o município de São Luiz do Paraitinga tem um potencial de sequestro de carbono por projeto de reflorestamento com mata nativa de 1.682.256,17 tCO₂/20 anos ou 454.209,17 tC/20 anos, o que significa que para o horizonte de tempo de 20 anos as emissões de São Luiz do Paraitinga tornariam-se insignificantes com um valor aproximado de 162.400 tCO₂ para os próximos 20 anos. Assim, essas emissões seriam compensadas amplamente, e o potencial de sequestro de carbono permaneceria aproximadamente de 1.519.856,17 tCO₂/20 anos e com capacidade para compensar até as emissões de municípios vizinhos.

Então, considerando o município de São José dos Campos que segundo o Anuário Estatístico no ano de 2013 emitiu $1.179,59 \times 10^3$ tCO₂/ano, e assim para os próximos 20 anos teria um valor de emissão aproximado de 23.591.800 tCO₂ pelo que seria compensado 1.519.856,17 tCO₂ restando 22.071.943,83 tCO₂. Assim, para compensar, teriam que ser plantados nos próximos 20 anos aproximadamente 849.110,33 hectares dentro do município de São José dos Campos ou em outro município vizinho.

5.4 Lucros aproximados para a captura de carbono no município de São Luiz do Paraitinga

Considerando o preço atual da tonelada de Carbono fixado de US\$ 6,00 segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (IMÓVEIS VIRTUAIS, 2015), o projeto de sequestro de carbono por reflorestamento dentro de APPs no município de São Luiz do Paraitinga geraria um lucro total, se considerado um projeto de pequena escala no MDL para os próximos 20 anos de US\$ 2.725.255,2.

A seguir, na tabela 5.10, são detalhados os lucros aproximados por categoria de APP.

Tabela 5.10- Lucros aproximados do sequestro potencial de carbono por categoria de APP

Lucros aproximados do sequestro potencial de carbono			
Classes de APPs	Tempo (anos)	tC	Custo (US \$)
Cursos d'água	20	289.103,3	1.734.619,8
Nascentes	20	135.909,2	815.455,2
Topo de Morros	20	29.196,7	175.180,2
TOTAL	20	454.209,2	2.725.255,2

Fonte: Elaboração própria

De acordo com os lucros apresentados na tabela 5.10 seria mais viável (economicamente ou ecologicamente) reflorestar a categoria cursos d'água, pois o lucro para a prefeitura municipal seria de aproximadamente US\$ 1.

734.619,8, em um período de 20 anos para o projeto de pequena escala dentro do MDL.

No entanto, é uma categoria de APP que exige um investimento inicial de ação da prefeitura, pois para reflorestar toda a área será necessário envolver um grande número de profissionais, maquinários e mudas.

6 CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados neste trabalho, podem-se chegar as seguintes conclusões:

O SIG se mostrou como uma excelente ferramenta na delimitação das APPs, por ser um processo automatizado e de grande precisão, eliminando possíveis erros que ocorrem no processo de delimitação manual e reduzindo custos econômicos e de tempo que demandam esses processos.

Um fato comprovado neste trabalho é que para delimitação de APP de Topo de morro é fundamental trabalhar com o modelo digital do terreno além dos limites municipais, pois a linha de base para a delimitação dos topos de morro pode estar fora do município. Para a classe cursos d'água é fundamental a rede de drenagem.

A determinação de APPs dos topos de morros requer grande esforço interpretativo do analista, pois os requisitos explicados no Novo Código Florestal são muito subjetivos. Necessita-se de uma boa leitura, mas também dos dados topográficos, pois na realização de algumas técnicas de processamento surgiram várias dificuldades. Por isso, recomenda-se desenvolver uma metodologia estruturada referente a categoria de Topo de Morro, porque caso não fosse assim poderia levar a resultados errados.

Recomenda-se para este tipo de trabalho um detalhamento do mapa de uso do solo, com visita in loco na área de estudo para verificar as condições topográficas, hídricas, do uso solo, etc. Pois no presente trabalho a classe "outros" abrange porções de solo exposto, caminhos e afloramentos rochosos. Assim, como não foram realizados trabalhos de campo para comprovar o uso do solo, a classe "outros" não foi considerada, diminuindo as áreas disponíveis de APPs para sequestro de carbono por reflorestamento, pelo que se sugere para o desenvolvimento de futuros trabalhos que estejam amplamente relacionados com este, realizar ditas visitas.

A importância de haver uma clara delimitação das Áreas de Preservação Permanentes encontra-se no fato dessas áreas constituírem locais de potencial

risco natural (susceptibilidade a movimentos de massa, inundações e fragilidade aos processos erosivos). O uso e ocupação do solo nessas áreas causam impactos não só localmente, mas afetam toda a bacia hidrográfica e os recursos para abastecimento hídrico. E também a formação de corredores de biodiversidade naturais favorecendo os fluxos gênicos de fauna e flora.

As áreas de preservação permanente com plantação de eucalipto representam aproximadamente o 41,6 % com potencial para reflorestamento dentro do município, quase a metade do total das APP. A espécie eucalipto é uma espécie exótica que para seu desenvolvimento necessita retirar uma grande quantidade de nutrientes e água do solo e de uma forma rápida provocando escassez. Este resultado evidencia o uso indevido e irregular dessas áreas, portanto propõe-se que a prefeitura de São Luiz do Paraitinga tome ações mitigatórias, conduzindo-as ao manejo sustentável e evitando assim prejuízos.

De acordo com a preocupação global atual das Mudanças Climáticas este trabalho vem contribuir para a área da meteorologia com as políticas de mitigação dos gases de efeito estufa (principalmente do dióxido de carbono) propostas por diversos programas, planos, instituições e acordos internacionais como o IPCC, Protocolo de Quioto entre outros.

Na questão do sequestro potencial de Carbono também requer um grande esforço de pesquisa e estudo pois é um tópico recente do qual não se tem muitas informações devido a que os trabalhos existentes são mais focados para medições em campo com uso de equações alométricas para determinação de estoque de carbono. Assim, esta pesquisa vem contribuir para o tópico do sequestro de carbono como uma primeira estimativa visando ao desenvolvimento de futuros cálculos mais precisos, tornando-se assim o uso de algum modelo como uma opção viável.

Este trabalho contribui, também, para o município com dados para a gestão pública especialmente para subsidiar recursos para o plano diretor, uma vez que essas áreas têm restrição legal de uso.

No presente trabalho estimou-se que o município de São Luiz do Paraitinga geraria um lucro para os próximos 20 anos de aproximadamente US\$ 2.725.255,20 por sequestro de Carbono dentro das Áreas de Preservação Permanente mapeadas, garantindo assim, a entrada de recursos que serviriam para o investimento em futuros projetos ambientais. Criando assim, uma nova vocação econômica para o município visto que poderá compensar as emissões de outros municípios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, S.; NELSON, C. R.; ARONSON, J. et al. Opportunities and challenges for ecological restoration within REDD +. **Restoration Ecology**, p. 1-7, 2010.

AMBIENTE BRASIL. Ambiente Gestão Ambiental. **Sequestro de carbono**. Disponível em: <[http:// www.ambientebrasil.com.br/gestaoambiental](http://www.ambientebrasil.com.br/gestaoambiental)> Acesso em 31 mar. 2015.

ARAÚJO, M. H. S.; CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S. **Levantamento da cobertura vegetal nativa do bioma Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: IESB - IGEO/UFRJ - UFF , 2007.

ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF SÉRIE REGISTROS. São Paulo, Instituto Florestal**, v. 44, p. 1-38, 2011.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDS); MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima**. Rio de Janeiro: BNDS, Departamento de Relações Institucionais, 1999. 38 p.

BARROS, R. V. A. **Uso de SIG na delimitação de áreas de preservação permanente e no mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Piraí- SP**. Trabalho apresentado a Universidade Federal de Santa Catarina para conclusão do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

BRASIL. **Decreto Presidencial de 7 de julho de 1999**. Cria a Comissão Interministerial de Mudança Global de Clima com a finalidade de articular as ações do governo nessa área. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 08 jul. 1999. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Divisão de processamento de imagens (DPI), disponíveis no site:
<<http://cbers2.dpi.inpe.br/catalogo/>>

BRASIL. **Novo Código Florestal, Lei N° 12.651** (25 de Maio de 2012)

BRAZIL/U.S. ASPEN GLOBAL FORUM. **Task force on early start projects for carbon emission reductions**. São Paulo: AMCHAM, 2000. 39 p.

CAPOBIANCO, J. P. R.; WHATELY, M.; LIMA, A. et al. **dossiê Mata Atlântica 2001**: Projeto Monitoramento Participativo da Mata Atlântica. Brasília: Rede de ONGs da Mata Atlântica Instituto Socioambiental Sociedade Nordestina de Ecologia, 2001.

CARBONO BRASIL. A ENERGIA DA NATUREZA. Gás Limpo. Disponível em <http://www.carbonobrasil.com.br/#a_empresa> Acesso em 1 abr. 2015.

CESARINI, C. N. **Modelo de compensação de CO2 para empresas poluidoras do ar**: um estudo de caso no Vale do Itapocu, Região Norte de Santa Catarina. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CHABARIBERY, D.; SILVA, J. R. DA; TAVARES, L. F. DE J. et al. Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares: preliminares. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, n. 16, p. 1-18, 2007.

CIAIS, P.; SABINE, C.; GOVINDASAMY, B.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J.; CHHABRA, A.; DEFRIES, R.; GALLOWAY, J.; HEIMANN, M.; JONES, C.; LE QUÉRÉ, C.; MYNENI, R.; PIAO, S.; THORNTON, P. Carbon and other biogeochemical cycles. In: **Climate Change 2013**. the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T., Qin, D., and Plattner, G.-K. (eds. © Cambridge: Cambridge University 20 Press, 2013.

COIMBRA, A.; CÂMARA, I. B. **Os limites originais da Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Rio de Janeiro, 1996.

DÁVILA, J. **Estudio prospectivo de la captura de carbono (CO₂) con la instalacion de 200 has de bosques de eucalipto, en la provincia Daniel Carrion, region de pasco 2010-2020**. 2010. Tesis para optar el grado academico de magister en gestion y negocios. Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco, Peru, 2010. 36 p.

DE JONG, BEN H.J.; TIPPER, T.; TAYLOR, T. A framework for monitoring and evaluating carbon mitigation by farm forestry projects: Example of a demonstration project in Chiapas. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 2, n. 2-3, p 231-246, 1997.

DE SOUZA, C. C.; TEIXEIRA, G. B. Mapeamento das Áreas de Preservacao Permanente (APP) do município de Santo Antonio do Pinhal, SP: um subsidio a preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água- Na Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.2, n.1, 2007.

DEAN, W. A. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI. São Paulo: DAEE/ IGC, 2003. Mapa da rede de drenagem.

DIXON, R.K.; ANDRASKO, K.J.; SUSSMAN, F.G.; LAVINSON, M.A.; TREXLER, M.C.; VINSON, T.S. Forest sector carbon offset projects: near-term opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. **Air, water and soil pollution**, v. 70, p. 561-577, 1993.

DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research

Laboratory (NOAA/ESRL) Disponível

em:<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. Acesso em 8 Dezembro 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA).

Documentos: mecanismo de desenvolvimento limpo (mdl): funcionamento, pontos críticos e possibilidades para alguns sistemas agrícolas no brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. n. 41, 1. ed., 28 p.

FARIA, C. Ciclo do Carbono. Infoescola, INFOESCOLA, Brasil.

(<http://www.infoescola.com/biologia/ciclo-do-carbono/>)

FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de seqüestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica.**

Dissertação (Mestrado em Ciências) - ESALQ/ Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FERNANDES, A. J. **O complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1991.120p.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas – Guia de Informação.** 1. ed. Brasília, 2002.

FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Conference of the Parties. 3., 1997, Quioto. Geneva: United Nations – FCCP/CP. Relatório de atividades da COP-3.1997. 60 p

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestock's long shadow:** environmental issues and options. Rome, Italy: FAO. 390 p. Disponível em:

<http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.htm>.

FUNDACAO CHRISTIANO ROSA. **Plano da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul – UGRHI 02 - 2009-2012.** Piquete, SP: CBH-PS/FEHIDRO, 2009. 325 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Dados sobre a situação da Mata Atlântica**. 2012. Disponível em: <<http://www.sosma.org.br/5697/sos-mata-atlantica-e-inpe-divulgam-dados-do-atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica-no-periodo-de-2010-a-2011/>>. Acesso em: 1 abr. 2015.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DE ENERGIA. SUBSECRETARIA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Anuário estatístico de energéticos por município no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.

HOLLING, C.S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p.1-23, 1973.

IMÓVEIS VIRTUAIS. **Sequestro de carbono**. Disponível em: <http://www.imeisvirtuais.com.br/sequestrodecarbono.htm>. Acesso em: 25 mar. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Apresenta dados estatísticos do Brasil, dos seus estados e municípios**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 3 de novembro de 2014.

INSTITUTO GEOLÓGICO- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (IG-SMA). **Mapeamento de áreas de risco associadas a escorregamentos e inundações em São Luiz de Paraitinga**. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 46 p. +3 anexos. Relatório Técnico.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Perguntas e respostas sobre mudanças climáticas**. Belém: Fundação Biblioteca Nacional, 2002. 30p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto mata nativa**. São José dos Campos, 2009. Reflorestamento na Unidade Regional de Cachoeira Paulista. Plano de trabalho proposto pelo Dr. Jean Pierre H.B. Ometto.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA** - banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>

JOOS, F.; SPAHNI, R. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. **Proceedings Natl. Acad. Sci.**, v.105, p.1425–1430, 2008.

KANDEL, R.; VIOLLIER, M. Planetary radiation budgets. **Space Science Reviews**, v. 20, p. 1-26, 2005.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; Polizel, J.L. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de espécies nativas. **Metrum**, v. 5, p. 1-23, 2009.

LE QUÉRÉ, C., PETERS, G. P., ANDRES, R. J., ANDREW, R. M., BODEN, T., CHAPMAN, P., FRIEDLINGSTEIN, P., HOUGHTON, R. A., MARLAND, G., MORIARTY, R., SITCH, S., TANS, P., ARNETH, A., ARVANITIS, A., BAKKER, D. C. E., BOPP, L., CANADELL, J. G., CHINI, L. P., DONEY, S. C., HARPER, A., HARRIS, I., HOUSE, J. I., JAIN, A. K., JONES, S. D., KATO, E., KEELING, R. F., KLEIN GOLDEWIJK, K., KÖRTZINGER, A., KOVEN, C., LEFÈVRE, N., OMAR, A., ONO, T., PARK, G.-H., PFEIL, B., POULTER, B., RAUPACH, M. R., REGNIER, P., RÖDENBECK, C., SAITO, S., SCHWINGER, J., SEGSCHNEIDER, J., STOCKER, B. D., TILBROOK, B., VAN HEUVEN, S., VIOVY, N., WANNINKHOF, R., WILTSHIRE, A., ZAEHLE, S., AND YUE, C.: Global carbon budget 2013, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, v.6, p. 689–760, 2013.

LEDERMAN, M. R.; PADOVAN, M. DA P. **Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo** : cobertura florestal e unidades de conservação. Vitória, ES: Programa Centro para Conservação da Biodiversidade - Conservação Internacional do Brasil / IPEMA, 2005. p. 1-152.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia hoje**. São Paulo: Ática, 2000. v. 1.

LIOU, K.N. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press, 2002. 583p.

MANCEBO QUINTANA, S., ORTEGA PEREZ, E., VALENTIN CRIADO, A.C., MARTIN RAMOS, B., MARTIN FERNANDEZ, L. **LibroSIG aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental**. Madrid, España, los autores, 2008..

MANFRINATO, W.; VIANA, V. Seqüestro de carbono como parte de uma estratégia de desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas. In: WORKSHOP MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1999, Jaguariuna. **Memória...** Jaguariuna: Embrapa, 1999.

MASERA, O.R.; BELLON, M.R.; SEGURA, G. Forest management options for sequestering carbon in Mexico. **Biomass and Bioenergy**, v. 8, n.5, p. 357-367, 1995.

MASLIN, M. **Global warming: a very short introduction**. Oxford: University Press, 2004.

MENDIS, M.; OPENSHAW, K. Operationizing clean development mechanisms. In: WORKSHOP ON TROPICAL AGRICULTURE IN TRANSITION: OPPORTUNITIES FOR MITIGATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS, 2001, Bonn. **Proceedings...** Bonn: Center for Development Research, 2001.

MEYERS, S.; SATHAYE, J; LEHMAN, B.; SCHUMACHER, K.; VLIET, O V.L; MOREIRA, J.R. **Preliminary assessment of potencial CDM early start projects in Brazil**. Berkeley: EPA, 2000.46 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Cartilha elaborada**.

Disponível em :<

http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/37072/Veja_tambem.html >

Acesso em: 2 mar. 2015

MIRANDA, D. L. C. D. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MITTERMEIER, R.A. et al. **Hotspots revisited**: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Washington, D.C.: Cemex. 392 p., 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Resolução número 1**. Brasília, Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/sitio/> > Acesso em 8 mar. 2015.

MONTEIRO, C. A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob a forma de Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1973. 129p.

MOREIRA, A G.; SCHWARTZMAN, S: O Protocolo de Kyoto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo In: MOREIRA, A G.; SCHWARTZMAN, S: **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, The Woods Hole Reserach Center, Environmental Defense, 2000. p. 51-54

MOREIRA, A. A.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J.C.; RIBEIRO, C. A. A. S.. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 5-10 abr. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1381-1389. CD-ROM, On-line. Publicado como: INPE—PRE/. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br:80/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.12.11.06>> Acesso em 01 abr. 2015.

MORENO, H. A. Annual and diurnal cycles of the inverse relation between plant transpiration and carbon sequestration. **Revista EIA**, n. 9, p. 53-68, Julio 2008. ISSN 1794-1237

MOURA-COSTA, P. Breve historia da evolução dos mercados de carbono. **Silvicultura**, n. 76. 1998.

MÜLLER R.A. The conversion of a climate change skeptic. **The New York Times**, 2012 Versão Eletrônica disponível em <http://www.nytimes.com/2012/07/30/opinion/the-conversion-of-a-climate-change-skeptic.html>, acesso em 24 jun, 2014. (URL curto: <http://xurl.es/68e8i>).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Scientific assessment of ozone depletion**. Genebra, Suíça: Global Ozone Research and Monitoring Project, 2007.572p. (Report n. 50).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Índice de temperatura global**. Asheville, 2013. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/national-temperature-index/>>. Acesso em: 26 marco 2013.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia**. Relatório de Avaliação Científica. São José dos Campos: ARA, CCST-INPE e INPA, 2014. p. 1-40. Disponível em: <http://new.livestream.com/accounts/4764012/events/3532952>

NOWAKTZKI, A.; CORDEIRO S., L.; VEDOR DE PAULA, E. Utilização do SIG na delimitação das áreas de preservação permanente (APPs) na bacia do rio Sagrado (Morrete/PR). **Sociedade & natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 107-120, abr. 2010.

NUNES, C. **Predição do sequestro do carbono em área reflorestada utilizando redes neurais artificiais**. 2014. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2014.

ORDOÑEZ, PACHÓN, D. A. **Estimativa das emissões e remoções de gases de efeito estufa produzidas pelo INPE em 2012**. 2014. 127 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/07.08.05.12-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GKD8NB>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

PACIORNIK, N.; MACHADO FILHO, H. Política e Instrumentos Legais Internacionais da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. In: SCHWARTZMAN, S; MOREIRA, A G. (eds.). **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, The Woods Hole Reserach Center, Environmental Defense, 2000. 14p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC, 2013 IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. IPCC, Switzerland, 2013.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS- IPCC, 2007. **Clima 2007, a base científica**. Resumo técnico do Informe do Grupo de Trabalho I, IPCC, Switzerland, 2007. 38p.

___ **Impacto, adaptación y vulnerabilidad. resumen para responsables de políticas y resumen técnico**. Contribution of Working Group II to the Fourth Report of the IPCC. Cambridge, Reino Unido: Parry, O et al. 2007a . 27 p.

___ **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva: IPCC, 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (URL curto: <http://goo.gl/6zlcgd>) Acesso em: 10 abr. 2015.

PERROTA, M.M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D' AGOSTINO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J. V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil – PGB , CPRM, 2005.

PHILLIPS, O.L. The changing ecology of tropical forests. **Biodiversity and Conservation**, n. 6, p.291-311, 1997.

PINHO, C. M.. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada a classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2006. 178 p. (INPE-14183-TDI/1095). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) -

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGPBW/QLFQPS>>. Acesso em: 23 jul. 2015. PINTO, N.D. **análise comparativa entre o reflorestamento e outras alternativas de mitigação de gases de efeito estufa no estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PREFEITURA DE SÃO LUIS DO PARAITINGA. Histórico: a enchente de 2010
Disponível em < <http://www.saoluzdoparaitinga.sp.gov.br/site/a-cidade/historico/a-enchente-de-2010/>> Acesso em 20 dez. 2014

PUNTES, R. S. E. S. **Expansão das florestas plantadas com fins energéticos no Brasil e sua influência nas emissões dos Gases de Efeito Estufa – GEE**: análise de dois cenários futuros. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2010.

REGNIER, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; CIAIS, P.; MACKENZIE, F. T.; GRUBER, N.; JANSSENS, I. A.; LARUELLE, G. G.; LAUERWALD, R.; LUYSSAERT, S.; ANDERSSON, A. J.; ARNDT, S.; ARNOSTI, C.; BORGES, A. V.; DALE, A. W.; GALLEGOS-SALA, A.; GODDÉRIS, Y.; GOOSSENS, N.; HARTMANN, J.; HEINZE, C.; ILYINA, T.; JOOS, F.; LA ROWE, D. E.; LEIFELD, J.; MEYSMAN, F. J. R.; MUNHOVEN, G.; RAYMOND, P. A.; SPAHNI, R.; SUNTHARALINGAM, P.; THULLNER M. Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean. **Nat. Geosci.**, v. 6, p. 597–607, 2013.

RENNER, R.M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2004..

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono**: uma aplicação do Modelo CERT. 2003. 196p. Tese (Doutorado em Ciências –Área de concentração – Economeia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ROCHADELLI, R. **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos**. 2001. 66 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RODHE, H.; CHARLSON, R.; CRAWFORD, E. Svante Arrhenius and the greenhouse effect. **Ambio**, v. 26. n. 1. p. 2-5, 1997.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLF, S.; NAVE, A. G. et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 9, 2011.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000)**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia do depto de Geografia da FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 32 da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) de 3 de abril de 2014**. São Paulo, 2014.

SCARPINELLA, G. A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2002.

SCRIPPS: the keeling curve. Disponível em: <http://keelingcurve.ucsd.edu/>, Acesso em: 14 Dezembro 2014.

SÉTIMA CONFERÊNCIA DAS PARTES – COP7 e os acordos de Marraqueche. 1. ed. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. 64 p.

SIQUEIRA, L.P.; MESQUITA, C.A.B. **Meu pé de Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2007.

SOUSA, A. F. **Quem negocia os créditos?**. Agro analysis: a revista de agronegócios da FGV. 2010. Disponível em: <

http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=844> Acesso em: 1 abr. 2015.

SOUSA, R. C. A.. Análise da cobertura do solo em áreas de preservação permanente (APP) nos corpos d'água do município de São Luís do Paraitinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – XVII SBSR, 17., 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015.

STRASSBURG, B. B. N. **Processo de conversão dos ambientes naturais – uma análise ecológico-econômica.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

TANS, P.; KEELING, R. F. **Trends in atmospheric carbon dioxide.** National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL) & Scripps Institution of Oceanography, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> and <http://scrippsco2.ucsd.edu/>, Acesso em 4 Janeiro 2015.

TEEB – A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade para Formuladores de Políticas Locais e Regionais, 2010.

TREICHEL JÚNIOR, P.; KOTZ, J. C. **Química e reações químicas.** Rio de Janeiro: LTC, 1998. v. 1.

TRENBERTH, K.E.; FASULLO, J.T.; KIEHL, J. Earth's global energy budget. **American Meteorological Society.** v. 90, p. 311-323, 2009.

TSOGTBAATAR, J. Deforestation and reforestation needs in Mongolia. **Forest Ecology and Management.** v. 201. p. 57-63., 2004.

VILLELA, D.M.; DE MATTOS, E.A.; PINTO, A.S.; VIEIRA, S.A.; MARTINELLI, L.A. Carbon and Nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Braz. J. Biol.**, v. 72, n.3 (suppl.), p. 633-642, 2012.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science**: an introductory survey.
2. ed. Academic Press, 2006.