

ALCINÉA GUIMARÃES DE CASTRO

Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidrelétrica - CGH

UNESP
FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Guaratinguetá
2017

ALCINÉA GUIMARÃES DE CASTRO

Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidrelétrica - CGH

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Coorientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

C355e Castro, Alcinéa Guimarães de
Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidrelétrica / Alcinéa Guimarães de Castro– Guaratinguetá, 2017
140 f. : il.
Bibliografia: f. 119

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017
Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho
Coorientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

Usinas hidrelétricas. 2. Carbono. 3. Bacias hidrográficas.
4. Gases estufa. I. Título

CDU 621.311.21(043)

ALCINÉA GUIMARÃES DE CASTRO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Ana Paula Rosifini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



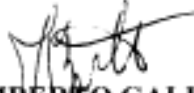
Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Orientador / UNESP-FEG



Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JUNIOR
UNESP-FEG



Prof. Dr. IVONETE ÁVILA
UNESP-FEG



Prof. Dr. HUMBERTO GALLO JUNIOR
Instituto Florestal de São Paulo



Prof. Dr. ADEMIR FERNANDO MORELLI
UNITAU

DADOS CURRICULARES

ALCINÉA GUIMARÃES DE CASTRO

NASCIMENTO	12.10.1966 – Rio de Janeiro / RJ
FILIAÇÃO:	Francisco de Castro Cléa Guimarães de Castro
1988/1993	Curso de Graduação Bacharelado em Engenharia Florestal Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ.
1999/2001	Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal e Ambiental, nível de Mestrado, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ.
2013/1016	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível Doutorado, na Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

À minha filha, Eduarda, por ser a minha inspiração para trilhar este caminho, e ao meu marido Elton pelo companheirismo e paciência.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela minha vida, minha família, pelos meus amigos e por esta conquista.

ao meu orientador *prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho* pela orientação e auxílio para a realização desta pesquisa.

ao meu coorientador *Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões* pela imensa ajuda e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa.

aos amigos *Celso de Souza Catelani* e *Roxane Lopes Mello* pelo incentivo, dedicação e principalmente pela enorme ajuda na realização da tese.

à amiga *Vânia Aparecida dos Santos* pela revisão dos textos, paciência e ajuda na elaboração desta pesquisa.

aos professores do curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, na área de Energia - Gestão Ambiental e Sustentabilidade da UNESP - FEG pelos ensinamentos em suas disciplinas.

as estagiárias do Instituto Florestal - Viveiro Florestal de Taubaté, *Viviane Pereira Bittencourt*, *Letícia Pereira Monteiro* e *Karolline Hernandes Bergonzini* pela imensa ajuda de campo e na organização dos dados coletados.

à Organização da Sociedade Civil de Interesse Público, AKARUI, por disponibilizar vários dados da Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu, área que foi desenvolvida este estudo.

ao Instituto Florestal pela autorização de realização da pós-graduação.

a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Daria tudo que sei pela metade do que ignoro.”

René Descartes

RESUMO

São inúmeros os serviços econômicos, sociais e ambientais atribuídos às florestas, sendo a fixação do carbono atmosférico o mais recente, pois contribui para a redução de gases do efeito estufa (GEE) e do aquecimento global, através do processo de fotossíntese na absorção do dióxido de carbono (CO₂) pelas árvores. Buscando a redução dos GEE e a absorção do CO₂, as centrais geradoras hidrelétricas (CGHs) e as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) são consideradas, por muitos estudiosos, como uma forma mais limpa de obtenção de energia, ainda que existam algumas discussões sobre os impactos ambientais gerados pelas mesmas. Assim, este estudo visa propor a mitigação da emissão do CO₂, por meio da restauração ecológica, devido à instalação de uma central geradora hidrelétrica, com base na análise do potencial dos remanescentes florestais como sumidouros de carbono. Desta forma, utilizou-se mapas georreferenciados com dados físicos ambientais (hidrologia, classe de solo, uso da terra, drenagem, área de preservação permanente e maciços florestais nativos) que possibilitaram delimitar os remanescentes florestais existentes na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, localizada no município de São Luís do Paraitinga, SP, Brasil. Paralelamente, levantou-se os dados dendrométricos (altura da árvore e diâmetro à altura do peito) de 658 indivíduos arbóreos, distribuídos em 119 espécies de um fragmento florestal de 10.000 m², que foram aplicados em equações alométricas, resultando uma estimativa de 62,25 t C ha⁻¹ fixados pelas árvores e uma emissão de 9.232,92 t CO₂ ha⁻¹ devido à área de floresta inundada (reservatório) com a implantação de uma CGH hipotética na bacia hidrográfica. Esses dados evidenciaram que os componentes arbóreos contribuem para a fixação do carbono e que há necessidade da compensação ambiental, por meio da restauração ecológica, em 323,8 hectares de áreas de preservação permanente localizadas na bacia hidrográfica de contribuição. Considerando que atualmente não existem modelos para se estimar as GEE antes da construção do reservatório e que no Brasil a maior parte da energia elétrica gerada advém de usinas hidrelétricas, esta pesquisa poderá contribuir com o processo de licenciamento ambiental e na tomada de decisão quanto à implantação de centrais hidrelétricas, obtendo parâmetros e formas seguras de compensação ambiental, aos efeitos negativos gerados pelas emissões de GEE, em especial o CO₂.

PALAVRA-CHAVE: Captura de CO₂. Centrais Hidrelétricas. Restauração Ecológica. Compensação Ambiental. Bacias Hidrográficas.

ABSTRACT

There are numerous economic, social and environmental services to forests, among which atmospheric carbon sequestration is the most recent, which contributes to reducing greenhouse gas (GHG) emissions and global warming through photosynthesis, i.e. carbon dioxide (CO₂) absorption by trees. With the aim of reducing greenhouse gas emissions and absorbing CO₂, small hydropower stations (SHS) and small hydropower plants (SHPs) are considered as a cleaner way to generate energy in literature, although there is some discussion regarding their environmental impacts. Thus, the present study aims to mitigate CO₂ emissions from building a hydropower station through ecological restoration based on analyzing the potential of utilizing remnant forests as carbon sinks. Therefore, georeferenced maps have been used with environmental physical data (hydrology, soil type, land use, drainage, permanent preservation areas and native forest) that allowed defining the existing remnant forests along the Chapéu River watershed, which is located in São Luís do Paraitinga, SP, Brazil. In addition, dendrometric data (height and diameter at breast height) has been collected on 658 individual trees classified into 119 species in a forest area of 10,000 m². Data used in an allometric equation resulted in an estimate of 62.25 C ha⁻¹ t sequestered by trees and CO₂ emission of 9232.92 t ha⁻¹ due to the flooded forest area (dam) if a SHS were constructed in the watershed. These data evidenced that trees contribute to carbon sequestration, and that there must be an environmental compensation through ecological restoration of 323.8 hectares of permanent environmental reserve areas located in the contributing watersheds. This research is going to assist in environmental licensing and decision-making processes regarding the implementation of hydropower stations due to obtaining parameters and safe forms of environmental compensation for the negative impacts generated by greenhouse gas emissions, especially CO₂, given that there are currently no GHG estimation models before the dam implementation and most of the electricity supply is generated by hydropower plants in Brazil.

KEYWORD: CO₂ Capture. Hydropower Plants. Restoration Ecological. Environmental Compensation. Watersheds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da pesquisa.....	24
Figura 2 - Cinco países mais ricos em cobertura florestal absoluta no mundo (milhões de ha).....	27
Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por fontes no Brasil.....	33
Figura 4 - Principais vias de GEE, produção, consume e emissões para Atmosfera.....	35
Figura 5 - Ciclo de carbono nos reservatórios de água doce.....	38
Figura 6 - Função da árvore na reconstrução e manutenção do meio abiótico.....	55
Figura 7 - Múltiplas interações em ecossistema florestal quanto ao estoque de carbono (caixas) e o fluxo de materiais e CO ₂ (flechas).....	61
Figura 8 - Localização do município de São Luís do Paraitinga.....	69
Figura 9- Classificação do clima do Estado de São Paulo, em destaque o município de São Luís do Paraitinga.....	70
Figura 10 - Precipitação mensal, no ano de 2016, no município de São Luís do Paraitinga.....	72
Figura 11 - Vegetação dos Municípios do Vale do Paraíba Paulista, em destaque o município de São Luís do Paraitinga.....	74
Figura 12 - Localização da bacia do Rio do Chapéu, São Luís do Paraitinga, São Paulo.....	75
Figura 13 - Dados físico-ambientais resultantes das análises dos bancos de dados de base.....	76
Figura 14 - Classe uso da terra na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu.....	78
Figura 15 - Mapa da área da CGH e da bacia de contribuição da CGH na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu.....	79
Figura 16 - Inserção dos dados na SIGRH para cálculo da vazão (Q).....	80
Figura 17 - Mapa das classes de uso da terra da área inundada pelo reservatório da CGH.....	82
Figura 18 - Fragmento Florestal onde foram demarcadas as parcelas de amostragens arbóreas às margens do Rio do Chapéu.....	83
Figura 19 - Identificação do indivíduo arbóreo e medição do CAP.....	84
Figura 20 - Medição da altura total da árvore.....	84

Figura 21 - Exemplos das espécies arbóreas coletadas nas parcelas: (a) <i>Pouteri psammophila</i> (Mart.) Radlk; (b) <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart. S. Canjerana.....	85
Figura 22 - Fragmentos florestais na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu para implantação de corredores ecológicos.....	91
Figura 23 - Modelo de plantio com os diferentes grupos ecológicos.....	94
Figura 24 - Regeneração natural com presença de plântulas.....	97
Figura 25 - Técnicas de Nucleação: (a) transposição de solo, (b) transposição de galharia, (c) poleiros artificiais; (d) coletor para chuva de sementes; (e) grupos adensados de diversidade.....	100
Figura 26 - Processo de interceptação de uma floresta.....	107
Figura 27 - Mapa bacia de contribuição da CGH hipotética, com o uso da terra nas APPs.....	109
Figura 28 - Mapa da área de restauração para a compensação ambiental das emissões de CO ₂	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Serviços ambientais dos ecossistemas florestais.....	26
Tabela 2 - Fontes de geração de eletricidade dos países que compõem a OCDE.....	32
Tabela 3 - Seleção de estudos sobre emissões de GEE em reservatórios.....	36
Tabela 4 - Fluxo emitido de metano e fluxo de óxido nitroso da perda de floresta.....	39
Tabela 5 - Classificação das PCHs quanto à potência e queda de projeto.....	42
Tabela 6 - Impactos ambientais gerados pelas pequenas centrais hidrelétricas.....	44
Tabela 7 - Impactos e ações de mitigação de uma PCH.....	46
Tabela 8 - Estoque global de carbono na vegetação de diferentes biomas.....	58
Tabela 9 - Equações alométricas para estimativas de biomassa florestal.....	65
Tabela 10 - Temperaturas mínimas, médias e máximas do município de São Luís do Paraitinga, no ano de 2016.....	71
Tabela 11 - Classes de solo da bacia hidrográfica do rio do chapéu.....	77
Tabela 12 - Caracterização da CGH hipotética quanto à área, vazão, altura da queda e potência estimada.....	81
Tabela 13 - Classes de uso da terra e área abrangida pelo reservatório da CGH.....	82
Tabela 14 - Dados estatísticos referente ao coeficiente de regressão e ao erro padrão do modelo estatístico para estimar a biomassa (peso total) da árvore em pé.....	87
Tabela 15 - Medições de DAP, H e os valores calculados para PF, PS e C (kg e t) da espécie <i>Calyptranthes grandifolia</i>	89
Tabela 16 - Espaçamentos utilizados em plantios de espécies nativas.....	93
Tabela 17 - Composição florística da área amostrada na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu e dados do peso fresco (PF), peso seco (PS), carbono (C) e carbono total (CT) por espécie.....	101
Tabela 18 - Fatores, ações e técnicas considerados na restauração ecológica.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/R	Florestamento / Reflorestamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGB	Biomassa Acima do Solo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
AR-AM	Atividades de Florestamento/Reflorestamento
CAD	Computer Aided Design
CDB	Convenção Sobre Diversidade Biológica
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e climáticas Aplicadas a Agricultura
CER	Certified Emission Reduction
CFC	Clorofluorcarbono
CGHS	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CHbd	Cambissolo Húmico Tb distrófico típico
CODIVAP	Consórcio de Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba Paulista
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CXbd	Cambissolo Háplico Tb distrófico típico
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
EMBRAPA	Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESHA	European Small Hydro Power Association
FAO	Organização das Nações Unidas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
GHG	Green House Gas
HOTSPOTS	Região que Concentra o mais alto nível de biodiversidade da Terra
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LP	Licença Prévia

MA	Avaliação Ecológica do Milênio
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MCT	Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OSCIP	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
ONG	Organização Não-Governamental
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIB	Produto Interno Bruto
RADAM	Radar na Amazônia
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
REC	Redução das Emissões Certificadas
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
RIMA	Relatório de Impactos Ambientais
RLd	Neossolo Litólico distrófico típico
RUBd1	Neossolo Flúvico Tb distrófico típico
RUBd2	Neossolo Flúvico Tb distrófico com gleização
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SER	Society for Ecological Restoration
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Est de São Paulo
SMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SPSF	Herbário do Instituto Florestal de São Paulo
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Geográficas
SSRH	Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Paraíba do Sul
UNESCO	Organização das Nações Unidas de Educação Ciência e Cultura
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas
UHE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercator
W	West (Oeste)

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono	[-]
°C	Grau Celsius	[-]
CH ₂ O	Açúcares	[-]
CH ₄	Metano	[-]
CO ₂	Dióxido de carbono	[-]
CAP	Circunferência à altura do peito	[1,3 m do solo]
DAP	Diâmetro à altura do peito	[1,3 m do solo]
E _{fe}	Energia firme estimada	[MW]
Exp	Exponencial	[-]
Fc	Fator de correção	[-]
G	Área basal	[cm ²]
Gt de C	Bilhões de toneladas de carbono	[-]
GWh	Gigawatt-hora	[10 ⁹ wh]
H	Altura total da árvore	[m]
H ₂ O	Água	[-]
ha	hectare	[10.000 m ²]
H _b	Queda bruta	[m]
H _d	Queda do projeto	[m]
H _{liq}	Queda líquida	[m]
km ²	Quilômetro quadrado	[-]
kg	Quilograma	[-]
kv	Quilovolts	[-]
KW	Quilowatts	[-]
log	logaritmo	[-]
m	metros	[-]
mg	miligrama	[-]
MW	Megawatt	[10 ⁶ Watts]
N ₂ O	Óxido nitroso	[-]
O	Oxigênio	[-]
P	Potência Instalada	[MW ou KW]

Pe	Potência instalada estimada	[MW ou KW]
PF	Peso fresco	[kg]
Pg C	Petagrama de Carbono	[1 trilhão de quilograma]
pH	Potencial de hidrogênio da água	[-]
ppb	Parte por bilhão	[-]
ppm	Partes por milhão	[-]
PS	Peso seco	[kg]
Q	Vazão	[m ³ /s]
Qf	Vazão Firme	[m ³ /s]
R ²	Coefficiente de determinação ajustado	[-]
S	Segundos	[-]
S _{yx}	Erro padrão estimado	[-]
t	Tonelada	[1000 kg]
t /ha ⁻¹	Tonelada por hectare/ ano	[1000 kg]
tC	Tonelada de massa de carbono	[-]
tC/ha ⁻¹	Tonelada de massa de carbono por hectare	[-]
tCO ₂	Tonelada de massa de dióxido de carbono	[-]

SÍMBOLOS GREGOS

b_0, b_1, b_2	Coefficientes de Regressão	[-]
$\beta_0, \beta_1, \beta_2$	Parâmetros estimados por regressão	[-]
ε	Erro aleatório do modelo	[-]
π	Pi	[3,14]
Y	Biomassa	[kg]

SUMÁRIO

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO	20
1.1 RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	20
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	23
1.3 ESTRUTURA DA TESE	23
1.4 ETAPAS DA PESQUISA	24
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 AS FLORESTAS E O SEQUESTRO DE CARBONO	25
2.2 OS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS E AS EMISSÕES DE GEE	32
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE PEQUENO PORTE E AS MITIGAÇÕES.....	40
2.4 O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA INSTALAÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE PEQUENO PORTE	47
2.5 A RESTAURAÇÃO FLORESTAL E A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE	49
2.6 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA CÁLCULO DO CARBONO.....	59
CAPÍTULO 3 MATERIAL E MÉTODOS	67
3.1 A ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO	67
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS DO PARAÍTINGA	67
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CHAPÉU.....	74
3.4 DELIMITAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DA CGH NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPÉU	79
3.5 CLASSE DE USO DA TERRA DO RESERVATÓRIO DA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA	81
3.6 PROCESSO DE AMOSTRAGEM DA VEGETAÇÃO	83

3.7 DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO	86
3.7.1 Modelagem utilizada para estimativa da biomassa.....	86
3.7.2 Cálculo da biomassa e carbono	87
3.8 FATORES À CONSIDERAR NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	90
3.9 AÇÕES OPERACIONAIS À CONSIDERAR NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA....	92
3.10 TÉCNICAS PARA AUXILIAR A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	96
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	101
4. 1 SEQUESTRO DE CARBONO FLORESTAL	101
4.2 EMISSÃO DE CO ₂ NA ATMOSFERA DEVIDO À ÁREA INUNDADA.....	105
4.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA PARA A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	106
CAPITULO 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	114
CONCLUSÕES.....	118
REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE	138

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A Terra tem passado por inúmeras variações climáticas ao longo de sua história, porém, segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*) existem evidências científicas de que as mudanças climáticas recentes não são naturais. Estão relacionadas com o aumento da temperatura da Terra, causando o aquecimento global, que por sua vez, é atribuído as atividades antrópicas, devido principalmente, ao consumo de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), assim como pelos desmatamentos e queimadas (IPCC, 2013).

O processo de devastação dos ecossistemas naturais imposto pelas atividades humanas tem causado perdas irreparáveis à biodiversidade, que, conseqüentemente, interfere no equilíbrio terrestre, como as mudanças climáticas e o aquecimento global.

A partir do momento em que o homem passou do nomadismo para o sedentarismo sua relação com o uso da terra tornou-se cada vez mais exploratória, principalmente depois do surgimento da agricultura, em que o meio natural foi gradativamente alterado.

Com a revolução industrial e ao longo dos tempos, o homem vem desenvolvendo tecnologias para produção de materiais, muitas vezes em grande escala e, se apropriando dos recursos ambientais que trouxeram conseqüências drásticas ao meio ambiente, como o aumento das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE, em inglês GHG – *Green House Gas*), entre eles, o dióxido de carbono (CO_2), o gás metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O).

No último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas foi confirmado o aumento das concentrações do CO_2 , chegando a 400 partes por milhão (ppm), no ano de 2013, enquanto na época pré-industrial correspondia a 277 ppm (IPCC, 2013).

O aquecimento global e o efeito estufa são temas muito discutidos na atualidade em decorrência das mudanças climáticas que acarretam sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais decorrentes das emissões dos GEE.

Ao longo dos últimos anos, também vem sendo discutidas formas de compensação das emissões dos GEE e da mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, tais como: o aumento da cobertura florestal (reflorestamento), para fixação do carbono atmosférico, e a geração de energia elétrica, utilizando fontes renováveis.

As florestas acabam sendo parte do problema do aquecimento global, quando são

suprimidas e queimadas, uma vez que emitem os GEE à atmosfera, mas por outro lado são estratégicas quanto à mitigação do CO₂ da atmosfera e do armazenamento de carbono em sua biomassa, principalmente quando crescem.

No Brasil, a geração de energia elétrica é oriunda, em mais de 64%, por energia hidrelétrica, fonte de obtenção de energia considerada mais limpa, uma vez que substitui as fontes de origens fósseis pelas renováveis, no caso a água (EPE, 2016).

Neste sentido, a geração de energia elétrica a partir de centrais hidrelétricas enquadradas como Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) ou Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) adquiriram um papel significativo na matriz energética brasileira, representando assim, uma importante alternativa de caráter renovável.

Porém, os impactos ambientais gerados por essas centrais hidrelétricas de pequeno porte, ainda são muito discutidos, principalmente quanto às emissões dos gases CO₂ e CH₄, que são liberados a partir da decomposição aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica e da alteração do solo, coberto anteriormente por florestas que deram lugar aos reservatórios inundados.

A ausência de quantificação desses GEE e de dados informados na elaboração do EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto ao Meio Ambiente) quanto aos impactos ambientais gerados no processo de implantação das centrais hidrelétricas, muitas vezes projetadas em uma única Bacia Hidrográfica, são fatores apontados como problemas ambientais, passíveis de inviabilizar o empreendimento por não terem as licenças obrigatórias liberadas.

Os projetos de restauração ecológica em florestas tropicais tem se pautado no plantio de espécies vegetais nativas, com o objetivo de favorecer os processos ecológicos e a dinâmica florestal, buscando a reconstituição do ambiente florestal, na tentativa de reparar danos provocados pelo homem nesses ecossistemas e, mais recentemente, para computação de créditos de carbono.

As bacias hidrográficas são utilizadas como unidades de planejamento, conforme preconizado pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Sendo assim, requer em cada vez mais o conhecimento amplo desse espaço, no que se refere aos recursos terrestres, aquáticos e o comportamento dos processos naturais para compatibilizar racionalmente a utilização crescente dos recursos inseridos nas mesmas (TUCCI, 1993).

A existência de uma quantificação prévia dos gases CO₂, que serão liberados na implantação das centrais hidrelétricas, possibilitará reparar de forma segura, os danos futuros,

ao prevê-los na fase anterior ao licenciamento ambiental. Uma vez que as centrais hidrelétricas de pequeno porte são formas rápidas e eficientes de promover a expansão da oferta de energia elétrica demandada no mercado brasileiro.

Por outro lado, as ações de restauração florestal que objetivavam principalmente à proteção dos recursos hídricos e edáficos, são hoje cada vez mais incentivadas como forma de sequestrar o CO₂ atmosférico, por meio da fotossíntese e incorporá-lo a biomassa vegetal durante o crescimento das plantas. Como é o caso dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) referente à compensação de comércio de créditos de carbono entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

As bacias hidrográficas são utilizadas como unidades de planejamento, também, para a restauração, que em muitos casos, possuem objetivos ecológicos (restauração da biodiversidade, conservação da água e do solo), cumprimento de passivos ambientais e da produção de suprimentos de bens e serviços (produtos, fixação de carbono atmosférico).

Apesar do tema mudanças climáticas não ser prioridade nos países em desenvolvimento, devido às necessidades básicas, como: melhoria na saúde, combate à fome, moradia, entre outras, como é o caso do Brasil. Mesmo assim, o país se comprometeu na Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas, em sua 21^a Conferência das Partes (COP21) realizada em Paris, no ano de 2015, em reduzir os GEE a 37% abaixo dos níveis de 2005, até o ano de 2025 e uma redução subsequente de 47% até 2030. Para isso, comprometendo-se com um aumento de 18% na participação da bioenergia sustentável e com a estimada de 45% de energias renováveis na composição de sua matriz energética, até 2030 e, também, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de áreas de florestas.

Nesse contexto, este estudo visa estimar o sequestro de carbono florestal para a restauração ecológica objetivando a compensação das emissões de CO₂ na implantação de uma central geradora hidrelétrica, visto que existem lacunas no processo de licenciamento ambiental quanto aos efeitos de impactos ambientais gerados e quanto às formas de compensar ambientalmente esses efeitos negativos.

Considerando que atualmente não existem modelos para se estimar as GEE antes da construção do reservatório, que no Brasil a maior parte da energia elétrica gerada advém de usinas hidrelétricas e que as ciências naturais (florestais) e humanas (energia elétrica) são tratadas de forma associada nessa pesquisa. Os resultados dessa pesquisa poderão contribuir como subsídios relevantes para a tomada de decisão no planejamento e na gestão da implantação de centrais hidrelétricas, obtendo parâmetros e formas seguras de compensação ambiental, aos efeitos negativos gerados pelas emissões de GEE, em especial o CO₂.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Estimar o sequestro de carbono florestal para a compensação ambiental, por meio da restauração ecológica, devido às emissões de CO₂, decorrentes da instalação de uma CGH hipotética.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a - Aplicar equações alométricas de estimativas de biomassa aérea em espécies florestais nativas existentes na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu;
- b - Quantificar a fixação de carbono atmosférico pelas espécies florestais na área de influência de uma CGH hipotética na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu;
- c - Estimar as emissões de CO₂ devido à área de vegetação recoberta pelo reservatório da CGH hipotética instalada na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu;
- d - Recomendar uma metodologia de restauração ecológica para fixar os GEE gerados pela CGH hipotética;
- e - Subsidiar a previsão e reparação dos danos ambientais na instalação de uma central geradora hidrelétrica, contribuindo para o aperfeiçoamento do licenciamento ambiental e na mitigação dos GEE pela compensação ambiental.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

O trabalho está estruturado em 6 Capítulos apresentados a seguir:

O Capítulo 1 trata da Introdução, onde são apresentados a contextualização do problema, a relevância da pesquisa, os objetivos, estrutura da tese e etapas da metodologia.

No Capítulo 2 é apresentada a Revisão da Literatura acerca dos trabalhos relacionados ao tema da tese.

O Capítulo 3 trata-se de Material e Método sobre a área de estudo, caracterização do município de São Luís do Paraitinga e da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, delimitação, características e classificação da central geradora hidrelétrica, classe de uso da terra abrangida pela CGH, do processo de amostragem da vegetação, da identificação e medição das espécies, e da determinação do estoque de biomassa e carbono.

O Capítulo 4 apresenta os Resultados das estimativas do sequestro de carbono florestal e das emissões de CO₂ e da restauração ecológica na bacia de contribuição da CGH.

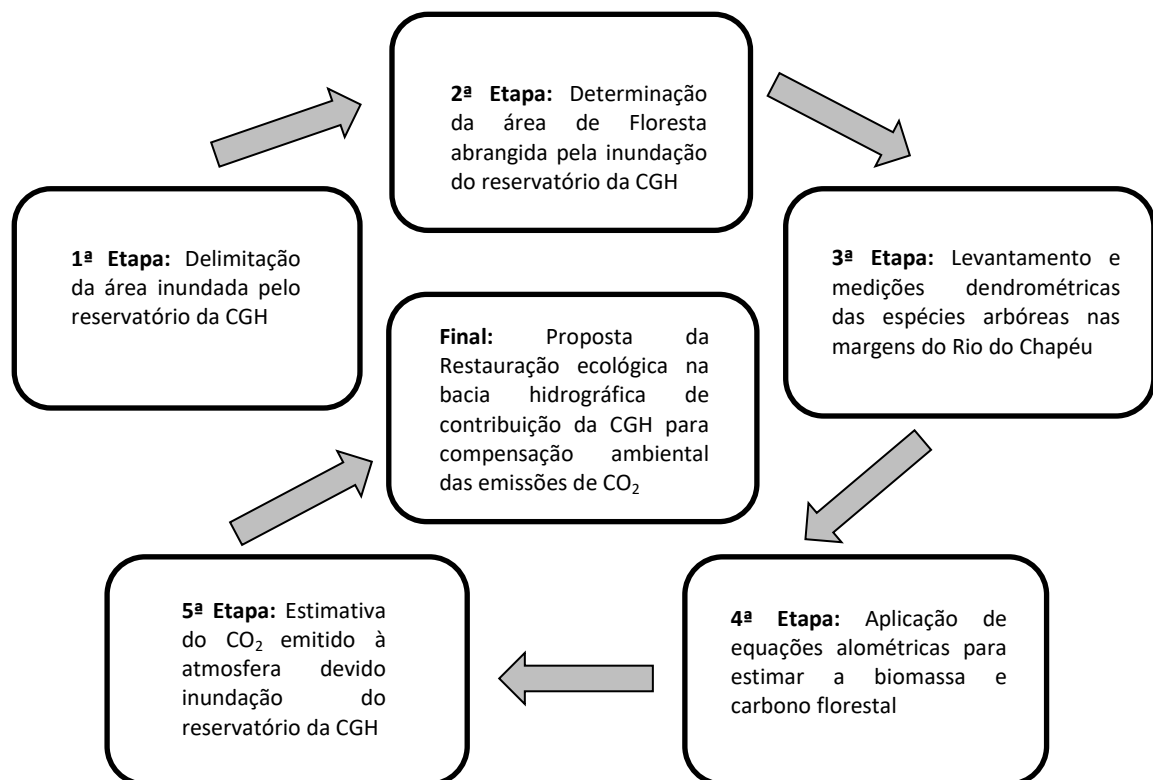
O Capítulo 5 apresentam as Discussões sobre o sequestro de carbono e a restauração ecológica na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu para a compensação das emissões de CO₂.

No Capítulo 6 apresentam-se as Conclusões e a importância desse trabalho para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

1.4 ETAPAS DA PESQUISA

A Figura 1 apresenta as etapas da pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho, objetivando a compensação ambiental por meio da restauração ecológica, devido às emissões de CO₂ à atmosfera, causada pela inundação e/ou supressão das árvores na área do reservatório da CGH.

Figura 1. Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura a respeito das florestas e o sequestro de carbono, dos reservatórios hidrelétricos e as emissões dos gases de efeito estufa, dos impactos ambientais das centrais hidrelétricas e as mitigações, da restauração ecológica e a compensação dos gases de efeito estufa e da determinação da biomassa para cálculo do carbono e do dióxido de carbono emitido à atmosfera.

2.1 AS FLORESTAS E O SEQUESTRO DE CARBONO

As florestas ocupam grandes áreas no planeta e possuem uma importância indiscutível para a sociedade. O homem sempre utilizou os produtos advindos delas, tais como: alimentos, madeiras, medicamentos, móveis, celulose, cosméticos, fibras, corantes, resinas, carvão, entre outros. Porém, sua importância vai além destes produtos, como a regulação do clima, proteção dos ciclos hidrológicos, conservação da biodiversidade, recuperação de áreas degradadas, armazenamento e sequestro de carbono e, redução dos gases de efeito estufa e do aquecimento global. (ENGEL; PARROTTA, 2003; SANQUETA; BALBINOT, 2004; MELO; DURIGAN, 2006; MIRANDA; DIEPERINK; GLASBERGEN, 2006).

Segundo De Groot et al. (2002) as funções associadas aos serviços dos ecossistemas florestais são classificadas em quatro categorias, denominadas: produção (madeira, fibras, resina, mel, plantas, frutos, papel, entre outros), regulação (do clima, do ciclo da água e do solo), suporte (habitat para animais e plantas) e recreação (paisagens, praias fluviais, pesca e caça). Essas funções são resultantes das complexas interações entre os fatores bióticos (seres vivos) e abióticos (componentes físicos e químicos) pelas forças universais da matéria e energia garantindo a sobrevivência das espécies no planeta e tem a capacidade de prover bens e serviços.

Para a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MA em inglês *Millenium Ecosystem Assessment*) os diferentes tipos de serviços ambientais são classificados em: serviço de provisão, serviços reguladores, serviços culturais e serviços de suporte, apresentados na Tabela 1 (MA, 2005).

As florestas tropicais são os ecossistemas terrestres com maior biodiversidade do planeta. Proporcionam enormes benefícios à sociedade, como a disponibilidade de matérias primas que provém das plantas, tais como: madeira, folhas, frutos e sementes para fabricação de medicamentos, cosméticos, alimentos, móveis, para a construção civil, entre outros. Elas

ainda propiciam serviços de polinização, garantem a resiliência de sistemas agrícolas, são as chaves para a bioprospecção de novos medicamentos, auxiliam na formação dos solos e ciclagem de nutrientes, possibilitam a recreação e oferecem benefícios espirituais e culturais, fundamentais à saúde humana (MMA, 2011). Dessa forma, as florestas possuem funções econômicas, ambientais e sociais MURADIAN et al. (2010).

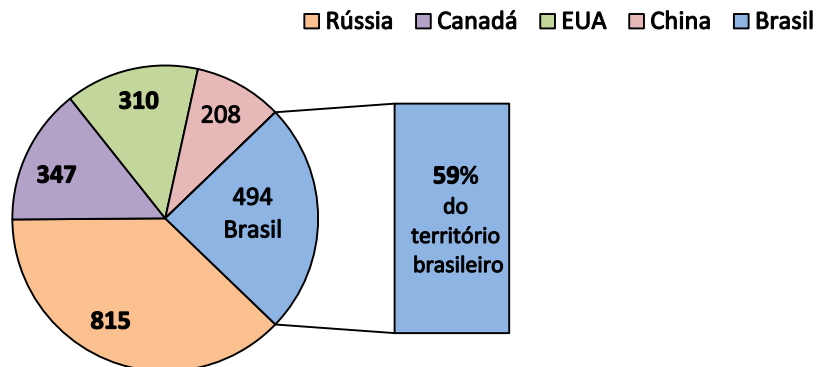
Tabela 1- Serviços ambientais dos ecossistemas florestais

Serviços de Provisão
São aqueles relacionados com a capacidade dos ecossistemas em prover bens: alimentos (frutos, raízes, pescado, caça, mel); matéria-prima para a geração de energia (lenha, carvão, resíduos, óleos); fibras (madeiras, cordas, têxteis); fitofármacos; recursos genéticos e bioquímicos; plantas ornamentais e água.
Serviços Reguladores
São os serviços obtidos a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais e sustentam a vida humana: regulação do clima, purificação do ar, purificação e regulação do ciclo da água, controle de enchentes e de erosão, tratamento de resíduos, desintoxicação e controle de pragas e doenças.
Serviços Culturais
Estão relacionados com a importância dos ecossistemas florestais em oferecer benefícios recreativos, educacionais, estéticos e espirituais: caça, pesca, arborismo, trilhas interpretativas e paisagístico.
Serviços de Suporte
São os processos naturais necessários para que os outros serviços existam: ciclagem de nutrientes, a produção primária, formação de solos, polinização e dispersão de sementes.

Fonte: Adaptado de MMA (2011)

Conforme dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) a cobertura florestal do planeta corresponde a 30% do uso da terra, estimada em aproximadamente 4 bilhões de hectares. Neste cenário, o Brasil ocupa a segunda posição em cobertura florestal absoluta, com aproximadamente 494 milhões de hectares de florestas, correspondendo uma ocupação territorial de 59%, perdendo só para a Rússia com 815 milhões de hectares de florestas, que cobrem 50% da área territorial. O Canadá ocupa a terceira posição com 347 milhões ha (38%), seguido pelos Estados Unidos da América com 310 milhões de ha (34%) e pela China com 208 milhões de ha (22%) (FAO, 2016), conforme representado na Figura 2.

Figura 2 - Cinco países mais ricos em cobertura florestal absoluta no mundo (milhões de ha)



Fonte: Produção do próprio autor, com base em dados de FAO (2016)

No mundo aproximadamente 60 milhões de pessoas, principalmente os indígenas, são quase em sua totalidade dependentes das florestas e, outros 350 milhões, que vivem dentro ou próximo às florestas, dependem delas para sua subsistência e rendimento (DIETERLE, 2010).

Com toda dependência do ser humano e dos benefícios proporcionados pelas florestas, elas estão sujeitas a várias ameaças, como desmatamentos, queimadas e exploração dos produtos florestais (frutos, sementes, madeira, fibra, óleos essenciais, resinas, entre outros).

O Brasil não foge desta realidade, mesmo ocupando a segunda posição em cobertura florestal, não está cuidando bem deste recurso natural, pois suas florestas vêm diminuindo ao longo das últimas décadas, para dar lugar a outros usos do solo. O país perdeu mais de 50 milhões de hectares de florestas entre 1991 e 2008, transformadas em aproximadamente 28 milhões de hectares de área agrícola e 28 milhões para outros usos (MOREIRA, 2011).

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical da América Latina, com uma área original de 1.306.421 km², que se estende do Rio Grande do Sul ao Rio Grande do Norte e ocupa 15% do território brasileiro (IBGE, 2012; SOS MATA ATLÂNTICA, 2014).

Segundo o decreto federal nº 750 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...” (IBGE, 2012).

A Mata Atlântica é considerada um *hotspot*, ou seja, uma região que concentra o mais alto nível de biodiversidade da Terra, porém são as áreas mais ameaçadas do planeta

(MYERS, et al. 2000). É o Bioma brasileiro com menor cobertura florestal, devido ao processo de degradação histórica desde a colonização brasileira, inclui áreas do litoral, onde a floresta é inundada, zonas de baixada e florestas de altitude.

Ditt et al. (2010) afirmam que a Mata Atlântica é um dos conjuntos de ecossistemas mais ricos em biodiversidade, sendo essencial para os serviços ambientais. No estudo da quantificação dos serviços ambientais, desenvolvido por esses autores, em um conjunto de microbacias da região do sistema cantareira, que abastece de água a cidade de São Paulo, dois resultados encontrados se destacaram: o papel das florestas na mitigação climática, através do armazenamento de carbono em biomassa florestal e o papel das florestas para evitar perdas de solo e carregamento de sedimentos para os reservatórios de água. Verificaram que, quando uma área de Mata Atlântica é retirada e convertida em pastagem, ocorrem perdas de armazenamento de carbono, podendo chegar a 113 toneladas por hectare e, as perdas de solo podem chegar a uma média de 194 toneladas por hectare de desmatamentos.

O principal benefício gerado pelas florestas e um dos pontos deste trabalho é a regulação do clima, que acontece por meio de inúmeros processos, entre eles o sequestro de carbono (NINAN; INOUE, 2013), serviço que permite a mitigação das alterações climáticas.

O efeito estufa é um processo natural de aquecimento da Terra e é muito importante para manter a vida no planeta. Cerca de 70% dos raios de sol são absorvidos, deste montante 45% são absorvidos pela superfície da Terra e os 25% pela camada de gases presentes na atmosfera, os chamados gases de efeito estufa (H_2O - água, CO_2 - dióxido de carbono, CH_4 - metano, N_2O - óxido nitroso), que tem a função de absorver parte da energia irradiada e de reter o calor do sol na atmosfera, mantendo a superfície da Terra aquecida, em média $33^{\circ}C$. Na ausência dos GEE, a radiação infravermelha térmica absorvida pela Terra se dissiparia e a superfície do planeta seria mais fria, impossibilitando a sobrevivência dos seres vivos (WALLACE; HOBBS, 2006;).

Os ecossistemas terrestres são componentes importantes dos ciclos biogeoquímicos (ciclo da água, ciclo do carbono, ciclo do nitrogênio e ciclo do oxigênio), que são fontes e sumidouros dos GEE, principalmente de CO_2 , CH_4 e N_2O , bem como, a base do funcionamento dos sistemas naturais do planeta (IPCC, 2000).

O IPCC vem divulgando em seus relatórios de avaliação as concentrações dos Gases de Efeito Estufa (GEE). No quarto relatório, em 2007, indicou que desde a era pré-industrial até o ano de 2005, houve um aumento de dióxido de carbono de 280 ppm (partes por milhão) para 379 ppm; de metano de 715 ppb (partes por bilhão) para 1.774 ppb; e do óxido nitroso de 270 ppb para 319 ppb. O último relatório, em 2013, conclui que é inequívoco o aquecimento global, que a

atmosfera e o oceano se aqueceram, a quantidade de gelo e neve diminuiu, o nível do mar se elevou e as concentrações de GEE aumentaram. Em relação à média global da temperatura da terra e do oceano mostrou um aumento de 0,78°C, entre os períodos de 1850-1900 (0,65 °C) e de 2003-2012 (0,85 °C). As últimas três décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície terrestre, desde 1850, quando os primeiros registros de temperatura foram realizados e tem sido observadas mudanças em muitos eventos extremos de tempo e clima desde 1950 (JURAS, 2013; IPCC 2013).

O aumento das emissões dos GEEs na atmosfera, principalmente do dióxido de carbono, do metano, do óxido nitroso e do clorofluorcarbono (CFC), vem provocando as mudanças climáticas, o aquecimento global e o efeito estufa, sendo as atividades humanas as principais causas apontadas como responsáveis pelas emissões.

O CO₂ é o gás mais emitido para atmosfera e é apontado como o responsável por 80% do aquecimento global, sendo que o desmatamento contribui com 25% dessas emissões. No Brasil, além dos desmatamentos, as emissões estão associadas, também, as queimadas de florestas (MCT, 2014). O Brasil ocupa o quarto lugar no *ranking* das emissões desse gás, ficando atrás somente dos Estados Unidos da América, China e Rússia (MATTHEWS et. al, 2014).

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela Conferência de Quioto, no ano de 1997, com o objetivo de conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera e com a intenção de minimizar os impactos ambientais, referentes às mudanças climáticas quanto ao aquecimento global e a elevação dos gases de efeito estufa.

O sequestro de carbono refere-se à retirada do gás carbono atmosférico e, segundo Renner (2004), pode ser definido como sendo a capacidade fotossintética que os vegetais possuem de fixar o CO₂ da atmosfera, no qual é sintetizado através da luz na forma de carboidratos que são depositados na parede celular do vegetal.

Podendo o sequestro ser realizado de forma direta e indireta, a forma direta depende da ação humana e da tecnológica disponível, realizando a separação e captura do CO₂ gerados em processos industriais, em processos de geração e consumo de energia, sendo transportado e estocado em local que ocorra isolamento do gás, sem contato com a atmosfera por um período de tempo. A forma indireta ocorre por meio do ciclo natural do carbono, sendo o CO₂ absorvido pela fotossíntese e incorporado à biomassa florestal no crescimento do vegetal (OLANDER, 2000; IPPC, 2005).

O carbono constitui tudo que é orgânico e é encontrado na atmosfera na forma de gás, faz parte de todo o processo de respiração dos seres vivos, completando o que se chama de

“Ciclo do Carbono”. Esse ciclo do carbono consiste no intercâmbio entre diferentes depósitos naturais, através dos processos de absorção (oceanos) e assimilação (ecossistema) e de liberação (oceanos) e respiração (ecossistemas), em diferentes escalas temporais (GOMES, 2009).

A Conferência das Partes (COP), órgão supremo decisório no âmbito da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) que conta com a participação de 195 delegações oficiais e representantes de organizações acadêmicas, organizações não governamentais (ONGs), organizações empresariais, lideranças indígenas, imprensa e demais observadores (MMA, 2015), define que os reservatórios de carbono são compreendidos pela biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, serapilheira (camada superficial do solo formada pela deposição e acúmulo de matéria orgânica morta), madeira e carbono orgânico no solo (BALBINOT, 2004).

A biomassa é a matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. A biomassa florestal compreende toda biomassa existente na floresta ou uma parte e, através de sua análise pode-se obter o teor de carbono nos componentes das árvores (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

As plantas sequestram carbono naturalmente ao fixar o CO_2 na forma de tecido lenhoso, por meio do processo de fotossíntese, onde há a síntese de compostos orgânicos (CH_2O - açúcares) a partir de compostos orgânicos simples (CO_2 e H_2O), na presença de luz (energia solar) retiram o dióxido de carbono da atmosfera e usam o carbono (C) para seu desenvolvimento e retornam o oxigênio (O) para a atmosfera, ou seja, as plantas estocam o carbono em forma de biomassa viva constituindo-se como grandes reservatórios desse elemento, sendo a fotossíntese a porta de entrada do carbono atmosférico nos ecossistemas terrestres e aquáticos (CHANG, 2002; DIAS-FILHO, 2006; SILVEIRA et. al, 2008).

Segundo Barbosa (2013) algumas ações contribuem para a redução CO_2 na atmosfera como: a conservação de estoques de carbono nos solos, nas florestas, em outras vegetações, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas, implantação de sistemas agroflorestais e a recuperação de áreas degradadas.

Neste sentido, as florestas são fundamentais para o equilíbrio do armazenamento de gás carbônico, uma vez que diferentes ecossistemas armazenam em sua biomassa florestal diferentes quantidades de carbono (MOGNON et al, 2013), sendo possível, também, avaliar os impactos gerados pela retirada da biomassa vegetal dos ecossistemas florestais (WATZLAWICK; KIRCHNER, 2004).

A utilização das plantas na absorção de CO₂ pelo processo de fotossíntese está contemplada como forma de estabilizar as concentrações dos GEE emitidos na atmosfera pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, sigla em inglês - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) tratado internacional resultante da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no ano de 1992, firmado por quase todos os países do mundo com o objetivo de estabilizar a concentração dos GEE na atmosfera.

O estabelecimento de novas florestas, os reflorestamentos, como sumidouros de carbono e os desflorestamentos (supressão das florestas) devem se computados para o atendimento das metas de redução de cada país desenvolvido (MARTINS, 2004).

Alguns estudos vêm sendo realizados para compreender a dinâmica do carbono sequestrado pelas florestas, tanto nas florestais comerciais (eucalipto e pinus), como nas naturais, porém as estimativas do potencial de carbono sequestrado pelas florestas ainda possuem um grau de incerteza muito alto.

Em estudo realizado por Sousa-Lima et al. (2003), na Floresta Estacional Semidecidual Submontana, em estágio médio a avançado de sucessão de vegetação no estado de Minas Gerais, foi encontrado o valor de 29,76 toneladas de Carbono hectare ano (t C ha⁻¹).

Martins (2004) encontrou o valor de 95 t de C ha⁻¹ em vegetação de recuperação de mata ciliar em São Carlos, SP, enquanto, Velasco e Higuchi (2008) determinaram o carbono sequestrado de um reflorestamento, também, em mata ciliar, no estado de São Paulo, no valor de 145,26 t de C ha⁻¹.

Estudos desenvolvidos em outros ecossistemas, como Cerrado, Floresta Ombrófila e Estacional, plantios agrossilvipastoris, realizados por Scolforo et al. (2008) obtiveram o valor de 31,78 t C ha⁻¹, por Müller et al. (2009) obtiveram o valor de 11,17, Ribeiro et al. (2010) 19,50 t C ha⁻¹ e Souza (2011) o valor de 36,54 t C ha⁻¹.

Os ecossistemas florestais possuem uma biomassa considerável quando comparados com ecossistemas agrícolas, por este motivo, os projetos de recuperação de áreas degradadas com espécies florestais e as plantações de florestas econômicas são importantes quando se pretende sequestrar carbono (CESARINI, 2002).

Os estudos demonstraram que o componente arbóreo é capaz de sequestrar carbono através da sua biomassa. Portanto, o Brasil que possui extensas áreas de florestas, mas também, muitas áreas degradadas e desmatadas, torna-se um potencial para a conservação das florestas e para a restauração florestal, desta forma estariam contribuindo para o sequestro dos CO₂ emitidos pelas atividades humanas.

Sendo assim, as florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, uma vez que armazenam nas árvores e no solo mais carbono do que o existente na atmosfera. Com a supressão das florestas, a maior parte do carbono armazenado em seu tecido será liberada rapidamente para a atmosfera, podendo ser por meio de queimadas ou mais lentamente, por sua decomposição (HOUGHTON, 2004).

2.2 OS RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS E AS EMISSÕES DE GEE

O nível de qualidade de vida e o consumo de energia de uma sociedade são os principais indicadores do desenvolvimento econômico de um país, refletindo o ritmo de atividade dos setores: industrial, comercial e de serviço, quanto à capacidade da população em adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados (automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos) que demandam combustíveis e energia elétrica. Porém, este aquecimento econômico pode trazer aspectos negativos, como o esgotamento dos recursos naturais e impactos ao meio ambiente (ANEEL, 2008a).

Os países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE – organização internacional de 34 países que aceitam os princípios da democracia representativa e da economia de livre mercado) são os maiores consumidores mundiais de energia. Esses países possuem uma matriz elétrica predominantemente de origem não renovável (carvão, óleo, gás natural e nuclear), principalmente em relação aos combustíveis fósseis, correspondendo a 77% da matriz e as de origem renováveis correspondem a 23%, conforme descritas na Tabela 2 (IEA, 2016).

Tabela 2 - Fontes de geração de eletricidade dos países que compõem a OCDE

RENOVÁVEIS	(%)	NÃO RENOVÁVEIS	(%)
HIDRÁULICA	13%	CARVÃO	32%
NÃO HIDRÁULICA (energia geotérmica, solar, eólica, das marés, biocombustível, resíduos e calor)	10%	ÓLEO	3%
		GÁS	24%
		NUCLEAR	18%
TOTAL RENOVÁVEIS	23%	TOTAL NÃO RENOVÁVEIS	77%

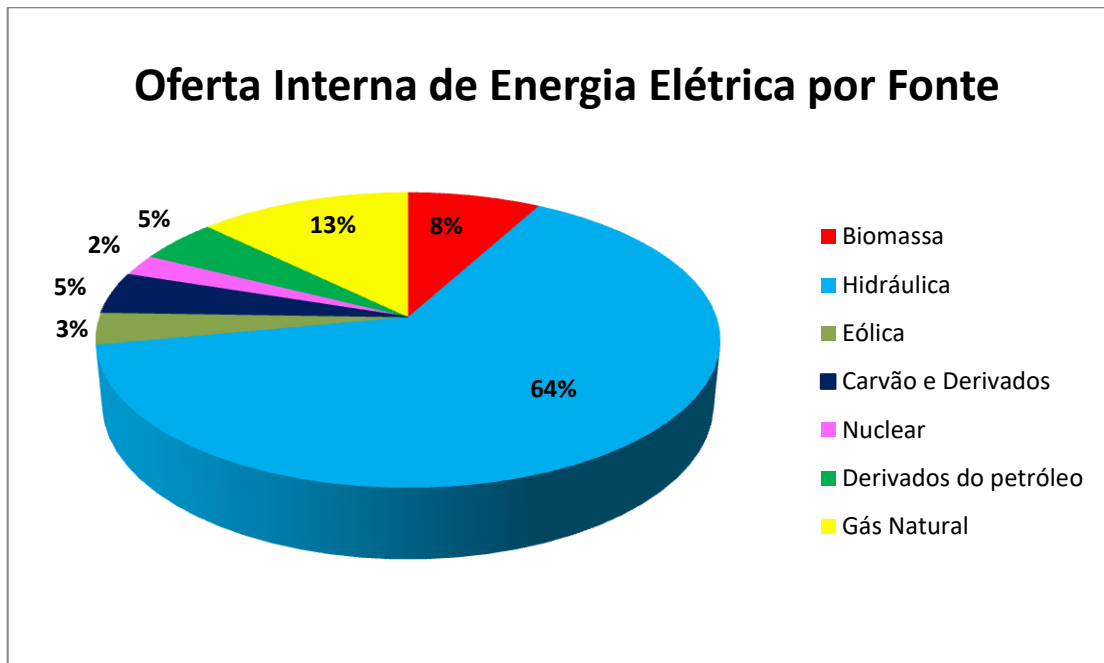
Fonte: Adaptado de IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2016)

A fonte de energia consumida de um país está diretamente relacionada ao acesso aos recursos primários. Na China e na Índia, a fonte de energia mais consumida ainda é o carvão, na Rússia é o gás natural e no Brasil é a produção hidráulica (ANEEL, 2008a).

O Brasil comparado com os países da OCDE apresenta uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, ou seja, de fontes de origem não fósseis (hidráulica, biomassa e eólica), representando aproximadamente 75,5% da oferta interna e as de origens não renováveis (gás natural, derivados de petróleo, nuclear e carvão e derivados) contribuem com aproximadamente 24,5% da oferta interna de eletricidade do país (MME, 2016).

O Balanço Energético Nacional (BEN) divulgou, em seu relatório de 2016, que a maior contribuição é por geração hidráulica, correspondendo a 64% da oferta interna, conforme apresentado na Figura 3 (EPE, 2016).

Figura 3 - Oferta interna de energia elétrica por fontes no Brasil



Fonte: Produção do próprio autor, com base em dados de EPE (2016)

É sabido da importância da disponibilidade dos recursos energéticos para a produção de energia e conseqüentemente para o desenvolvimento das atividades humanas, porém a produção e consumo dessa energia tem sido um dos temas muito discutido nas últimas décadas, devido sua contribuição para o aquecimento global e para as mudanças negativas do clima, uma vez que esta energia tem origem de combustíveis fósseis. Por isso, a sociedade tem como desafio atender a demanda crescente por energia e paralelamente reduzir as emissões dos gases de efeito estufa (WORLD ENERGY COUNCIL, 2007).

As hidrelétricas são empreendimentos que possuem a finalidade de gerar energia elétrica, através do aproveitamento do potencial hidráulico de um recurso hídrico. São

classificadas segundo a potência instalada, que determina se a usina é considerada de grande, médio e pequeno porte.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) adota três classificações: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW) (ANEEL, 2008b).

Para Inatomi e Udaeta (2005) as hidrelétricas são vistas por muitos como uma fonte de “energia limpa”, porém na ótica ambiental não podem ser consideradas como uma solução ecológica, uma vez que interferem drasticamente no meio ambiente, devido à construção das represas. As inundações, em imensas áreas de matas, interferem no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna, e interferem na ocupação humana e fazem com que a vegetação encoberta entre em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa.

O fenômeno Efeito Estufa é o balanço entre a radiação solar incidente (onda curta ultravioleta) e a radiação terrestre (radiação infravermelha). Os oceanos e os solos absorvem parte da energia que chega ao planeta e refletem para o espaço a outra porção (cerca de um terço) que é aprisionada pela presença de GEE que aquece a Terra (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984; UNEP, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2000; GRIMM, 2010; IPCC, 2013).

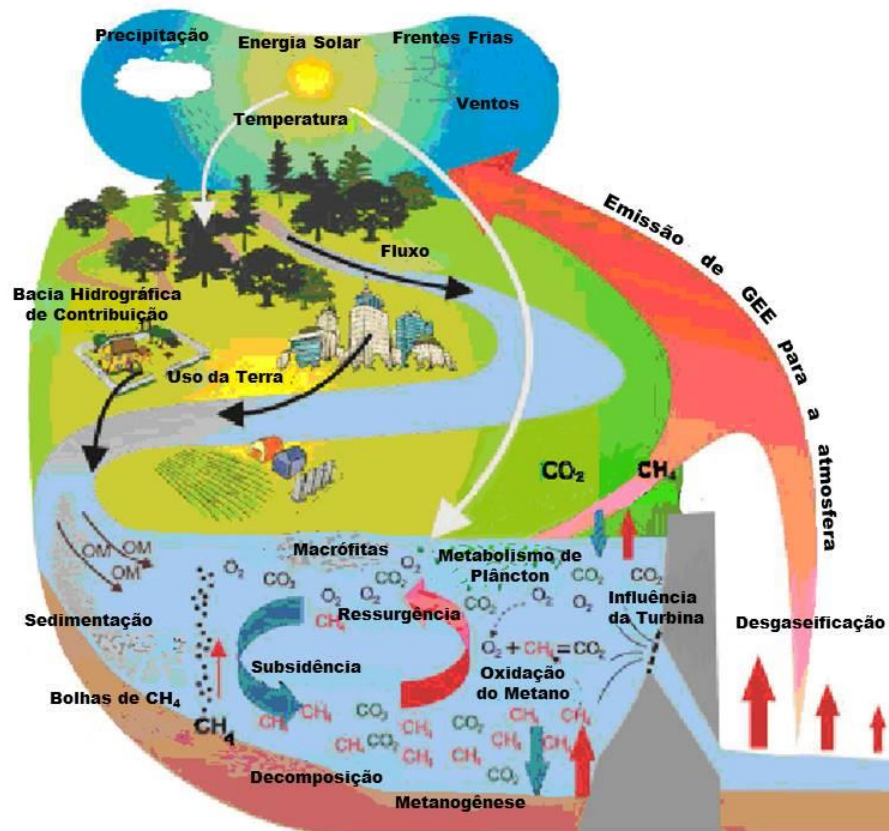
Os principais gases responsáveis pelo Efeito Estufa são: os clorofluorcarbonos (CFCs), o ozônio, o dióxido de carbono, o metano e óxido nitroso, que também, decorrem de algumas atividades humanas potencializando suas concentrações na atmosfera e provocando o aumento da temperatura terrestre, fenômeno denominado aquecimento global (UNEP, 2005; BRAGA et al., 2002).

Os Reservatórios Hidrelétricos, também, emitem GEE que se formam no sedimento dos lagos a partir da decomposição da biomassa formada pelo processo de fotossíntese nas águas do reservatório, da matéria orgânica derivada da bacia de drenagem e da biomassa original inundada (SANTOS et al., 2005).

Em pesquisa realizada por Faria et al. (2015) apontam que os reservatórios construídos segundo o modelo de *fio d'água*, em que a área alagada é menor e não obstrui completamente o fluxo hídrico, têm menor impacto. Porém, destacam que todos os reservatórios do mundo, independentemente de serem associados às usinas hidrelétricas, representam emissões de CO₂ e metano relevantes, sendo assim, as emissões de reservatórios devem ser incluídas no guia de inventário de gases de efeito estufa pelo Painel Internacional em Mudanças Climáticas.

De forma didática, a Figura 4 representa a ocorrência deste processo (MENDONÇA et al., 2012), no qual o metano e o nitrogênio agregam-se em bolhas que crescem até se soltarem do sedimento e migram para a superfície da água. Enquanto que o dióxido de carbono, por ser mais solúvel, fica retido na água e, somente uma pequena fração entra nas bolhas. Parte do metano gerado no sedimento se difunde até a superfície. Porém, em profundidades maiores que 30 metros é emitido por difusão, devido a pressão da coluna d'água impedir a formação de bolhas (SANTOS et al., 2005).

Figura 4 - Principais vias de GEE, produção, consumo e emissões para a atmosfera



Fonte: Adaptado de MENDONÇA et al. (2012)

A concentração de oxigênio aumenta nas camadas superficiais do reservatório, onde as bactérias presentes produzem o dióxido de carbono a partir do metano e do oxigênio. E da mesma maneira que a fotossíntese serve de sumidouro para o dióxido de carbono, estas camadas oxigenadas servem de sumidouro para o metano (SANTOS et al., 2005).

Devido à complexidade do tema e à grande quantidade de variáveis envolvidas que influenciam as emissões de GEE nos reservatórios, os fatores tornam-se complexos. Siqueira

(2015), ao estudar sobre o tema, apresenta alguns fatores que influenciam nas emissões dos reservatórios e aponta algumas conclusões das pesquisas analisadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Seleção de estudos sobre emissões de GEE em reservatórios

Autor/ Ano	Local	Principais Pesquisas/Conclusão
Rudd et al. 1993	Canadá	“Fluxos de GEE vindos de hidrelétricas podem ser significativos comparados à emissão de geração elétrica por combustível fóssil.”
St. Louis et al. 2000	Global: Inclui estudos do Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Brasil, Guiana Francesa e Panamá.	“Superfícies dos reservatórios são fontes de GEE e suas áreas são muito grandes, sendo que estas emissões deveriam ser incluídas no inventário global de emissões antrópicas.”
Fearnside, 2002	Brasil	“Barragens de hidrelétricas em área de floresta tropical produzem níveis substanciais de emissões de GEE, os quais precisam ser considerados para uma balanceada avaliação de opção de energia.”
Rosa et al. 2004	Brasil	“Barragens de hidrelétricas não são culpadas em termo de GEE. Maiores experimentos e monitoramento de longo prazo são requeridos para aumentar a certeza de extrapolações devido a significantes variações espaciais e temporais em registros de níveis de emissão.”
Guérin et al. 2006	Guiana Francesa e Brasil	“Importância das emissões a jusante.”
Santos et al. 2006	Brasil	“Reservatórios hidrelétricos com baixa densidade podem ter níveis de emissões comparados às plantas térmicas”.
Lima et al. 2008	Brasil, Índia e China	“Emissões de metano em reservatórios podem ser significativas e constituem uma potencial fonte de energia.”
Siqueira e Silveira 2010	Brasil	“Emissões de GEE devem ser analisadas incluindo-se o comportamento de um modelo de reservatório com características de figura geométrica trapezoidal, considerando o comportamento da série histórica de vazões e o regime de operação da hidrelétrica.”

Fonte: SIQUEIRA (2015)

Estas emissões, entre outros fatores, variam de acordo com a localização geográfica, o tipo de vegetação do entorno, o tamanho e a profundidade do reservatório, sua temperatura, sazonalidade, profundidade da tomada de água das turbinas e a operação da barragem (SBRISSIA, 2008).

Os estudos realizados sobre as emissões de GEE provenientes de reservatórios no Brasil demonstraram uma necessidade de incluir nas pesquisas futuras o diagnóstico do ciclo de vida do reservatório, considerando as emissões existentes antes da sua formação e incluindo o ciclo

do carbono na bacia hidrográfica, a fim de determinar se sua origem é natural ou antropogênica (SANTOS et al., 2005).

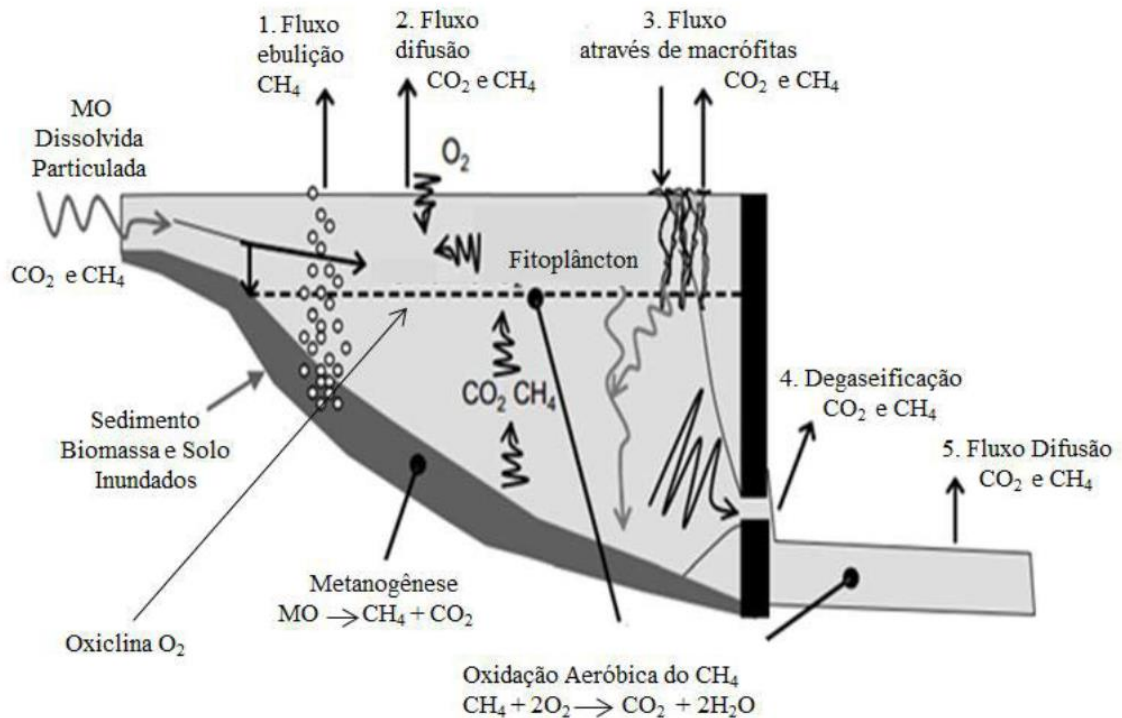
Segundo Santos et al. (2008) o setor elétrico brasileiro requer ainda grande cuidado na escolha dos projetos, devido à grande variação dos valores de emissão dos gases de efeito estufa inter e intra-reservatórios.

Faria et al (2015) sugerem que as emissões de GEE provenientes dos reservatórios hidrelétricos variam significativamente, entre diferentes projetos e ao longo da sua vida útil. Destacam, ainda, que dois fatores contribuem para a redução das emissões globais desses reservatórios: os de alta densidade energética, ou seja, a relação entre a capacidade instalada e a área inundada, e a compensação da vegetação antes da inundação do reservatório. Devendo esta apoiar a redução significativa das emissões de GEE nos projetos, portanto, os plantios devem ser melhorados.

A eficiência das hidrelétricas é variável e está diretamente associada à qualidade da água. Quando um reservatório inunda ambientes naturais como pântano, áreas úmidas ou florestas tropicais emitem CO_2 e CH_4 , gases desfavoráveis para a hidroeletricidade. Ainda que o carbono tenha origem de fontes naturais, no computo final, acabará por tornar-se um gás de maior potencial de aquecimento global (SANTOS et al., 2008).

Na Figura 5 são apresentadas as emissões dos GEE em reservatório de água doce. Emitidos por meio da ebulição, com as emissões de gases por bolhas na coluna d'água (1); da difusão na superfície do reservatório (água - ar) (2); pelas plantas aquáticas macrófitas (3); pelas águas profundas liberadas para jusante (4) e por difusão a jusante (5). Também, pela oxidação aeróbica, que ocorre nas regiões próximas à linha limite superior do oxiclina (região onde a concentração de oxigênio decresce bruscamente conforme a profundidade) e na superfície da bacia hidráulica a jusante do reservatório, e a metanogênese, através da decomposição de compostos orgânicos pelas bactérias anaeróbicas, resultando em metano e dióxido de carbono (SIQUEIRA, 2015).

Figura 5 - Ciclo de carbono no reservatório de água doce



Fonte: UNESCO (2008)

Segundo a ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA e CULTURA (UNESCO, em inglês *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) para se quantificar a troca de GEE causado por um reservatório se faz necessário estudar as emissões antes e após a construção do reservatório, pois a diferença entre as emissões de pré e pós-reservatório de toda bacia hidrográfica indicará os GEE do reservatório (UNESCO, 2008).

Fearnside (2008) elaborou uma pesquisa, na qual atribuiu as hidrelétricas à qualidade de “fábricas de metano”. Afirmou que as vegetações herbáceas ao se decomporem, no fundo do reservatório, representam uma fonte permanente de GEE, principalmente na produção de metano, que são liberados à atmosfera quando as águas são puxadas pelas turbinas das hidrelétricas. O autor apresenta, ainda, um estudo profundo sobre as emissões de GEE, destacando as fontes de carbono, os caminhos de liberação de GEE e as emissões de ecossistemas pré-represa. Os parâmetros de metano são analisados em floresta não inundada (em terra firme), concluindo que estes cálculos demonstram que as Hidrelétricas funcionam como “fábricas de metano” ao indicarem liberações significativas de GEE. As informações poderão ser aplicadas em outras áreas tropicais, os dados estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fluxo emitido de metano e fluxo de óxido nitroso da perda de floresta

Item	Valor	Unidades	Fonte
FLUXO DO SOLO EM FLORESTA NÃO INUNDADA			
Absorção anual média de CH ₄	-3,8	kg CH ₄ /ha/ano	Potter <i>et al.</i> (1996) de 22 estudos
Emissão anual média de N ₂ O	8,7	kg N ₂ O/ha/ano	Verchot <i>et al.</i> 1999
Fração do ano que a floresta ripária é inundada naturalmente	0,17	Fração	Presumido ser 2 meses, em média
Absorção por ha por ano em floresta ripária	-3,17	kg CH ₄ /ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
Emissão por ha por ano em floresta inundada	7,23	kg N ₂ O/ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
EMISSÃO ATRAVÉS DE TÉRMITAS DE FLORESTA			
Emissão/ha/ano	0,5	kg CH ₄ /ha/ano	Feamside 1996
EMISSÕES DE INUNDAÇÃO NATURAL DE FLORESTA INUNDADA PRÉ-REPRESA			
Emissão de metano de floresta inundada durante inundação natural	103,8	mg CH ₄ /m ² /dia	Media de cinco estudos em floresta de várzea de água barrenta (Wassmann & Martius 1997)
Emissão de N ₂ O quando inundada	7,6	kg N ₂ O/km ² /dia	7,6mg N ₂ O/m ² /dia (médias dos reservatórios de Tucuruí e Samuel: de Lima <i>et al.</i> 2002)
Dias inundados por ano	59,4	dias	Presunção (representa a situação de Babaquara: Fearnside 2005c)
Emissão anual por km ²	6,2	Mg CH ₄ /ano/km ²	Calculado a partir de informações acima
EMISSÕES DE EVENTOS PERIÓDICOS DE FORMAÇÃO DE POÇAS EM FLORESTA DE TERRA FIRME			
Formação de poças em florestas de terra firme-porcentagem inundada	5	% da área que inunda por evento	Baseado em Mori & Becker 1991
Frequência de eventos de formação de poças	5	anos entre eventos	Presunção
Duração de cada evento de formação de poças	30	dias	Presunção
Emissão de CH ₄ quando inundado ou com formação de poças	103,8	mg CH ₄ /m ² /dia.	Presumido ser o mesmo que em floresta de várzea (como acima)
Emissão de N ₂ O quando inundado	7,6	kg N ₂ O/km ² /dia	Presumido ser o mesmo que em reservatórios (como acima)

Fonte: FEARNSIDE (2008)

Entretanto, estudos realizados por Faria et. al (2015) apontam que os impactos gerados em reservatórios hidrelétricos, referente à estimativa das emissões de GEE, nas regiões tropicais, não necessariamente são mais poluentes do que nas regiões temperadas. Além da quantidade de biomassa submersa e à alta temperatura, em que essas vegetações se decompõem, outros critérios foram analisados nessa pesquisa, tais como o nível de eutrofização da água. Verificaram que em área de clima temperado, como nos EUA e Canadá, as emissões dos GEE, nesses reservatórios, são em maiores quantidades, proporcionadas pelo uso de solo aos arredores dos reservatórios, causando aumento na entrada de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo na água, tornando as áreas mais eutrofizadas pela produção de metano.

Segundo Leite (2005), os impactos gerados na implantação de hidrelétricas, vão além das emissões do GEE, tais como:

- Na hidrologia: mudança do rio para represa altera o fluxo de corrente do rio, da vazão, ocasiona o alargamento do leito, o aumento da profundidade, a elevação do nível do lençol freático, mudança de lótico para lântico (águas com pouca movimentação), surgimento de pântanos.
- No clima: altera a temperatura, a umidade relativa, a evaporação (aumento em regiões mais secas), precipitação e ventos (formação de rampa extensa);
- No solo: provoca a erosão, a perda de solo, o assoreamento que diminui a vida útil do reservatório;
- Na fauna: provoca a perda da biodiversidade, implicando no resgate e realocação de animais, somente animais de grande porte conseguem ser salvos, aves e invertebrados dificilmente são incluídos nos resgates, provoca migração de peixes e compromete os locais de desova de peixes;
- Na flora: provoca a perda de biodiversidade; perda de volume útil, com a inundação eleva concentração de matéria orgânica e conseqüente diminuição do oxigênio, produz gás sulfídrico e metano, provocando odores e elevação de carbono na atmosfera e provoca a eutrofização (acúmulo de matéria orgânica) das águas;
- Na sismologia: pode causar pequenos tremores de terra, com a acomodação de placas;
- Socioeconômicos e culturais: desapropriação, deslocação de famílias, perda da cultura, costumes e folclore e fixação das pessoas envolvidas na construção da hidrelétrica.

Neste contexto, os impactos gerados pela biomassa inundada, principalmente de caráter florestal, ou pela supressão da vegetação, na área de inundação dos reservatórios, fazem com que as oportunidades de capturar o valor dos serviços ambientais da floresta sejam perdidas, em longo prazo. Muitas vezes, os estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA-RIMA) não refletem a realidade dos impactos gerados. Assunto que será tratado a seguir.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE PEQUENO PORTE E AS MITIGAÇÕES

A Agência Nacional de Energia Elétrica por meio da Resolução ANEEL nº 652 de 09 de dezembro de 2003 estabeleceu os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH), como: usina com potência

superior a 1.000 kW (Quilowatts) e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área do reservatório inferior a 3,0 km (ANEEL, 2003).

As usinas são classificadas como sendo de grande, médio ou pequeno porte conforme a potência instalada. A ANEEL adota três classificações: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com até 1 MW (Megawatt) de potência instalada; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), com mais de 30 MW.

Porém, a ANEEL, em sua lei mais recente, Lei nº 13.097, de 19 de janeiro de 2015, estabeleceu como PCH aquela que possui capacidade instalada maior que 3 MW e menor que 30 MW e para as CGHs aquelas que possuem capacidade instalada menor que 3 MW (MME, 2015).

A empresa ELETROBRAS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A) classificou as PCHs quanto à capacidade de regularização, quanto ao sistema de adução, quanto à potência instalada e a queda de projeto, conforme abaixo:

- Tipos de PCHs quanto à capacidade de regularização do seu reservatório são classificadas:
 - a) **a Fio d'Água:** Tipo de PCH quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária ao dimensionamento da potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista. Despreza-se o volume do reservatório criado pela barragem, sendo que o sistema de adução deverá ser projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água.
 - b) **de acumulação, com regularização diária do reservatório:** Tipo de PCH empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária ao dimensionamento da potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto. O reservatório fornecerá o adicional necessário de vazão regularizada.
 - c) **de acumulação, com regularização mensal do reservatório:** Quando o projeto de uma PCH considera dados de vazões médias mensais no seu dimensionamento energético, analisando as vazões de estiagem médias mensais, pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias, promovida pelo reservatório.

- Tipos de PCHs quanto ao sistema de adução:

a) adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;

b) adução em baixa pressão por meio de tubulação / alta pressão em conduto forçado.

Tipos de PCHs quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto (consideram-se os dois parâmetros conjuntamente, quando um ou outro parâmetro isoladamente não permite uma classificação adequada), apresentados na Tabela 5 (ELETROBRAS, 2000).

Tabela 5 - Classificação das PCHs quanto à potência e queda de projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA – P (kW)	QUEDA DE PROJETO – Hd (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Micro	$P < 100$	Hd < 15	15 < Hd < 50	Hd > 50
Mini	$100 < P < 1.000$	Hd < 20	20 < Hd < 100	Hd > 100
Pequenas	$1.000 < P < 30.000$	Hd < 25	25 < Hd < 130	Hd > 130

Fonte: ELETROBRAS (2000)

Apesar da geração de energia por hidrelétrica ser considerada renovável e limpa, a instalação de uma CGH ou PCH, mesmo sendo de pequeno porte, não havendo um plano de controle ambiental adequado que determine medidas preventivas, mitigadoras ou compensatórias dos impactos ambientais negativos, poderá afetar o curso d'água natural permanente. Uma vez que, o maior número de impactos negativos ocorre na fase de instalação, onde é alterada a paisagem natural, devido à supressão da vegetação, a terraplenagem e pelo enchimento do reservatório (COELHO; PEREIRA, 2011).

Apesar da denominação “Pequena Central Hidrelétrica”, uma PCH abrange extensas áreas de inundação onde é grande a possibilidade de vir a tornar-se uma área de risco ambiental. Para evitar equívocos com conceituações semelhantes, nas áreas de risco ambiental, o bem tutelado é o meio ambiente natural, a saúde humana ou outro bem que esteja relacionado aos agentes deflagradores do dano, que são as atividades (antrópicas) potencialmente impactantes (SANTOS, 2013).

Devido sua complexidade este tipo de empreendimento requer a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), realizado pelo empreendedor e do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), cujo caráter técnico-científico e multidisciplinar é capaz de mensurar, definir, monitorar, mitigar e corrigir possíveis causas e efeitos dos impactos

ambientais gerados pelas centrais hidrelétricas, uma vez que podem afetar permanentemente os meios bióticos e abióticos (BARBOSA, 2006; NILTON, 2009).

No Brasil, a Resolução n.º 01/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), conceituou o impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam a sociedade regional” (BRASIL, 1989).

A instalação de PCH ou de CGH demanda que se faça um estudo dos possíveis impactos ambientais que viabilize a adoção de medidas preventivas, mitigatórias e/ou compensatórias dos impactos ambientais negativos. O progresso de um país depende consideravelmente da energia elétrica, todavia é impossível produzir energia em grande escala sem a ocorrência de impactos ambientais (NILTON, 2009).

Segundo Pimenta et al. (2009) para a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas são necessários vários estudos econômicos, técnicos e socioambientais, de maneira que o meio ambiente seja caracterizado de forma eficiente. Diante da simplicidade da PCH foi estabelecida a Resolução CONAMA n.º 279/2001, que define o Relatório Ambiental Simplificado (RAS) para a implantação dessas centrais, ao invés do EIA/RIMA, que é um estudo ambiental mais complexo e de longo prazo.

Filho e Neder (2012) afirmam que os aproveitamentos hidrelétricos superiores a 30 MW ou nas PCHs e CGHs, por menores que sejam causam alterações das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, gerando impactos ambientais. Devendo ser levado em consideração pelo órgão licenciador, a magnitude e a significância destes impactos.

Faria (2011) afirma que a utilização constante dos recursos naturais para o crescimento e desenvolvimento está afetando os ecossistemas terrestres. A capacidade do meio ambiente está comprometida, ou seja, os ecossistemas estão perdendo sua capacidade de resiliência, devido à natureza não estar absorvendo a poluição, a degradação da água, do solo e do ar.

Filho e Neder (2012) apontam três fases do empreendimento em que são gerados os impactos ambientais pelas PCHs: planejamento, construção e enchimento do reservatório - operação, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Impactos ambientais gerados pelas pequenas centrais hidrelétricas

Fases do Empreendimento	Impactos Gerados
1. Planejamento da PCH	Reação ao empreendimento pela geração de expectativas Início ou aceleração de processos erosivos Alteração da qualidade da água Alteração da qualidade do ar Alteração da qualidade da biota aquática Alteração da qualidade da biota terrestre Geração de empregos
2. Construção da PCH	Pressão sobre o tráfego rodoviário Pressão sobre a infraestrutura rodoviária Geração de tributos e incremento da economia municipal estadual e nacional Interferências com lazer Incremento das atividades de comércio e serviços Interferências sobre o patrimônio histórico e arqueológico Interferências com os usos da água
3. Enchimento do reservatório - operação da PCH	Instabilidade nas encostas devido à ação de ondas Alteração na dinâmica hidrossedimentológica Elevação do nível do lençol freático Alteração da qualidade da água Alteração da qualidade da biota aquática Aumento da oferta de energia elétrica à região e no país Introdução de fatores de risco à saúde

Fonte: FILHO; NEDER (2012)

Estudos realizados pela *European Small Hydropower Association* (ESHA) demonstraram que a geração de energia por meio das centrais hidrelétricas de pequeno porte (PCHs e CGHs) é renovável e limpa. Em nível global, não deixa dúvidas sobre os benefícios ambientais, tais como: mitigação de mudança de clima; um GWh (Gigawatt-hora) provê eletricidade para aproximadamente 220 casas europeias, que evitam as emissões de cerca de 480 toneladas de CO₂; redução na emissão de substâncias à atmosfera; risco reduzido de inundação devido ao tamanho dos reservatórios; não inutiliza grandes terras produtivas; multiuso da água do reservatório; comparado as grandes usinas que afeta a ictiofauna (espécies de peixe de uma região) de maneira reduzida e um número reduzido da população é afetada. Porém, são inúmeras as barreiras impostas pela União Europeia quanto à ocupação de terras e águas de um rio, sendo necessário investimento em programas para prevenir os efeitos adversos e comprovar que não haverá impacto a calhas do rio, fauna e flora (FILHO; NEDER, 2012).

Os impactos ambientais gerados pelas hidrelétricas de pequeno porte (PCH e CGH) ainda são muito discutidos, principalmente quando a emissões dos gases CO₂ e CH₄, que são liberados a partir da decomposição aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica e do solo alterado, que anteriormente era recoberto por florestas e que deu lugar aos reservatórios inundados (FEARNSIDE, 2015).

Com o desmatamento perdem-se oportunidades significativas de uso, comparadas às oportunidades de quando se mantém a floresta de pé, tais como: capturar o valor dos serviços ambientais da floresta (biodiversidade, ciclagem de água e armazenamento de carbono) e de usá-la de forma sustentável, com a produção de mercadorias tradicionais, o manejo florestal de madeira ou extração de produtos não madeireiros (FEARNSIDE, 2006).

As estimativas demonstram que as alterações do uso da terra e os desmatamentos emitem dióxido de carbono duas a três vezes mais do que a queima de combustíveis fósseis e, contribui com 20% no aumento da concentração do CO₂ atmosférico (LUGO; BROWN, 1992; VIEIRA et al., 2008).

Faria et al. (2015) sugerem que as emissões de GEE provenientes dos reservatórios hidrelétricos variam significativamente entre os diferentes projetos, derrubando a crença de que necessariamente as hidrelétricas geram energia limpa, muitas vezes, geram emissões comparáveis com as usinas de gás natural. Porém, a pesquisa demonstrou que a hidrelétrica com reservatórios que inundam grandes áreas tendem a gerar mais emissões que os a fio d'água, ou seja, com reservatórios menores, no caso as CGH e PCH, que aproveitam a velocidade natural do rio para gerar energia.

Para Leão (2008) a energia hidráulica é um contraponto de expectativas, porque por um lado causa impactos socioambientais, mas por outro é uma fonte energética renovável que auxilia a mitigação dos GEE.

Determinados impactos são irreversíveis, por sua vez, alguns a própria natureza e o homem com ações positivas se encarregam de restaurar. Sendo assim, o razoável é viabilizar projetos que produzam energia para o desenvolvimento econômico, com ampliação da oferta de empregos e melhoria da qualidade de vida da população, com o mínimo de impactos socioambientais.

A Tabela 7 apresenta uma relação dos impactos positivos e negativos sociais, bióticos e abióticos e algumas ações de mitigação recomendadas.

Tabela 7 - Impactos e ações de mitigação de uma PCH

Sociais Positivos	Sociais Negativos	Negativos bióticos	Negativos abióticos	Mitigação
Geração de hidroeletricidade	Perda dos serviços ambientais da floresta em pé	Supressão da vegetação Nativa	Afeta os recursos naturais permanentemente	Resgate e transplante de mudas de árvores
Fonte de energia renovável e “limpa” (ainda em discussão)	Perda do manejo florestal de madeira ou extração de produtos não madeireiros	Alteração do habitat natural de muitas espécies de animais/ enchimento do lago	Modificações da paisagem natural Movimentação de terras (escavações e terraplenagens)	Resgate da fauna na área afetada
Movimento da economia local		Vulnerabilidade da fauna para ações antrópicas/caça	Barreira física permanente no recurso hídrico	Criação de Áreas de Proteção Permanente
Geração de empregos		Perturbação das espécies pela emissão de ruídos da obra.	Alteração no regime hídrico (desvio do leito natural do rio)	Monitoramento da qualidade da água e dos peixes
Aquisição de bens e materiais		Mortandade de peixes	Alteração permanente e irreversível do relevo natural	Plano de educação ambiental
Aumento da arrecadação fiscal			Erosão do solo e assoreamento dos rios	Recuperação das áreas degradadas
Melhoria na infraestrutura local			Poluição sonora	Plantio de mudas de árvores nativas
Incrementação do banco de dados local			Emissões dos gases CO ₂ e CH ₄ Aumento de materiais orgânicos e nutrientes Redução do oxigênio dissolvido no reservatório Sólidos em suspensão no ar Alteração do comportamento de oxigênio dissolvido	

Fonte: FEARNSIDE (2015)

Neste sentido, as hidrelétricas de pequeno porte (PCH e CGH) têm sido consideradas, em todo mundo, como uma solução para o impasse da energia hidráulica como preceitos da sustentabilidade e do desenvolvimento socioeconômico.

2.4 O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA INSTALAÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE PEQUENO PORTE

O licenciamento ambiental é um instrumento de controle ambiental na esfera federal, estadual e municipal, por meio da regulamentação federal e estadual, sobretudo a Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, e as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA): Resolução CONAMA Nº01 de 23 de janeiro de 1986 e Resolução CONAMA Nº237 de 19 de dezembro de 1997, além da Resolução SMA nº42 de 29 de dezembro de 1994, estabelecida pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente, em sua Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, determinou, em seu artigo 2º, que dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

VI - Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230 KW;

VII - Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10 MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para a vegetação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques...

XI - Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10 MW (CONAMA, 1986).

Posteriormente, na Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997, determinou-se que dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis, a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental:

§ 1º Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no anexo 1 (obras civis: rodovias, ferrovias, hidrovias, metropolitanos; barragens e diques; canais para drenagem; retificação de curso de água; abertura de barras, embocaduras e canais; transposição de bacias hidrográficas e outras obras de arte).

§ 2º Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do anexo 1, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade (CONAMA, 1997).

A Resolução ANEEL N.º 395 de 04 de dezembro de 1998 estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétrica, assim como da autorização para exploração de centrais hidrelétricas até 30 MW, em seu artigo 22 determina que os aproveitamentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 KW deverão ser comunicados à ANEEL e que a comunicação **não exige o interessado** das responsabilidades quanto aos aspectos ambientais e de recursos hídricos (ANEEL, 1998).

Existem procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 279 de 27 de junho de 2001, conforme:

Artigo 1º - Os procedimentos e prazos estabelecidos nesta Resolução aplicam-se, em qualquer nível de competência, ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, incluídos:

- I - Usinas hidrelétricas e sistemas associados;
- II - Usinas termelétricas e sistemas associados;
- III - Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações);
- IV - Usinas Eólicas e outras fontes alternativas de energia.

Parágrafo único. Para fins de aplicação desta Resolução, os sistemas associados serão analisados conjuntamente aos empreendimentos principais (CONAMA, 2001).

No Estado de São Paulo, o licenciamento ambiental para centrais hidrelétricas de pequeno porte (PCH e CGH), foi estabelecido pela Secretaria de Meio Ambiente (SMA), através da Resolução nº 42 de 29 de dezembro de 1994, que deve ser desenvolvido um documento técnico e metodológico de avaliação de impacto ambiental, de forma simplificada. Para requerer a Licença Prévia (LP), o empreendedor, deverá elaborar um Relatório Ambiental Preliminar (RAP), sendo um documento técnico, contendo os estudos que avaliam, preliminarmente, os possíveis impactos, e se estes forem considerados efetivos e potencialmente degradantes deverá ser elaborado o EIA/RIMA e de acordo com a regulamentação vigente, serão garantidas audiências públicas, quando couber (SMA, 1994).

Segundo Borges e Meira (2009) o RAP apesar de ser um documento técnico, não aponta todos os impactos ambientais e sociais adequadamente, na maioria dos casos, favorecendo riscos ambientais para o curso d'água e até mesmo para a bacia hidrográfica.

Cabe ressaltar que a dispensa de concessão, permissão ou autorização está relacionada com a exploração de serviços, instalações de energia elétrica e de aproveitamento energético dos cursos de água, no caso das centrais hidrelétricas de pequeno porte (CGH e PCH), incluindo os trâmites da Agência Reguladora (ANEEL) e **não** com os procedimentos para obtenção das Licenças e/ou Autorizações Ambientais, portanto as licenças e as autorizações não são dispensadas (DOB, 2013).

Para Fearnside (2015) a ausência de quantificação destes GEE e de dados informados na elaboração do EIA-RIMA ou RAP (Relatório Ambiental Preliminar), quanto aos impactos ambientais gerados no processo de licenciamento ambiental das centrais hidrelétricas, muitas vezes projetadas em uma única Bacia Hidrográfica, são considerados problemas ambientais que podem inviabilizar o empreendimento por não ter as licenças obrigatórias liberadas.

2.5 A RESTAURAÇÃO FLORESTAL E A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE

A Mata Atlântica é um dos maiores biomas brasileiros e detém uma elevada biodiversidade, sendo considerado um dos mais importantes do mundo, porém é um dos mais ameaçados do planeta. Seu processo de destruição está intimamente relacionado com a história do Brasil, devido ao processo de exploração de seus recursos naturais, com os ciclos de uso da terra e, também, devido ao crescimento populacional desordenado, tornando a Mata Atlântica totalmente fragmentada (MYERS et. al., 2000; BARBOSA, 2006; DEAN, 1996).

A conservação e a recuperação da Mata Atlântica tornaram-se um grande desafio e algumas iniciativas estão sendo tomadas, por vários órgãos ambientais e especialistas, que visam à restauração deste bioma (RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

A reparação dos danos causados pelo homem aos ecossistemas passou a fazer parte das metas estabelecidas por ele, com isso buscou-se entender a dinâmica dos processos naturais, a partir dos estudos da ecologia da restauração, e assim, o termo restauração foi difundido.

A SER - *Society for Ecological Restoration International* definiu a restauração ecológica como sendo um conjunto de práticas que objetivam iniciar ou acelerar a recuperação da saúde, integridade e sustentabilidade de um ecossistema degradado, danificado ou destruído, seja por ações diretas ou indiretas das atividades humanas (SER, 2004).

As florestas de restauração estão associadas aos serviços ambientais, entre eles, a proteção e recuperação da biodiversidade, por meio da melhoria das características da paisagem e do restabelecimento dos processos ecológicos, a proteção do solo e da água, e a fixação do carbono atmosférico, que contribui para a redução dos gases do efeito estufa e do aquecimento global (ENGEL; PARROTTA, 2003; SANQUETA; BALBINOT, 2004).

A restauração ecológica pode ser definida como: “atividade que busca a reconstrução de um ecossistema que venha a se assemelhar, em longo prazo, com a vegetação pré-existente, portanto, nos trópicos é capaz de abrigar uma alta taxa de biodiversidade” (GANDOLFI, 2015).

A restauração ecológica no Brasil se iniciou no século XIX, com a implantação da Floresta Nacional da Tijuca, no município do Rio de Janeiro devido à necessidade de abastecimento de água para a população do município e proteger as nascentes, pois as matas estavam extinguindo pela devastação de terras em consequência do extrativismo e plantações do café. (KAGEYAMA; CASTRO, 1989; CÉZAR; OLIVEIRA, 1992; FREITAS et al., 2006).

Porém, somente a partir dos anos de 1980, a restauração ecológica passou a ser difundida e caracterizada como a ciência que estuda a restauração dos ecossistemas degradados, gerando conceitos, metodologias, modelos, políticas e ferramentas que proporcionam avanços práticos (PALMER et al., 2006).

A recuperação de áreas degradadas está ligada a ciência da restauração ecológica e é definida, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como: “conjunto de procedimentos através dos quais é feita a recomposição da área degradada para estabelecimento da função original do ecossistema” (ABNT, 1999).

A Lei nº 9.985, de 18 de junho de 2000 (SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), em seu art. 2º, distingue, para seus fins, um ecossistema “recuperado” de um “restaurado” da seguinte forma: “recuperação - restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente da condição original” e “restauração – restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível de sua condição original” (BRASIL, 2000).

A recuperação de áreas degradadas é um processo de reversão do ecossistema, baseado no uso da terra, que pode chegar a um nível de recuperação dos processos biológicos, denominando-se reabilitação, ou mesmo aproximar-se da estrutura original do ecossistema denominando-se restauração (CUNHA et al., 2003).

Engel e Parrota (2003) afirmam que a restauração ecológica de um ecossistema é o retorno da área degradada ou perturbada a uma condição próxima da original, que dependem de uma série de atividades que possibilitem o ecossistema a retornar a uma condição de sustentabilidade. Está associada à implantação de uma metodologia voltada para a recomposição de cobertura arbórea que garanta a harmonia da paisagem e minimize o distúrbio.

Os distúrbios dos ecossistemas florestais podem ser classificados em níveis, considerados com pouco ou extremos distúrbios; por causas naturais (incêndios, tempestades, inundações, etc.) ou antrópicas (pelo homem). Os distúrbios, também, são denominados como perturbação e se referem aos impactos sofridos pelos ecossistemas. O ecossistema perturbado é o considerado com poucos distúrbios, ou seja, é aquele capaz de manter o mínimo de resiliência (meio natural de manter a autorregeneração). Já o ecossistema com extremo distúrbio é considerado o degradado (CARPANEZZI, 2003; SER, 2012).

Uma forma de dar condições para que o ecossistema perturbado se recupere é promover a regeneração natural para sua autossustentabilidade. Neste sentido, a restauração de ecossistemas florestais pode ser eficaz por meio de plantios de espécies que considerem os processos ecológicos da sucessão natural (ENGEL; PARROTA, 2003).

Esses processos são entendidos como as interações entre os componentes bióticos: flora, fauna e microrganismos e, abióticos: clima, solo, água, relevo, altitude, entre outros (SER, 2012).

Os projetos de restauração ecológica ou de recuperação de áreas degradadas se baseiam na sucessão ecológica. Técnica na qual são utilizadas espécies florestais de rápido, médio e avançado crescimento, denominadas pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax, buscando assim, a formação de uma comunidade estável, uma paisagem harmônica e ecologicamente sustentável. Baseadas nas teorias de dinâmica de populações desenvolvidas em florestas tropicais, nas quais se observou que a sucessão florestal se dá a partir da substituição gradual de espécies com diferentes comportamentos (BUDOWSKI, 1965; DENSLOW, 1980; COOK et al., 2005).

A conservação da biodiversidade é uma das principais metas da restauração ecológica, que segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica é definida como a totalidade de genes, espécies e ecossistema de uma região (MMA, 2000).

Sendo assim, a diversidade genética passa a ser um dos pilares básicos deste processo. Particularmente a variabilidade genética pode exercer um papel decisivo na sobrevivência das espécies quando há alteração repentina do ambiente, como as decorrentes das mudanças

climáticas globais, tendo cada vez mais uma participação significativa como agente determinante do sucesso das ações de restauração ecológica (MORITZ, 2002; RODRIGUES; McKAY et al., 2005; BRANCALION, 2009).

No processo de restauração ecológica, além dos plantios dos indivíduos arbóreos, alguns fatores devem ser considerados para que a restauração possa ser bem sucedida e cumpra com seus objetivos. Sendo assim, deve-se atentar para o incremento temporal da diversidade das espécies, das formas de vida introduzidas à área, das características da regeneração natural, do restabelecimento da sucessão ecológica, do papel dos diferentes grupos funcionais de espécies nativas, que paralelamente devem estar aliados ao isolamento das áreas restauradas e da isenção de fatores de degradação mais intensos como: fogo, extrativismo, caça e espécies invasoras (GANDOLFI e RODRIGUES, 2007).

A escolha das espécies é um fator que deve ser levado em consideração no processo de restauração ecológica, principalmente as fixadoras de nitrogênio (as leguminosas), as micorrizas (espécies que fazem associação com os fungos micorrízicos), as que apresentam raiz pivotante (raiz principal com raízes laterais) e profundas (para atuarem na descompactação do solo), as com copas de crescimento lateral rápido (para auxiliar contra o efeito de borda que consiste na alteração da estrutura, composição e abundância relativa de espécies nas margens do fragmento florestal) e a associação de espécies (SOUZA, 2007; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

As espécies arbóreas selecionadas devem ser as mesmas encontradas no ecossistema da bacia hidrográfica a restaurar e plantadas conforme a Resolução SMA nº 32, de 3 abril de 2014, que estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre a restauração ecológica no Estado de São Paulo. Essa Resolução teve como embasamento as Resoluções: SMA nº 21 de 21/11/2001, SMA nº 44 de 26/11/2003 e SMA nº 08 de 31/01/2008, também, estabelecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo (SÃO PAULO, 2008; SÃO PAULO, 2003; SÃO PAULO, 2001).

Os indivíduos introduzidos no projeto de restauração florestal devem ter um conjunto de genes representativos daquela espécie ou população local. Desta forma, as mudas ou sementes introduzidas no processo de restauração não podem ser geneticamente semelhantes entre si, ou seja, produzidas de uma mesma matriz (árvore mãe) ou matrizes aparentadas, ocasionando a endogamia (RODRIGUES et al., 2009).

A sucessão ecológica é outro fator a ser considerado na restauração, estabelecendo conceitos para grupo ecológico ou grupo sucessional, conforme as funções e exigência semelhantes nos processos de sucessão das espécies florestais, principalmente quanto ao

comportamento em resposta à luz de clareiras (área com pouca ou nenhuma cobertura vegetal dentro da floresta) ou à sombra do dossel da floresta (estrato superior das copas das árvores), compreendendo três grupos: pioneiras, secundárias (iniciais e tardias) e climáceas (SÃO PAULO, 2004).

Segundo Gandolfi; Rodrigues (1996) as espécies arbustivo-arbóreas podem ser classificadas quanto à sucessão ecológica como:

- a) Pioneiras: espécies dependentes de luz, não se desenvolvem no subbosque e se estabelecem em clareiras ou bordas de florestas;
- b) Secundárias iniciais: espécies que colonizam áreas antropizadas, ocorrem em condições de sombreamento médio, como bordas de clareiras grandes em florestas ou em sub-bosque não densamente sombreado;
- c) Secundárias tardias: espécies emergentes, oportunistas e ocorrem em clareiras pequenas e sombreamento médio;
- d) Clímáceas: espécies que se desenvolvem no dossel ou sub-bosque, germinam, crescem e se reproduzem à sombra, crescem até alcançar o dossel e podem permanecer durante toda a vida.

Sua conservação é uma das principais metas da restauração ecológica, sendo os genes o principal fator a ser conservado e mantido nas sucessivas gerações, mesmo que os indivíduos morram. Portanto, a diversidade genética regional deve ser priorizada nos projetos de restauração ecológica. Quanto mais se amplia o conhecimento da biodiversidade das florestas tropicais mais resposta se tem de como e o que plantar no processo de restauração florestal (REIS; KAGEYAMA, 2003).

Para que a restauração ecológica seja bem sucedida, as espécies da floresta implantada devem se perpetuar, pois a sua continuidade depende não só da produção das sementes, mas também, de sua germinação e do estabelecimento das plântulas na área restaurada, as quais são afetadas por adaptações locais. A introdução de populações não locais pode trazer problemas à sobrevivência dos indivíduos não adaptados às condições ambientais locais, mesmo pertencendo à mesma espécie (BISCHOFF et al., 2006; HUMPHREY; SCHUPP, 2002).

McKay et al. (2005) sugerem que as sementes utilizadas na restauração ecológica conservem o patrimônio genético regional e para tanto deve-se:

- a) priorizar sementes na própria região a ser restaurada, num raio de aproximadamente 50 km;
- b) utilizar sementes de procedência de regiões em condições ambientais semelhantes a área restaurada;

c) conhecer o sistema reprodutivo das espécies utilizadas na restauração, para definir a taxa de fluxo gênico e identificar as espécies mais sensíveis ao isolamento reprodutivo.

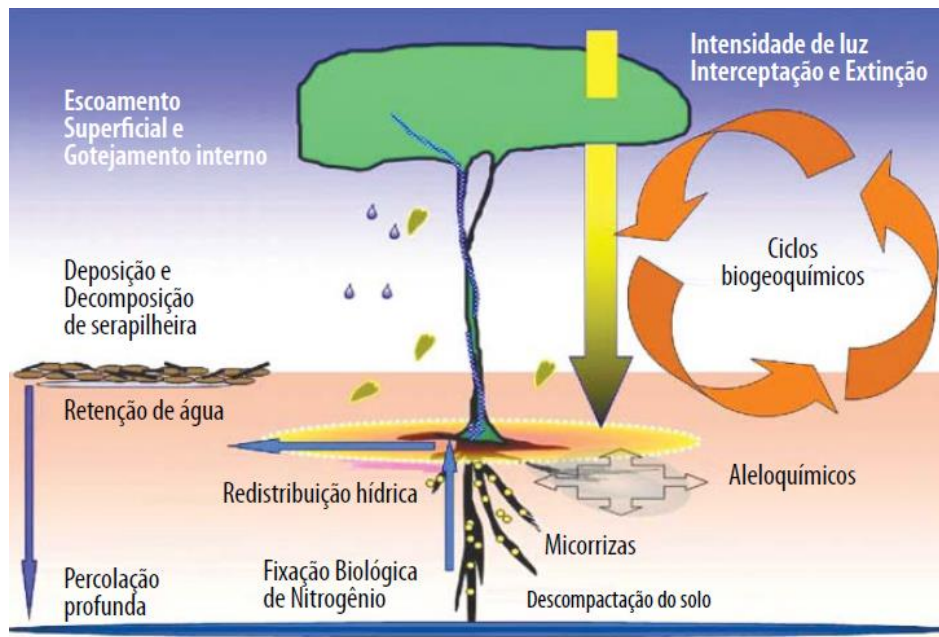
A diversidade de outras formas de vida no funcionamento do ecossistema é muito importante para o processo de restauração ecológica. Os grupos funcionais das lianas, das epífitas, das ervas e dos arbustos são considerados como espécies-chave, pois podem oferecer recursos aos polinizadores e dispersores de sementes quanto há escassez de frutos e de sementes, devido à redução do número de árvores em floração e frutificação, garantindo assim, a manutenção da fauna polinizadora e dispersora da área. Desta forma, a sucessão ecológica é favorecida principalmente na sua primeira fase de desenvolvimento, bem como, a manutenção dos processos naturais da floresta (BECHARA, 2006; CASTRO et al., 2007).

A definição e discussão sobre os grupos funcionais tomou corpo no processo de restauração ecológica, assim que se percebeu, que não necessariamente o número de espécies, mas sim, a variedade de comportamentos destas, poderiam explicar certas relações entre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas (RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

Atualmente a ciência da restauração ecológica tem preconizado uma visão ecossistêmica do processo, buscando uma forma mais integraliza ao invés de um estudo compartimentalizado e individualizado, com o único foco a comunidade arbórea, desconsiderando a interação desta com outros vegetais, com a fauna e com os fatores abióticos (água, temperatura, luz, solo, vento, radiação solar, entre outros). Possibilitou, assim, atingir um nível mais elevado de equilíbrio ecológico e reconstituir comunidades naturais autossustentáveis no tempo e biodiversas. Porém, há a necessidade de se compreender os processos e as interações envolvidos no funcionamento do sistema ecológico referentes aos compartimentos bióticos e abióticos (RODRIGUES; BRANCALION, 2009; FOLKE et al., 2004).

A função de cada espécie vegetal nas áreas em processo de restauração deve ser considerada, tanto do ponto de vista das interações biológicas, mas também, devido sua capacidade de reconstrução e manutenção da funcionalidade dos ecossistemas, uma vez que as espécies podem modificar as características abióticas do meio, atuando como “engenheiras físicas do ecossistema”, conforme exemplificado na Figura 6 (JONES et al., 1997; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

Figura 6 - Função da árvore na reconstrução e manutenção do meio abiótico



Fonte: RODRIGUES; BRANCALION (2009).

Dentre as funções das espécies arbóreas destaca-se a incorporação de matéria orgânica no solo, principalmente as espécies caducifólias (plantas que perdem as folhas em épocas desfavoráveis, como nos meses mais frios, sem chuva e com menor luminosidade), possibilitando que o ambiente em restauração volte com suas características originais gradativamente (RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

A matéria orgânica presente no solo dos ambientes florestais é importante para o aumento de sua estruturação, agregação e porosidade, aumento da retenção de água e nutrientes e, como fonte de energia para os microrganismos, plantas e outros níveis tróficos (etapas da cadeia alimentar, na qual os organismos estabelecem relação de alimentação em um ecossistema, sendo composta por produtores, consumidores e decompositores), garantindo a sobrevivência de diversas espécies (conservação da biodiversidade). A matéria orgânica, ainda, incorpora quantidades significativas de nitrogênio, disponibilizado pelas espécies arbóreas da família das leguminosas, que fixam o nitrogênio e tornam-se capazes de elevarem os teores de carbono do solo (WALLACE et al., 1997; BINKLEY et al., 2000; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

Os corredores ecológicos são fatores que devem ser considerados na restauração ecológica, por serem áreas que unem fragmentos florestais isolados na paisagem, possibilitando o fluxo gênico (troca da informação genética entre indivíduos, populações ou

espécies) da fauna e da flora, neste caso, as plantas se estabelecem pelo movimento do pólen e sementes, por meio do deslocamento de polinizadores e de dispersores (insetos, pássaros, mamíferos, répteis, entre outros) (RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são verdadeiros corredores ecológicos por natureza. Segundo o Novo Código Florestal (Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012), em seu artigo 4º, são consideradas APPs, em zonas rurais ou urbanas:

- I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:
- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
 - b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
 - c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
 - d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
 - e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

Ainda, no Inciso II da mesma Lei as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais com faixa em largura mínima de:

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

No Inciso III as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento, também são consideradas APPs, refletindo a necessidade da restauração florestal na implantação das centrais hidrelétricas.

A lei declara, em seu Inciso IV, V, IX e X, que também são APPS, as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, independente da situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; as encostas ou suas partes cuja declividade seja superior a 45°, sendo a linha de maior declive equivalente a 100%; os topos de morros, os montes, as montanhas e serras, cuja altura mínima seja de 100 metros com inclinação média maior que 25°, ou seja, delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura mínima de elevação em relação à base, que é definida pelo plano horizontal determinado por espelho d'água adjacente, planície ou relevos ondulados, com a cota do ponto de sela mais próximo da elevação e ainda as áreas independente de sua vegetação cuja altitude seja superior a 1.800 metros.

A ocupação e mudanças no uso da terra vêm causando perturbações nos ecossistemas mundiais que estão influenciando o estoque de carbono, porém está sendo possível reduzir as

emissões de CO₂, por meio do seu sequestro, baseando-se em técnicas de reflorestamento. Sendo assim, as florestas apresentam grande potencial no sequestro do CO₂, devido à capacidade de transformá-lo em biomassa pelo processo da fotossíntese (WATZLAWICK et al., 2002).

No Brasil as emissões de CO₂ estão ligadas aos desmatamentos e queimadas, fazendo do país o 4º maior emissor dos GEE, sendo pressionado a assumir compromissos na redução das emissões desses gases (IPCC, 2013).

A liberação do CO₂ e CH₄, pelo desmatamento, está associada ao processo de decomposição da biomassa florestal, no qual o carbono, fixado fotossinteticamente, é degradado pelos micro-organismos (bactérias e fungos) havendo a liberação desses gases. A combustão (queimada) da biomassa florestal é o processo inverso da fotossíntese, no qual há o consumo do oxigênio liberando o CO₂ (CAMPOS, 2007).

Estudos afirmam que o desmatamento e a conversão de áreas naturais na Mata Atlântica podem ter liberado 13 milhões de toneladas de carbono na atmosfera, onde, para cada hectare de floresta perdida, estima-se que sejam emitidas em torno de 100 toneladas de carbono (VIEIRA et al., 2008).

O Brasil, devido as suas características, como clima tropical, grande extensão territorial, disponibilidade de mão de obra e tecnologia para produção florestal, tornou-se um potencial para o mercado de crédito de carbono. Apesar de apresentar condições ideais para o plantio de espécies florestais, ainda investe muito pouco em empreendimentos dessa natureza (LEMOS, et al., 2010).

O mercado de crédito de carbono é uma medida adotada na Terceira Conferência das partes (COP3) realizada na cidade de Quioto no Japão, em 1997, denominada Protocolo de Quioto, no qual os países-membros (principalmente os desenvolvidos) tinham o compromisso de reduzir as emissões dos GEE que agravavam o efeito estufa e contribuía para aquecimento global. A redução na primeira fase do protocolo, entre os anos de 2008 a 2012, deveria ser de pelo menos 5,2% dos gases. Na segunda fase, entre os anos de 2013 a 2020, a meta de redução se elevou para 18% (IPCC, 2000).

A captura de CO₂ pelas florestas e pelo estabelecimento de novas florestas ou reflorestamentos podem ser computados para o atendimento às metas de reduções das emissões de GEE. Na tentativa de auxiliar os países desenvolvidos a cumprir tais metas, foram estabelecidos três mecanismos de redução ou limitação de emissões GEE: os projetos e comércio de emissões, e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL criado pelo protocolo de Kyoto que envolve países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os países em

desenvolvimento podem elaborar e implantar projetos que contribuam para a sustentabilidade e reduzam ou capturem gases causadores do efeito estufa, obtendo como resultado as Reduções Certificadas de Emissões (REC, em inglês CER - *Certified Emission Reduction*), que podem ser negociados no mercado global pelos países em desenvolvimento para auxiliar no cumprimento de suas metas de redução dos GEE (CUNHA et al., 2006; SUGAI, 2006).

Deste modo, o MDL é o mais interessante para o Brasil, uma vez que permite a certificação de projetos de redução de emissões ou sequestro de CO₂, principalmente no setor de energia renovável, eficiência energética e reflorestamento. Projetos que possibilitam a transferência de tecnologia e de recursos advindos de países desenvolvidos interessados na obtenção de Redução de Emissões Certificadas de gases de efeito estufa.

Na pesquisa produzida por Cunha et al. (2006) sobre a identificação dos projetos de MDL, em desenvolvimento no Brasil, verificaram a inexistência de projetos de reflorestamento, apesar do Brasil apresentar maior potencial de redução de emissões neste setor.

Existe um grande interesse pelo sequestro de carbono por meio das florestas tropicais úmidas, ecossistema encontrado no Brasil, devido às altas taxas de produtividade. Na fase inicial de desenvolvimento as árvores removem e armazenam quantidades significativas de carbono da atmosfera e à medida que param de crescer, as taxas são reduzidas.

Devido ao conhecimento do papel dos vegetais no ciclo do carbono, os ecossistemas florestais vêm sendo estudados quanto ao potencial desses reservatórios, porém, ainda há incertezas quanto à quantidade de carbono estocada. Segundo Watson et al. (2000) as florestas tropicais sequestram uma quantidade de carbono superior às florestas temperadas e em outros ecossistemas, como: savanas, campos, desertos, pântanos, entre outros (Tabela 8).

Tabela 8 - Estoque global de carbono na vegetação de diferentes biomas

Bioma	Área (10 ⁶ Km ²)	Estoque de Carbono (Gt de C)	
		Vegetação	Total
Floresta tropical	17,6	212	428
Floresta temperada	10,4	59	159
Floresta boreal	13,7	88	559
Savanas tropicais	22,5	66	330
Campos temperados	12,5	9	304
Desertos e semidesertos	45,8	8	199
Tundra	9,5	6	127
Pântanos	3,5	15	240
Terras agrícolas	16	3	131
Total	151,5	466	2.477

Fonte: WATSON et al. (2000)

Miranda et al. (2011) relatam que ainda são escassos estudos que quantifiquem a capacidade de fixação de carbono pelas florestas de restauração. Surge assim, uma nova demanda de pesquisas direcionadas a restauração de florestas, que possam quantificar os serviços ambientais prestados pelos diferentes modelos de plantios em diferentes situações ambientais e promover discussão desta estratégia na redução de níveis de CO₂ atmosférico (MELO; DURIGAN, 2006).

As florestas de restauração por proporcionarem o benefício de fixação de carbono (C) podem ser monitoradas e subsidiar programas de reflorestamento na Mata Atlântica (BELLOTTO et al., 2009). Principalmente, por se tratar de um grande bioma, que segundo Vieira et al. (2008), antes de sua devastação correspondia a cerca de 7 a 14 Pg C, desta forma, possui um enorme potencial de estocagem de carbono pelos reflorestamentos e regeneração natural, ambos de extrema importância para o balanço global de C.

Existem alguns projetos florestais piloto que tem como objetivo estudar e medir o carbono armazenado e retido nas florestas, que estão ganhando atenção no mundo. Este é o caso da metodologia AR-AM “Atividades de Florestamento/Reflorestamento ao redor das margens dos reservatórios das hidrelétricas”, no qual se configura a categoria de projetos de florestamento e reflorestamento (A/R) implantados em pastagens não manejadas em áreas de reservas ou protegidas, em que é avaliada a biomassa acima e abaixo do solo como reservatórios de estocagem de carbono (MCT, 2009).

Neste contexto, as florestas de restauração tornam-se uma opção viável para mitigar os problemas causados pelas altas taxas de emissões de CO₂, tornando-se necessária a restauração ecológica ou recuperação de áreas degradadas, baseando-se no processo de sucessão ecológica através do plantio de mudas de espécies florestais (BARBOSA et al., 2015).

2.6 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA CÁLCULO DO CARBONO

Os estudos de determinação da biomassa florestal são realizados para diversos objetivos, entre eles destacam-se a quantificação da ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais, a quantificação para fins energéticos, como indicador ecológico e como base de informação para estudos de sequestro de carbono (ABOAL et al., 2005; SILVEIRA et al., 2008).

A estimativa da biomassa é um dos aspectos mais importantes do estudo da fixação do carbono em florestas. Deve ser obtida de forma a ser a mais próxima do real possível, sem

custos excessivos, uma vez que a partir da sua dela será quantificado o carbono fixado e os gases do efeito estufa capturados da atmosfera (BROWN, 1997; SANQUETTA et al. 2002).

Biomassa é a matéria orgânica armazenada em um ecossistema, pois especifica o volume numérico dos componentes existentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar (CALDEIRA, 2003).

Para Sanqueta e Balbinot (2004) biomassa é a quantidade, em massa, de material de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Na literatura, é subdividida em biomassa acima do solo (do inglês *Above-Ground Biomass - AGB*) e em biomassa abaixo do solo (*Below-Ground Biomass - BGB*) devido aos métodos utilizados para suas estimativas. Já Brown (1997) define Biomassa como a quantidade de material orgânico vivo acima do solo proveniente das árvores, que é expresso como matéria seca em tonelada por unidade de área.

Segundo Soares et al. (2006) o acúmulo de biomassa é diferente de um local para outro e de indivíduo para indivíduo. Esta diferenciação é determinada por diversos fatores ambientais em que as plantas estão sujeitas e a fatores intrínsecos à própria planta. Sua medição da biomassa é um instrumento fundamental na avaliação de um ecossistema, tendo em vista sua aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de energia solar.

A fixação do carbono pelo processo da fotossíntese associado ao fato de que 30% do planeta são cobertos por florestas e estas possuem aproximadamente 85% do carbono disponível fixados em seus componentes químicos, faz do conhecimento sobre a biomassa acumulada nos ecossistemas florestais um fator preponderante para os estudos da quantificação de dióxido de carbono antropogênico, conseqüentemente deverá apoiar o desenvolvimento de políticas climáticas (TAIZ; ZEIGER, 2013; LE QUERÉ et al., 2013).

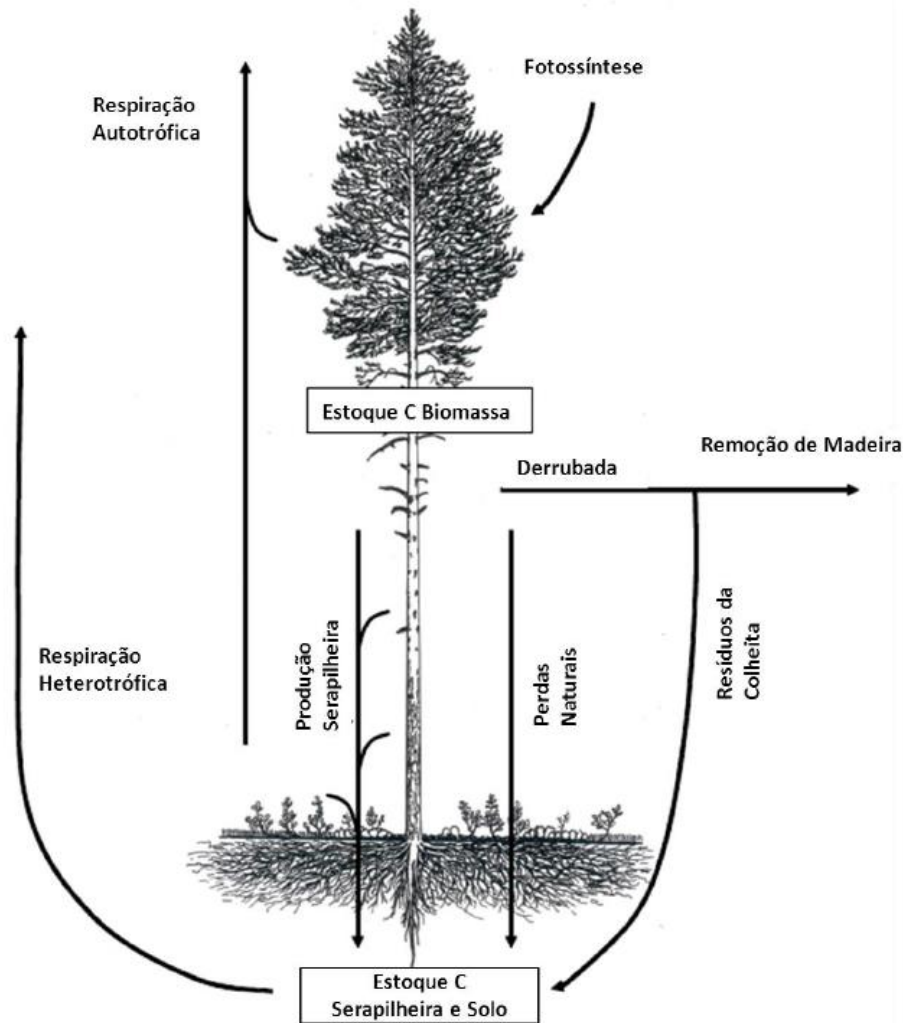
A biomassa florestal contém uma porção significativa de estoque de carbono dos ecossistemas tropicais, na qual deve ser quantificada de maneira confiável e posteriormente transformada em carbono, através da multiplicação do peso da biomassa seca pelo teor de carbono (SANQUETTA, 2002; MIRANDA, 2008).

A Figura 7 apresenta as múltiplas interações do ecossistema florestal quanto à fixação de carbono florestal, os fluxos de materiais e gases (MUUKKONEN, 2006).

Saidelles et al. (2009) afirmam que as florestas plantadas capturam e fixam carbono na madeira em maior proporção do que nos demais componentes da biomassa. Ao calcularem as concentrações de carbono estocado nos diferentes compartimentos das plantas encontraram uma estocagem na seguinte proporção: 64% na madeira, 11% na raiz, 9% na casca, 7% nos

galhos vivos e 4% nos galhos mortos e nas folhas. No entanto em estudos realizados por Higuchi et al. (1998) foram encontradas concentrações médias de carbono de 48% no tronco, 48% nos galhos grossos, 47% nos galhos finos e 39% nas folhas.

Figura 7 - Múltiplas interações em um ecossistema florestal quanto ao estoque de carbono (caixas) e o fluxo de materiais e CO₂ (flechas)



Fonte: MUUKKONEN (2006)

Para Qureshi et al. (2012) o ecossistema florestal compartimenta 45 a 55% do carbono na biomassa acima do solo (fuste, casca, galhos e folhas), 20 a 26% na biomassa abaixo do solo (raízes); 20% no solo (respiração das raízes e respiração heterotrófica dos micro-organismos edáficos) e 6 a 8% na serapilheira (material inerte), porém estes valores diferem conforme o estágio de desenvolvimento da floresta.

Sanquetta e Balbinot (2004) relatam que na fração de biomassa florestal acima do solo, a madeira apresenta a maior proporção em quantidade de carbono. Sendo constituída

geralmente de 50% de carbono, 43% de oxigênio, 6% de hidrogênio e 1% de nitrogênio e uma fração de outros elementos minerais (KLOCK et al. 2005). Ao contrário, Lacerda et al. (2009) estimam que o estoque de carbono em uma árvore seja de 48 a 50% de sua biomassa seca.

Em diferentes estudos relatados por Brown (1997) são apontadas variações na quantidade de biomassa florestal, que vão de 150 a 425 t ha⁻¹. Com isso, os estudos da quantificação de biomassa nas florestas tropicais úmidas se tornaram um grande interesse para cálculo de sequestro de carbono, sendo destacadas as pesquisas realizadas na floresta Amazônica (HIGUCHI et al. 1998; LAURENCE et al., 1998; CHAMBERS et al., 2001; HIGUCHI et al., 2004), na Mata Atlântica (WATZLAWICK et al., 2012; CALDEIRA et al., 2004; SANTOS et al., 2006, HENRY et al., 2010; LIMA et al., 2012) e Cerrado (DELITTI et al., 2001; REZENDE et al., 2006; SALLIS et al., 2006;) e em florestas de restauração (MELO; DURIGAN, 2006; MIRANDA et al. 2011).

As estimativas de biomassa são obtidas a partir de metodologias que utilizam como base dados de inventário florestal (procedimento para obter informações sobre as características quantitativas e qualitativas da floresta), no qual são aplicados fatores de conversão (valor atribuído como conversor das unidades de medida e de amostra, quando divergentes) e modelos alométricos (equações de regressão) que utilizam dados de diâmetro, altura e volume das árvores (SOMOGYI et al., 2006).

A biomassa florestal acima do solo, determinada a partir de cálculos confiáveis, é importante e útil para a implementação de projetos para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (AVITABILE et al., 2011; CORTE et al., 2012), contemplados no Protocolo de Quioto, uma vez que, as estimativas da biomassa auxiliam na avaliação da produtividade da floresta e do sequestro e estoque de carbono.

O maior porcentual de carbono concentra-se no tronco e aumenta à medida que este envelhece. Sendo assim, as mensurações realizadas a partir do diâmetro à altura do peito (DAP) resultam em confiáveis estimativas de biomassa e de carbono florestal (GIFFORD, 2000a; 2000b).

Segundo Higuchi e Carvalho Junior (1994) existem dois métodos para se estimar e quantificar a biomassa florestal, a saber:

- a) método direto ou destrutivo: a biomassa é obtida quando os componentes vegetais (fuste, folhas, galhos e raízes) são separados e pesados e;
- b) método indireto: a biomassa é obtida por meio de equações alométricas estabelecidas com base nos métodos diretos e em variáveis dendrométricas (altura, diâmetro e volume do fuste).

O método direto significa a quantificação da medida real determinada e executada a campo, já o método indireto realiza a estimativa da biomassa, não necessitando o abate das árvores (HIGUCHI; CARVALHO JUNIOR, 1994; SILVEIRA et al., 2008). Podendo ser enquadrado em dois grupos: (a) árvore individual, sendo o mais utilizado em plantações florestais, consiste no abate do indivíduo de diâmetro médio do povoamento, necessitando previamente, do inventário piloto para cálculo do diâmetro da árvore; e (b) da parcela, para as florestas nativas é considerado a melhor escolha, porém, também pode ser aplicado a plantios florestais, consiste na derrubada de todos os indivíduos em determinada unidade de área, onde toda biomassa é cortada e pesada nessa unidade amostral (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

No método direto todas as árvores de uma determinada unidade de área podem ser abatidas, ou seja, toda biomassa da unidade amostrada é cortada e pesada (PARDÉ, 1980), no campo são obtidos os pesos verdes dos fustes, contendo casca, galhos e folhas. São retirados discos do fuste e galhos de três a quatro centímetros de espessura. Os galhos, as cascas e as folhas são secas em estufa a 75 °C, até atingir peso constante para determinação do peso seco total (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

No método indireto os estoques de biomassa e carbono das árvores são estimados a partir de ajustes de equações alométricas, sendo que a alometria (do grego *állos*, “outros” e *metron*, “medida”) é a correlação entre o tamanho ou número de organismos e seus componentes. Por tanto, as equações alométricas são desenvolvidas para se estimar variáveis de difícil mensuração (biomassa e o carbono florestal) com base no uso de outras variáveis de mais fácil obtenção (diâmetro e altura) (ATAZADESH, 2011).

Nesse método são aplicadas as medidas das árvores, não necessitando suprimi-las, principalmente do diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H) e densidade básica da madeira (Db), dados provenientes dos inventários florestais e usados para converter em estimativa de biomassa acima do solo (HIGUCHI; CARVALHO JUNIOR, 1994; CHAVE et al., 2005) e o valor do carbono é estimado utilizando fator de conversão (VELASCO; HIGUCHI, 2009).

A aplicação de modelagem simples utilizando-se apenas a medição da DAP que são opções práticas para estimar biomassa (LITTON; KAUFFMAN, 2008; BASUKI et al., 2009). Porém, em uma escala regional, os modelos onde somente as variáveis DAP são consideradas, o grau de incertezas é aumentado, em comparação aos modelos mais complexos. A inclusão da altura total da árvore, nas equações alométricas, melhora o grau de certeza na estimativa da biomassa (WANG et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2008).

As equações alométricas possuem um grau de vantagem devido não necessitar realizar o cálculo da variável volume, porém a desvantagem de não obter todas as classes de diâmetro, uma vez que, utilizam-se amostragens em indivíduos arbóreos com DAP acima de 10 cm. Os indivíduos menores são desprezados, porém podem conter 30% da biomassa acima do solo (BROWN, 1997).

Brown (1997) recomenda que devam ser desenvolvidas, sempre que possível, equações locais para determinação da biomassa, ou que pelo menos algumas árvores sejam abatidas para testar se a equação utilizada é adequada.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO em inglês *Food and Agriculture Organization*) propõe diferentes equações alométricas (1), (2) e (3) para se estimar a biomassa aérea e conforme o tipo de floresta BROWN (1997). Essas equações estão apresentadas a seguir:

- Para florestas de zonas climáticas secas (dry)

$$b = 10^{[-0,535 + \log_{10}(G)]} \quad (1)$$

- Para florestas de zonas climáticas úmidas (moist)

$$b = \exp [-2,132 + 2,530 \ln (d)] \quad (2)$$

- Para Florestas de zonas climáticas muito úmidas (wet)

$$b = 21,297 - 6,953 (d) + 0,740 (d^2) \quad (3)$$

onde: b = biomassa aérea estimada em kg; G = área basal em cm^2 ; d = diâmetro a altura do peito em cm; \log_{10} = logaritmo na base 10.

Porém, na literatura estão sendo desenvolvidos vários outros modelos de equações alométricas para a estimativa de biomassa, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações alométricas para estimativas de biomassa florestal

Nº	Equações Alométricas	Autor do Modelo
Aritméticos		
1	$Y = b_0 + b_1 (DAP^2 H) + \varepsilon_i$	Spurr
2	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 (DAP \cdot H) + b_4 (DAP^2 H) + \varepsilon_i$	Meyer
3	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 H^2 + b_3 (DAP^2 H) + \varepsilon_i$	Stoate
4	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 H + \varepsilon_i$	Sanqueta
5	$Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 (DAP^2 H) + b_3 (DAP H^2) + b_4 H^2 + \varepsilon_i$	Naslund
6	$Y = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + \varepsilon_i$	Hohenald-Gehrhardt
Logarítmicos		
7	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln H + \varepsilon_i$	Schumacher – Hall
8	$\ln Y = b_0 + b_1 (\ln DAP) + \varepsilon_i$	Husch
9	$\ln Y = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 (\ln^2 DAP) + b_3 (\ln H) + b_4 (\ln^2 H) + \varepsilon_i$	Prodan
10	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln (DAP^2 H) + \varepsilon_i$	Spurr
11	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln H + \ln \varepsilon_i$	Higuchi

Fonte: Produção do próprio autor, onde: Y = Biomassa da matéria seca total ou Carbono total; \ln = logaritmo natural; DAP = Diâmetro; H = altura total da árvore e b_0, b_1, b_2, b_3 e b_4 = coeficientes estimados por regressão, ε_i = erro aleatório do modelo.

Os métodos e equações empregados produzem estimativas desencontradas e geram muita polêmica e controvérsias, muitas vezes, até quando se utiliza o mesmo banco de dados. Vale ressaltar, que os inventários florestais realizados por diversos autores, como: FEARNSSIDE et al. (1993); BROWN et al. (1989); HIGUCHI et al. (1994) e FOSTER BROWN et al. (1995), não foram executados com o objetivo de estimar a biomassa florestal e sim o volume da madeira para projetos comerciais (HIGUCHI et al., 2004).

Neste trabalho optou-se por utilizar a equação alométrica desenvolvida por Higuchi et al. (1998) recomendada para estimar biomassa acima do solo e, por terem sido aplicadas em florestas tropicais brasileiras. Esta equação é do tipo linear (quando as variáveis possuem expoente um), onde se consideram combinações das variáveis independentes (DAP e H) com variáveis dependentes (carbono florestal), conforme a equação (4):

$$\ln Y = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln H + \ln \varepsilon_i \quad (4)$$

onde:

\ln = logaritmo natural;

Y = peso fresco (kg);

b_0, b_1 e b_2 = coeficientes estimados por regressão

DAP = diâmetro à altura do peito de cada árvore (cm);

H = altura total da árvore de cada árvore (m);

ε_i = erro aleatório do modelo

Segundo Soares et al. (2011) o método indireto é utilizado por diminuir o custo na coleta de dados, uma vez que são empregados modelos de regressão, lineares ou não lineares, cujas variáveis independentes são as características diretamente mensuráveis das árvores-amostras (diâmetro e altura) e as variáveis dependentes, a biomassa expressa pelo peso de matéria seca dos seus componentes e a quantidade de carbono.

O conhecimento dos teores de carbono presentes na biomassa é de fundamental importância para a quantificação do carbono fixado de um determinado ecossistema e, também, para avaliar adequadamente os impactos que possam surgir no ambiente, por conta da retirada do material que deu origem a biomassa (WATZLAWICK et al. 2012).

A equação de predição de biomassa total foi estabelecida a partir de amostras destrutivas de 200 árvores de dez espécies, utilizando como variável a DAP, pois o autor concluiu que a estimativa de biomassa pode ser diminuída em até 30% quando utiliza-se a densidade básica da madeira (VISMARA, 2009).

Em estudos realizados por Ferez (2011) através de modelos de regressão para determinação de biomassa de 20 espécies florestais sugere que sejam utilizadas equações específicas para os reflorestamentos com espécies nativas no estado de São Paulo.

Melo e Duringan (2006) ao aplicarem as equações alométricas observaram que o incremento anual de carbono nos plantios de espécies nativas, em restauração de matas ciliares, se igualaria as matas nativas em um período de 15 anos, em solos florestais e 40 anos em solos de cerrado.

Velasco e Higuchi (2009) concluíram que o plantio de espécies florestais em grandes cidades, como São Paulo contribui com o sequestro de carbono e essa prática deve ser incentivada para minimizar as emissões dos gases de efeito estufa, principalmente os emitidos pela frota dos veículos.

Não há na literatura um volume de estudos disponíveis quando se aplica o método indireto para se estimar a biomassa, principalmente quando se refere à vegetação de Floresta Ombrófila Densa Mata Atlântica (RIBEIRO et al., 2009)

Os seres humanos têm um grande desafio na atualidade, devido aos inúmeros impactos e degradações ambientais, devendo assumir o papel de restauradores ambientais, desenvolvendo ações dentro de uma visão sistêmica, promovendo significativas melhorias na qualidade ambiental da sociedade como um todo, e desta forma equilibrando os processos produtivos e conservativos do planeta (SÃO PAULO, 2010).

CAPÍTULO 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo compreende a caracterização da área de estudo, referente ao município de São Luís de Paraitinga e a bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, bem como, a descrição do material e método utilizado para a delimitação da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu e da Central Geradora Hidrelétrica na referida Bacia, do processo de amostragem, da identificação e da medição das espécies arbóreas, da determinação do estoque de biomassa, carbono florestal e do dióxido de carbono emitidos à atmosfera.

3.1 A ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, localizada no município de São Luís do Paraitinga, foi escolhida como área de estudo devido aos impactos ambientais ocorridos no ano de 2010, após precipitações significativas que ocasionaram a subida do nível do Rio Paraitinga e Rio do Chapéu, provocando enchente em grande parte do município. Além dos impactos gerados nos cursos d'água (assoreamentos, poluição, entre outros), ocorrendo deslizamentos de terras nas encostas e soterramento de estradas e construções.

Outro aspecto considerado na escolha da área refere-se à crise hídrica ocorrida no ano de 2013 no Estado de São Paulo. Fator que motivou a priorização dessa bacia hidrográfica à restauração ecológica, por meio da Resolução Conjunta entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) e Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SSRH) nº 01 de 05 de junho de 2014.

Por outro lado, a bacia hidrográfica do Rio do Chapéu possui uma densa rede de drenagem, muito ramificada, que possibilitaria a implantação de centrais hidrelétricas de pequeno porte, como as PCHs ou CGHs destinadas à produção de energia, que podem favorecer a diminuição da ociosidade ou desperdício de água e, a partir de um planejamento da bacia hidrográfica, compensar ambientalmente as emissões dos gases de efeito estufa e favorecer a mitigação das mudanças climáticas, com o sequestro de carbono florestal, por meio da restauração ecológica.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS DO PARAÍTINGA

O Vale do Paraíba começou a sua ocupação no século XVII, devido à busca por riquezas (ouro), à captura de índios (para servidão) e no estabelecimento de ligações com o

litoral, em direção ao Rio de Janeiro. São Luís do Paraitinga foi passagem dos bandeirantes e das tropas, que se deslocavam para Ubatuba pelas “trilhas 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 (PETRONE, 1959; MULLER, 1969).

Desta forma, São Luís do Paraitinga sofre grande influência dos modelos de cidades fundadas para mineração, cuja característica era o desenvolvimento acompanhado do curso d’água, para que a cidade se expandisse aproveitando as várzeas, além da utilização dos rios para fins agrícolas (MULLER, 1969).

Com a decadência econômica da mineração, buscou-se uma alternativa de renda através do cultivo do café, que trouxe um novo ciclo de riqueza, invertendo o percurso, agora de Minas em direção ao Vale do Paraíba, contribuindo para o adensamento rural da região, pois o cultivo do café exigia muita mão de obra (MULLER, 1969; MARX, 1980). Com o declínio da economia do café, a paisagem da região foi modificada, dando lugar às pastagens que não garantem a proteção do solo contra os processos erosivos.

Hoje o município de São Luís do Paraitinga é classificado como Estância Turística, transformado por meio da Lei Estadual nº 11.197, de 5 de julho de 2002 (SÃO PAULO, 2002) (Figura 8). Esse município pertence ao circuito turístico e religioso, abrangendo as cidades do Litoral Norte, Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira, na região leste paulista (RICCI et al., 2009).

Possui uma área de 617,31 Km² e está situado na região do Alto Curso Superior do Rio Paraíba do Sul, no Vale do Paraíba, entre os municípios de Taubaté, Ubatuba, Cunha, Lagoinha, Natividade da Serra e Redenção da Serra, no Planalto do Paraitinga/Paraibuna, localizada na região leste do Estado de São Paulo, Brasil, região de destaque econômico, com uma parcela considerável do Produto Interno Bruto (PIB) do país (IBGE, 2016; SÃO PAULO, 2005).

Figura 8 - Localização do Município de São Luís do Paraitinga



Fonte: Produção do próprio autor, adaptado de Fundação SEADE (2016)

São Luís do Paraitinga está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Paraíba do Sul (UGRHI 02) e situado na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, entre as Serras do Mar e Mantiqueira, dentro dos limites do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2005).

Segundo o Censo, realizado em 2010, São Luís do Paraitinga tem uma população estimada em 10.397 habitantes, sendo 4.217 habitantes residentes na área rural e 6.180 habitantes residentes na área urbana, totalizando uma densidade demográfica de 16,84 habitantes/km². A população urbana apresentou um aumento gradativo, na ordem de 56,7%,

enquanto a população rural sofreu redução de 27,2%, no período de 1990 a 2010 (IBGE, 2016).

Os primeiros habitantes do município de São Luís do Paraitinga se dedicaram à agricultura de subsistência. A cultura de cereais foi praticada por muitos anos, porém o ciclo do café, a partir de 1830, modificou a economia local. No entanto, os agricultores continuaram a produzir milho e feijão (PETRONE, 1959; PREFEITURA SÃO LUÍS DO PARAITINGA, 2016).

No século XIX, São Luís do Paraitinga foi caracterizado como “celeiro do vale”, por ter se dedicado à agricultura de feijão, cana, milho e mandioca, enquanto o restante do estado priorizava a cultura do café. A partir do século XX, o município passa a contar com a pequena produção de policulturas e a pecuária leiteira. Atualmente sua economia é predominantemente agropecuária e de serviços (PETRONE, 1959; IBGE, 2016).

O município possui vários atrativos naturais, históricos e culturais, como morros, cachoeiras, vegetação, fauna, unidades de conservação, construções históricas e atividades populares folclóricas e religiosas.

O clima do município de São Luís do Paraitinga é classificado, segundo Köppen (1948), como **Cwa** - mesotérmico, com verões quentes e estação chuvosa no verão (Figura 9). Classificado, também, como Clima Tropical Atlântico em decorrência da influência da umidade do Oceano Atlântico (IBGE, 2016).

Figura 9 - Classificação do clima do Estado de São Paulo, em destaque o município de São Luís do Paraitinga



Fonte: CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (2016).

Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da Universidade de Campinas (CEPAGRI), o clima da região é caracterizado por temperatura média anual de 20°C, oscilando entre mínima média de 14°C e máxima média de 27°C. Porém, no ano de 2016, a temperatura média foi de 20,6°C, sendo a temperatura mínima média de 14,9°C e a temperatura máxima média de 25,1°C, conforme apresentado na Tabela 10 (CEPAGRI, 2016).

Tabela 10 - Temperaturas Mínimas, Médias e Máximas do município de São Luís do Paraitinga, no ano 2016

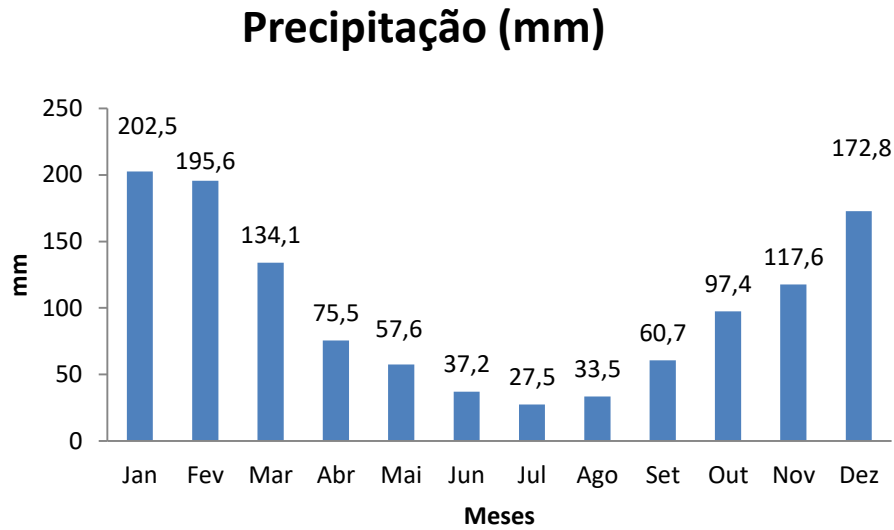
Ano	Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)
2016	Janeiro	15,7	25,1	30,1
	Fevereiro	17,5	27,3	31,6
	Março	16,8	22,2	29,2
	Abril	15,3	22,7	30,6
	Maio	9,3	17,5	25,0
	Junho	3,3	14,9	22,3
	Julho	7,7	16,3	27,6
	Agosto	7,7	17,4	27,6
	Setembro	10,9	18,9	25,7
	Outubro	12,3	21,2	31,6
	Novembro	12,9	20,9	29,0
	Dezembro	14,4	22,6	32,0
Médias		11,9 °C	20,6 °C	28,9 °C

Fonte: Produção do próprio autor, com base em dados de CEPAGRI (2016)

O índice pluviométrico anual varia entre 1.100 mm e 1.700 mm e é controlado pelas massas tropicais e equatoriais. Os períodos mais críticos quanto à ocorrência de escoamentos e inundações são os meses de dezembro a março, devido aos excedentes hídricos (SMA, 2008).

A precipitação no município apresenta um comportamento sazonal, sendo que os maiores índices pluviométricos ocorrem nos meses de verão e menores nos meses de inverno. No ano de 2016, a precipitação mínima correspondeu a 27,50 mm, no mês de julho e a máxima 202,50 mm, no mês de janeiro, tendo como precipitação anual de 1.210 mm, apresentada na Figura 10 (CEPAGRI, 2016).

Figura 10 - Precipitação mensal, no ano de 2016, no município de São Luís do Paraitinga



Fonte: Produção do próprio autor, com base em dados CEPAGRI (2016).

Segundo o Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira, que foi adaptado ao sistema universal e incorporado aos mapas da vegetação pelo IBGE, no ano de 1982, por meio do Projeto RADAM (VELOSO et al., 1991), a região do Vale do Paraíba Paulista é caracterizada como vegetação de domínio da Mata Atlântica.

Essa região está situada no sudeste do Brasil, considerada um corredor leste/oeste entre as Serras do Mar e da Mantiqueira. É uma das poucas regiões que possuem remanescentes da Mata Atlântica, com vegetação em extinção (FERREIRA et al., 2007).

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical do continente americano, estendia-se continuamente ao longo da costa brasileira, abrangendo 17 estados da federação (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, e Piauí). Em sua condição primitiva possuía 95.000 milhões de Km², restando hoje apenas 7,3% desse total e de forma fragmentada (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2001; TABARELLI, 2005).

O Decreto Federal nº 750/93 estabelece a Mata Atlântica como formações florestais e ecossistemas associados de domínio Atlântico, com as fisionomias florestais (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Manguezais, Restingas, Brejos Interioranos e Encraves Florestais do Nordeste) e ecossistemas associados não florestais (Campos de

Altitude, Formações Pioneiras de Influência Marinha, Flúvio-Marinha e Flúvio-Lacustre) (IBGE, 1992).

Segundo Ab'Sáber (2007), a caracterização da Mata Atlântica é proveniente particularmente da heterogeneidade ambiental do relevo, dominada por terrenos ondulados, ocupados por morros mamelonares em sucessão, interportos por pequenos vales de drenagem, definida, assim pela geografia brasileira como “Domínio Morfoclimático de Mares de Morros” .

A Mata Atlântica é considerada um dos *hotspots* (áreas com elevada biodiversidade em estágio avançado de degradação) mundiais da Biodiversidade (MEYERS et al. 2000). Embora tenha sido em sua maior parte destruída, ainda abriga expressivo número de espécies endêmicas (espécies que ocorrem exclusivamente em determinada região geográfica) de plantas, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

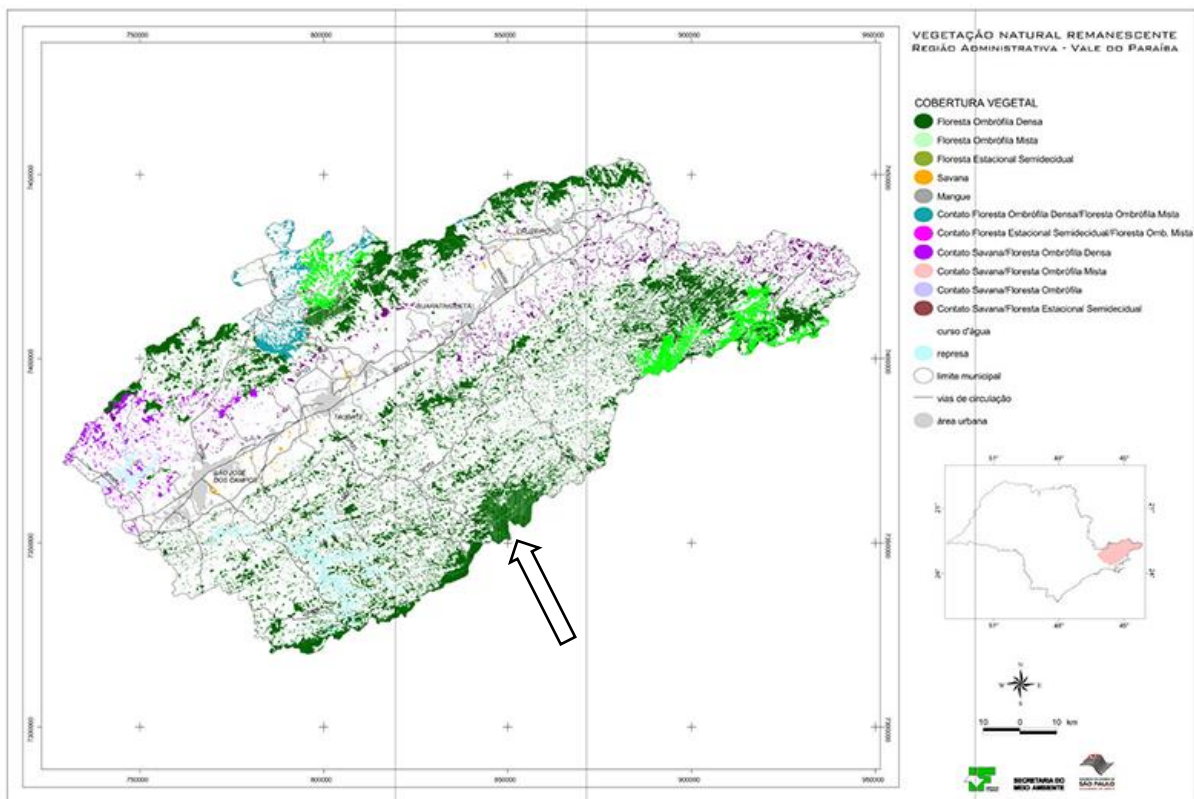
Segundo Joly et al. (2012) a fisionomia vegetal denominada Floresta Ombrófila Densa está dividida em categorias de acordo com gradientes altitudinais, a saber:

- Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas: de 5 m a 50 m de altitude;
- Floresta Ombrófila Densa Submontana: no sopé da Serra do Mar, com cotas de altitude variando entre 50 m e 500 m;
- Floresta Ombrófila Densa Montana: encosta da Serra do Mar, em altitudes que variam de 500 m a 1.500 m;
- Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana: ocorrendo no topo da Serra do Mar, predominam os campos de altitude, acima de 1.500 m de altitude.

A vegetação original do município de São Luís do Paraitinga é predominantemente denominada por Floresta Ombrófila Densa Montana (Figura 11), ou seja, as cotas de altitude variam entre 500 e 1.500 m (VELOSO et al., 1991).

Segundo dados do inventário da vegetação nativa do estado de São Paulo realizado pelo Instituto Florestal, em 2005, o município ainda abrigava um remanescente de vegetação natural de aproximadamente 15.946 ha, correspondendo a 21,6% de sua área total (SÃO PAULO, 2005).

Figura 11 - Vegetação dos Municípios do Vale do Paraíba Paulista, em destaque o município de São Luís do Paraitinga.



Fonte: SÃO PAULO (2005)

Porém, atualmente a paisagem do município de São Luís do Paraitinga é caracterizada pelo uso intensivo da terra. Ocupada com 60% de pastagem e com outros usos, como a agricultura de pequena escala, a monocultura de eucalipto e persistindo os pequenos fragmentos de florestas (SILVEIRA, 2008).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CHAPÉU

A área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu, localizada a sudeste do município de São Luís do Paraitinga, Estado de São Paulo, Brasil, conforme representada na Figura 12.

Figura12 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, São Luís do Paraitinga, São Paulo

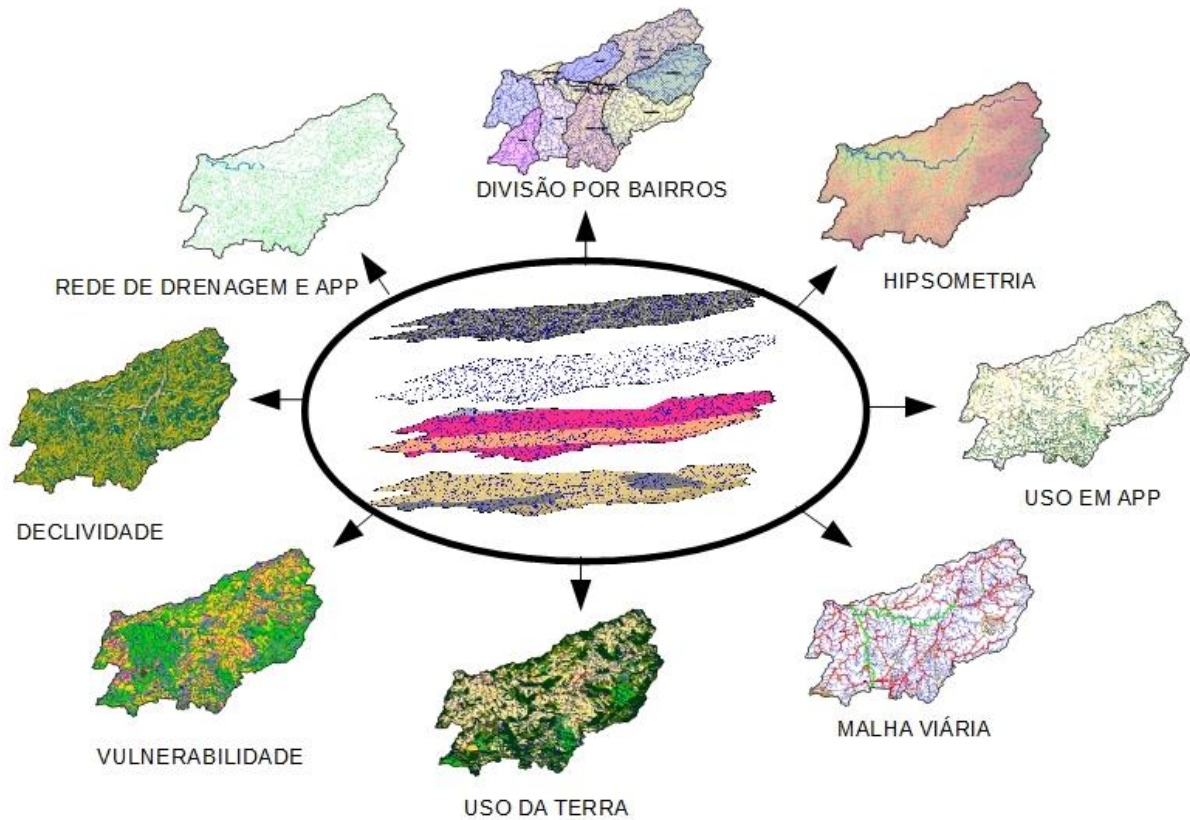


Fonte: Adaptado de AKARUI (2013)

Por meio dos mapas temáticos (Figura 13), gerados a partir da metodologia baseada no Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software SPRING, que formaram os bancos de dados ambientais da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu disponibilizados pela organização da sociedade civil de interesse público AKARUI.

Foi possível obter as informações ambientais quanto à geologia, a classe de solo, o uso da terra, a drenagem, a área de preservação permanente e os maciços florestais nativos que possibilitaram delimitar os remanescentes florestais existentes na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, que serviram de suporte à discussão do estudo de captura de CO₂.

Figura 13 - Dados físico-ambientais resultantes das análises dos bancos de dados de base



Fonte: AKARUI (2013)

Essa bacia tem como principal rio o Paraitinga, que em confluência com o Rio Paraibuna originou o Rio Paraíba do Sul que passa pelo território dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A bacia possui uma área de 206,2 km² e perímetro de 82,6 km, com o comprimento do canal principal de 29,5 km. A densidade corresponde a 737,9 km, sendo a bacia classificada como de 6ª ordem (PETRONE, 1959; AKARUI, 2013).

Inserida na Região do Alto Vale do Paraíba, na província do Planalto Atlântico compreendendo as unidades geomorfológicas Paraitinga/Paraibuna, com altitude predominante entre 800 m a 900 m e morros que chegam a 1.200 m de altitude, com domínios de áreas serranas, mares de morros com amplitudes variáveis que diminuem gradativamente os divisores de água para os vales principais, onde as serras dão lugar às colinas, morros e morrotes (PETRONE 1959; MORELLI, 2002).

As rochas da região são denominadas ígneas-metamórficas de idade pré-cambriana. As unidades geológicas na área de estudo são Granito Natividade da Serra, tipo 1, Granito Natividade da Serra, tipo S e Complexo Embu, unidade de xistos, localmente migmatíticos (FERNANDES, 1991; PERROTA et al., 2005). 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; PERROTA et al., 2005; AKARUI, 2013).

As classes de solos da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu são denominadas como Cambissolos, podendo ser Háplicos ou Húmicos. Esses solos são constituídos por material mineral com horizonte B incipiente e imediatamente abaixo do horizonte A, ou apresentando horizonte hístico com espessura inferior a 40 cm. Ocorrem, também, os solos classificados como Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos. Porém, o Cambissolo Háplico e o Neossolo Litólico são os solos de maior ocorrência na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, ocupando aproximadamente uma área de 13.370 ha e 3.858 ha, respectivamente. Esses solos estão associados, principalmente, ao relevo ondulado e fortemente ondulado, com declividades superiores a 12° (EMBRAPA, 1999).

Em menor proporção, ocorre o Cambissolo Húmico, sendo dividido em: Cambissolos húmidos distróficos lépticos, com contato lítico entre 50 cm e 100 cm da superfície do solo e o Cambissolos húmicos distróficos latossólico (EMBRAPA, 1999).

Os cambissolos são considerados solos em formação, ou seja, jovens que possuem altos teores de silte (material com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia). Esse teor associado a pouca profundidade fazem com que tenham permeabilidade muito baixa, propícios a processos erosivos. As classes de solo da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Classes de solo na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu

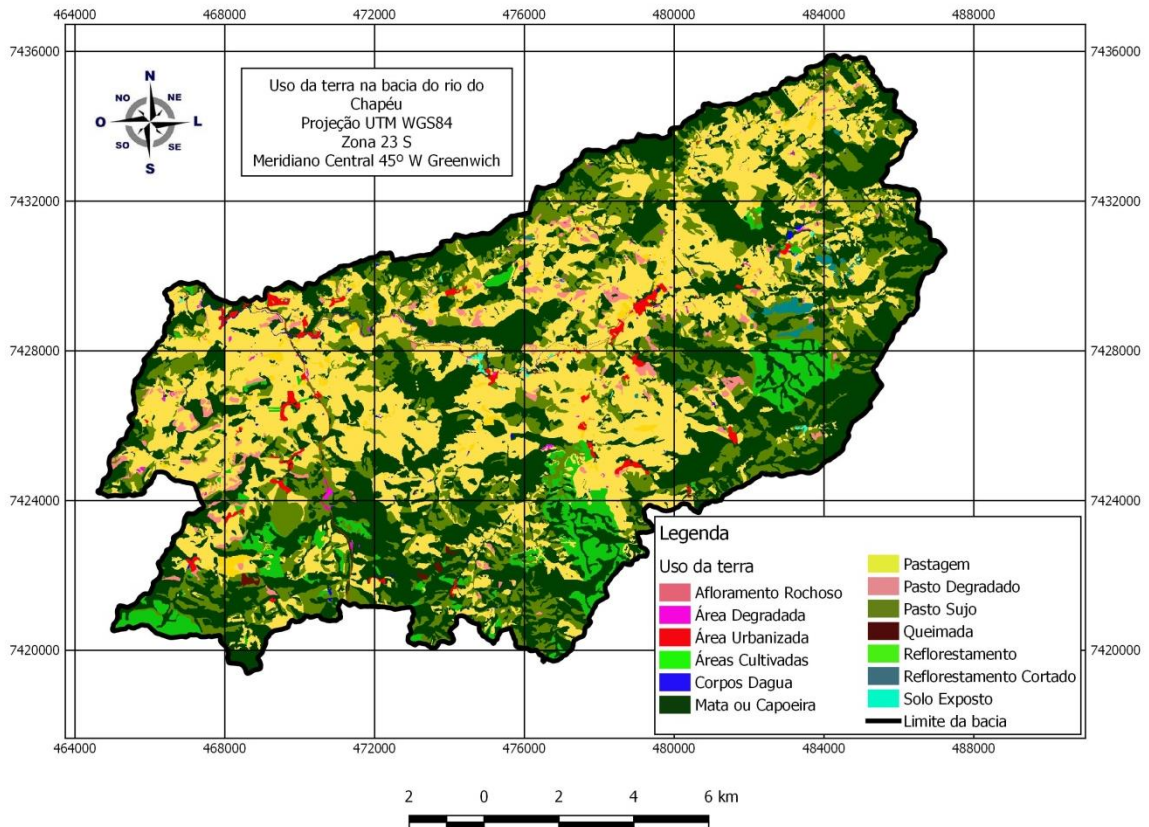
Classe de Solo
Cambissolo Háplico Tb distrófico típico
Cambissolo Húmico Tb distrófico típico
Neossolo Litólico distrófico típico
Neossolo Flúvico Tb distrófico típico
Neossolo Flúvico Tb distrófico com gleização

Fonte: Produção do próprio autor, com base em dados de EMBRAPA (1999)

As classes do uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, analisadas no ano de 2013, segundo a classificação do IBGE (2013) compreende áreas antrópicas e naturais, sendo as áreas naturais representadas por vegetação nativa florestal, encontrando-se em maior

proporção e caracterizada como matas (37,31%) e áreas antrópicas caracterizadas como pastagem (34,12%), pasto sujo (19,17%), reflorestamento (4,31%), pasto degradado (1,66%) e áreas cultivadas (1,42%), apresentadas na Figura 14.

Figura14 - Classes de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu



Fonte: Produção do próprio autor

O solo agrícola caracteriza-se por pastagem, predominantemente da espécie *Brachiaria decumbens* (braquiária), culturas temporárias e perenes. O reflorestamento caracteriza-se pelo plantio da espécie eucalipto.

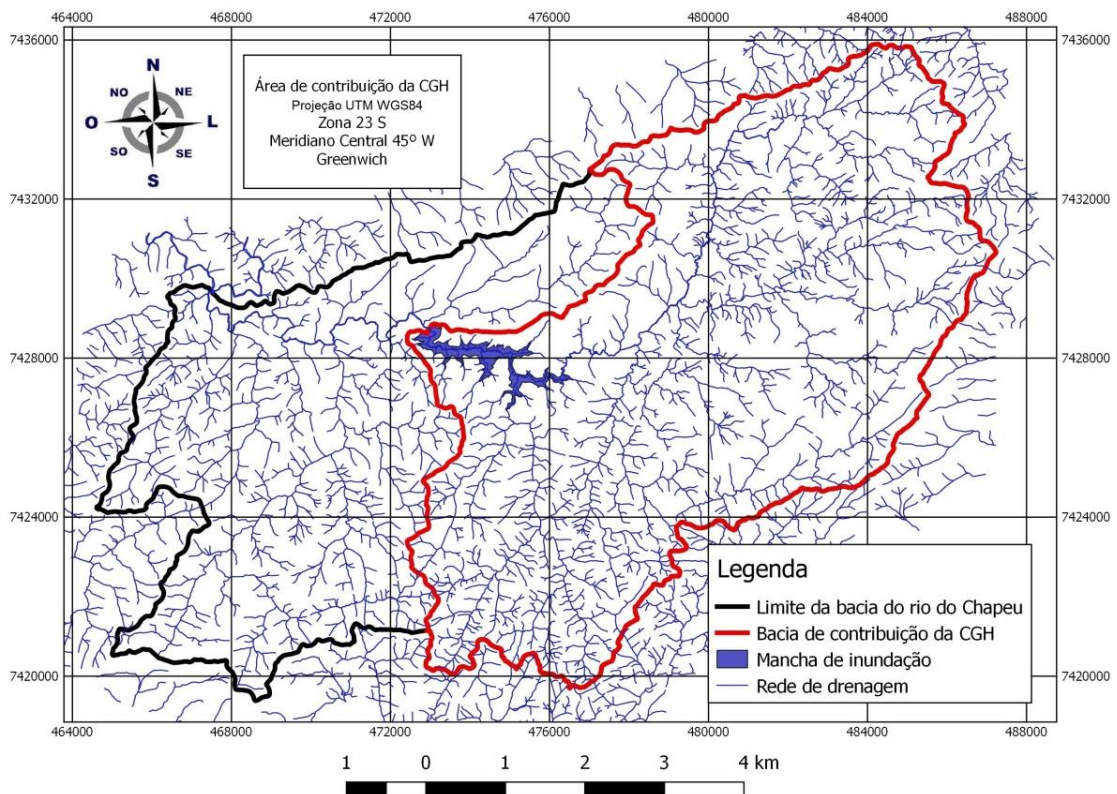
O mapa das classes do uso da terra foi elaborado para determinar principalmente, a classe denominada mata/capoeira (floresta), identificando a proporção da vegetação florestal abrangida pela área inundada (reservatório) da CGH, que serviu de base para o cálculo do CO₂ emitido à atmosfera.

3.4 DELIMITAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DA CGH NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPÉU

Com a obtenção do mapa de hidrologia da Bacia hidrográfica do Rio do Chapéu foi possível delimitar a área abrangida pela CGH.

A delimitação foi realizada usando o software SPRING, com modelo digital a partir do curso d'água, abrangendo as curvas de nível até formar a barragem na última linha de cumeada formando a central geradora hidrelétrica, com uma área de 155,85 ha e tendo a bacia de contribuição uma área de 127 km² (Figura15).

Figura 15 - Mapa da área da CGH e da bacia de contribuição da CGH na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu.



Fonte: Produção do próprio autor

A vazão (Q) da CGH foi determinada por meio da base documental do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH), no qual foram inseridos os dados de longitude (45°) e coordenadas UTM Norte (7428743) e Leste (427971) para cálculo da vazão firme (Q), apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Inserção dos dados no SIGRH para cálculo da vazão firme (Q)

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

Coordenadas Geográficas
 Coordenadas UTM

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	127
Longitude do Meridiano Central:	45 °

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7428743
Este (m):	427971

← → ↻

Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10⁶ m³):

Vazão firme "Qf" (m ³ /s):	0,577
---------------------------------------	-------

Fonte: SIRGH (2016) <http://143.107.108.83/cgi-bin/regnet.exe/optutmclick>

Para calcular a Energia firme estimada (E_{fe}) aplica-se a fórmula (5)

$$E_{fe} = 0,0083 \times Q \times H_{ijq} \quad (5)$$

$$E_{fe} = 0,1819858 \text{ MW}$$

Onde: $Q_f = 0,577 \text{ m}^3/\text{s}$; $H_{ijq} = 38\text{m}$;

Para cálculo da Potência Instalada Estimada (P) aplica-se a fórmula (6)

$$P = E_{fe} / F_c \quad (6)$$

$$P = 0,1819858 / 0,55$$

$$P = 0,33088327 \text{ MW ou } 330,88 \text{ KW}$$

Onde: $E_{fe} = 0,1819858 \text{ MW}$; $F_c = \text{Fator de correção} = 0,55$

Para a classificação da CGH hipotética foi utilizada as diretrizes da ELETROBRAS (2000) quanto à potência (P) e queda de projeto (H_d), conforme Tabela 5.

Desta forma, a CGH hipotética foi enquadrada na categoria de **potência mini**, devido ao valor da potência instalada estimada ser igual a 330,88 KW. A Queda de Projeto é denominada **média**, pois o valor encontrado da queda bruta (H_b) foi de 40 m, que está entre os

valores $20 \text{ m} < H_d < 100 \text{ m}$. A queda líquida (H_{liq}) foi de 38 m, sendo calculada a partir das curvas de nível e considerando as perdas hidráulicas de 5% (Tabela 12).

Tabela 12 - Caracterização da CGH hipotética quanto à área, vazão, altura da queda e potência estimada

CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA HIPOTÉTICA				
Área	Vazão (Q)	Altura queda bruta (H_b)	Altura queda líquida (H_{liq})	Potência (P)
155,85 ha	0,577 m ³ /s	40 m	38 m	330,88 KW (Mini)

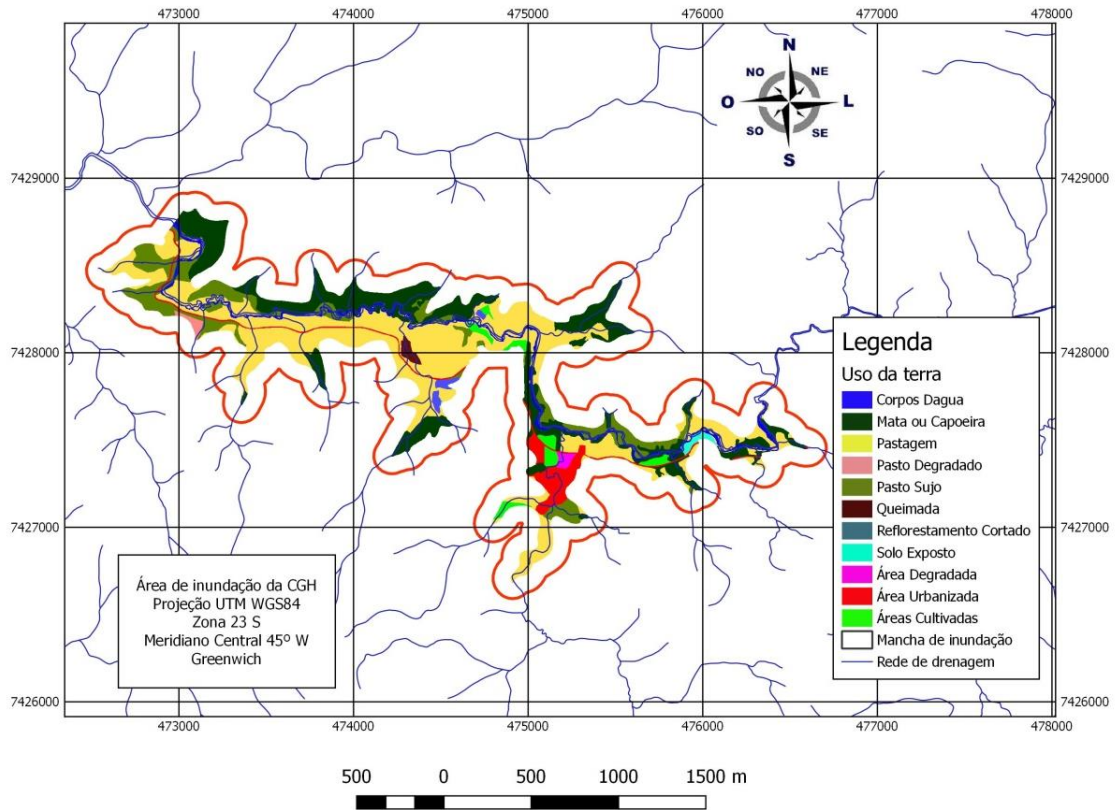
Fonte: Produção do próprio autor

3.5 CLASSE DE USO DA TERRA DO RESERVATÓRIO DA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA

Com a delimitação da área do reservatório da central geradora hidrelétrica, também utilizando o software SPRING, foi possível identificar as classes de uso da terra abrangidas pela área de inundação (Figura 17), bem como as proporções da cada classe inundada pelo reservatório.

A área que limita a CGH é coberta, em sua maioria, pelas classes de uso da terra denominada pastagem e mata/capoeira, totalizando 111, 33 ha, ou seja, 71,43% das classes abrangidas, que contribuirão significativamente com as emissões dos GEE, porém neste estudo só foi considerada a área coberta por mata e capoeira para o cálculo do sequestro do carbono e emissão do CO₂.

Figura 17 - Classes de uso da terra da área inundada pelo reservatório da CGH



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Tabela 13 observa-se que a área de mata ou capoeira (floresta nativa) abrangida pelos limites do reservatório da CGH corresponde a 41,20 ha, equivalente a 26,43% da área total.

Tabela 13 - Classes de uso da terra das áreas abrangidas pelo reservatório da CGH

Classes de Uso da terra nos Limites da CGH	Área (ha)	Área (%)
Pastagem	70,13	45,00
Mata ou Capoeira	41,20	26,43
Pasto sujo	21,95	14,08
Queimada	0,94	0,60
Área urbana	8,49	5,46
Área cultivada	3,87	2,48
Solo exposto	0,88	0,56
Corpos d'água	5,77	3,70
Reflorestamento cortado	1,19	0,76
Área degradada	0,68	0,45
Área do limite da CGH	0,75	0,48
Total	155,85	100

Fonte: Produção do próprio autor

Além da identificação dos maciços florestais na área inundada foram realizados os levantamentos das espécies arbóreas, em campo, para o cálculo do sequestro de carbono e proposta da compensação ambiental, por meio da restauração ecológica na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu, a fim de mitigar os GEE. Dados que deram suporte à discussão do estudo de captura de CO₂ nessa pesquisa.

3.6 PROCESSO DE AMOSTRAGEM DA VEGETAÇÃO

Com o objetivo de estimar características qualitativas e quantitativas da floresta aplicou-se o método de parcela para amostragem da população arbórea, na qual as árvores são incluídas se estiverem dentro e no limite da área amostral. A amostragem foi realizada em um período de 18 meses, entre outubro de 2013 a março de 2014.

As parcelas foram estabelecidas a 20 m de distância do rio ou da trilha, para minimizar o efeito de borda, sendo implantadas 16 parcelas de 25 m (largura) x 25 m (comprimento), totalizando 10.000 m² (1 ha) ao longo dos fragmentos florestais existentes às margens do Rio do Chapéu (Figura 18).

Figura 18 - Fragmento Florestal onde foram demarcadas as parcelas de amostragem arbórea às margens do Rio do Chapéu



Fonte: Google Earth (2016)

O critério de inclusão dos indivíduos arbóreos foi o diâmetro à altura do peito (DAP), medido a 1,3 m do solo, maior ou igual a 5 cm de todas as árvores existentes nas parcelas, optou-se por esse diâmetro para a inclusão apenas de indivíduos arbóreos.

De cada indivíduo foram realizadas as medições da altura total (H), medida por clinômetro eletrônico, marca *haglöf* e, da Circunferência à Altura do Peito (CAP), medido a 1,3 m do solo, utilizando-se uma trena de plástico graduada.

Foram anotados, em planilha de campo, os dados referentes à altura e ao CAP, família botânica, nome popular quando conhecido e observações, como as características organolépticas (cor da casca, cheiro, presença ou ausência de látex e acúleos) para auxiliarem da identificação quanto à espécie (Figuras 19 e 20).

Figura 19 - Identificação do indivíduo arbóreo e medição da circunferência à altura do peito (CAP)



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 20 - Medição da altura total da árvore.



Fonte: Produção do próprio autor

Foram coletados ramos, flores e frutos (quando presentes) dos espécimes para montagem de exsicatas, com o auxílio de uma tesoura de alta poda e quando as árvores eram muito altas fizeram-se as coletas com uma “marimba” de corda de nylon e pedra.

Esses ramos foram amarrados com fita crepe, numerados e acondicionados em sacos plásticos. Posteriormente, esses materiais botânicos foram prensados, sempre que possível, em número de quatro duplicatas, obedecendo às técnicas usuais de herborização (FIDALGO; BONONI, 1984).

Os exemplares botânicos coletados foram secados em estufa até a desidratação completa. Todo material botânico, conforme exemplificado na Figura 21, foi etiquetado e separado por famílias e morfoespécies e posteriormente identificado através de comparação com materiais de herbários, do Instituto Florestal (SPSF) e do Instituto de Botânica de São Paulo (SP) e, quando necessário, através de consulta e envio de duplicatas a especialistas.

Foram gerados dados dendrométricos como DAP e H, bem como dados número de indivíduos, espécie e família (ANEXO I).

Figura 21 - Exemplares das espécies arbóreas coletadas nas parcelas: (a) *Pouteria psammophila* (Mart.) Radlk; (b) *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart. Subsp. *Canjerana*



(a)

(b)

Fonte: Produção do próprio autor

Para a delimitação das famílias botânicas optou-se pelo uso do Sistema de Classificação Taxonômica de CRONQUIST (1988). A listagem das espécies arbóreas identificadas para estimativa da biomassa e carbono encontra-se ordenada alfabeticamente por gêneros e espécies (Apêndice).

3.7 DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO

3.7.1 Modelagem utilizada para estimativa da biomassa

A modelagem utilizada foi realizada por Higuchi et al.(1998) para estimar a biomassa total por árvore e do peso de carbono total por árvore, em função do diâmetro (DAP) e da altura total (H), aplicadas em florestas tropicais.

Segundo o autor, nessa metodologia foi necessária a derrubada de 315 indivíduos arbóreos para a pesagem dos compartimentados do tronco e da copa (galhos, folhas e frutos). De todos os indivíduos foram medidos a altura total, a altura comercial, a altura da copa e diâmetro da copa.

Para a obtenção da concentração de água e nutriente de cada compartimento, foram selecionadas 38 indivíduos, dos 315 amostrados, e retiradas amostras, em forma de discos do tronco, desde a base (0%), a 25%, a 50%, a 75%, no topo (100%) e na DAP (1,3m do solo), dos galhos (diâmetro de base 10 cm). Os discos foram imediatamente pesados e posteriormente secos em estufa a 105° C. O mesmo procedimento foi realizado com as folhas e galhos finos, sendo retiradas amostras de 3 kg e 5 kg, respectivamente.

O peso total das 38 árvores foi compartimentado em: tronco, casca, galho grosso, galho fino, folha e flores e frutos (quando presentes) que contribuiram para determinação do peso total, teores de umidade, porcentagem do peso de massa seca e biomassa total e carbono total por árvore.

Estes dados foram submetidos à análise estatística descritiva e experimental chegando ao modelo matemático (7):

$$\ln PF = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP_i + \beta_2 \ln H_i + \ln \varepsilon_i \quad (7)$$

Em que:

\ln = logaritmo natural;

PF = peso fresco (kg);

β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes a serem estimados

DAP_i = diâmetro à altura do peito de cada árvore (cm);

H_i = altura total da árvore de cada árvore (m);

ε_i = erro aleatório do modelo.

As equações alométricas (alometria, do grego *allos* “outros” e *metron* “medida”) são a correlação entre o tamanho ou o número de organismos e seus componentes. Elas foram criadas para estimar variáveis de difícil mensuração, no caso a biomassa e o carbono florestal, baseando-se em variáveis de mais fácil obtenção, como DAP e Altura (ATAZADESH, 2011), a partir de modelos matemáticos.

Na Tabela 14 estão apresentados os dados estatísticos que geraram a equação alométrica desenvolvida por Higuchi et al. (1998) e utilizada nessa pesquisa para cálculo de biomassa e carbono.

Tabela 14 - Dados estatísticos referente ao coeficiente de regressão e ao erro padrão do modelo estatístico para estimar a biomassa da árvore em pé

MODELO MATEMÁTICO				
$\ln PF = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln H + \ln \varepsilon_i$				
b_0	b_1	b_2	r_2	S_{xy}
-2,694	2,038	0,902	0,98	812
EQUAÇÃO ALOMÉTRICA GERADA PARA DAP \geq 5 cm				
$\ln PF = -2,694 + 2,038 \ln DAP + 0,902 \ln H$				

Fonte: Produção do próprio autor, com dados de Higuchi et al (1998), onde: b_0, b_1, b_2 = coeficientes de regressão (estimadores dos parâmetros β_0, β_1 e β_2 , respectivamente); r_2 = coeficiente de determinação ajustado e S_{xy} = erro padrão de estimativa, PF = peso fresco

3.7.2 Cálculo da biomassa e carbono

Neste estudo considerou-se o reservatório de carbono presente na biomassa viva acima do solo (árvore), sem levar em consideração as raízes.

A estimativa da biomassa e carbono das árvores baseou-se em avaliações dendrométricas (medidas e/ou estimativas de árvores) de 658 indivíduos arbóreos distribuídos em 119 espécies, localizados em fragmentos florestais, em uma área de 10.000 m² existentes na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu, às margens do Rio do chapéu, local selecionado para instalação da CGH hipotética.

O método utilizado para calcular a biomassa arbórea foi o indireto (árvore em pé), ou seja, não foram causados danos à floresta, por não haver a supressão das árvores. Usou-se equação alométrica que relacionou as dimensões de DAP e H da árvore.

A partir do levantamento arbóreo das espécies e da quantidade de indivíduos foram realizadas as medições de CAP e H, em campo, que geraram as médias de CAP e H para cada espécie.

Para a determinação da estimativa de biomassa de cada espécie aplicou-se a equação alométrica (8), desenvolvida por Higuchi et. al. (1998):

$$\ln PF = -2,694 + 2,038 \ln DAP + 0,902 \ln H \quad [R^2 = 0,98 \text{ e } S_{yx} = 812] \quad (8)$$

Onde: ln = logaritmo natural; PF = peso fresco (kg); DAP = o diâmetro à altura do peito (cm); H = altura total; R^2 = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão de estimativa.

Para as palmeiras (*Euterpe edulis*) aplicou-se a equação alométrica (9), também desenvolvida por Higuchi et. al. (1998):

$$\ln PF = -1,497 + 2,548 \ln D \quad [R^2 = 0,97 \text{ e } S_{yx} = 1.729] \quad (9)$$

Onde: ln = logaritmo natural; PF = peso fresco (kg); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); R^2 = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão de estimativa.

Segundo Higuchi et al (1998) as equações alométricas (8) e (9) fazem referência ao peso fresco (PF) da árvore. Para se estimar a quantidade de carbono se realiza o cálculo de biomassa viva (peso seco) que é determinada a partir do peso fresco da árvore. Sendo que segundo os autores 60% do valor do peso fresco (PF) corresponde ao peso seco (PS), uma vez que os 40% corresponde à água. O valor de Carbono (C) corresponde a 48% do peso seco, sendo estimado em kg.

As equações possibilitaram determinar o peso fresco (PF) de cada espécie, a partir deste dado foi possível calcular o peso fresco, ou seja, a Biomassa, a quantidade de água, o valor total do carbono por espécie e a estimativa do total do carbono da área amostrada.

A estimativa do valor total de Carbono (C) na área amostrada resultou do somatório do C total por espécies, determinado a partir da equação alométrica aplicada a cada espécie que foi multiplicada pelo seu número de indivíduos e estimado em kg árvore⁻¹.

Na Tabela 15 estão apresentados os descritivos dos cálculos, pegando como exemplo a espécie *Calyptanthes grandifolia* O. Berg. Foram amostrados oito indivíduos dessa espécie e realizadas as medições de CAP e H, sendo usados na equação média aritmética do CAP (35,37cm) e H (7,63m) de cada indivíduo amostrado em campo. Cada CAP determinada foi

transformada, primeiramente em DAP pela fórmula (10):

$$DAP = CAP \div \pi \quad (10)$$

onde: $CAP = 35,37\text{cm}$ e $\pi = 3,14$

Aplicando os valores de CAP e π na fórmula: $DAP = 35,37 \div 3,14$, obtêm-se uma DAP (*Calyptranthes grandifolia* O. Berg) de 11,26 cm.

Para o cálculo do peso fresco (biomassa) dessa espécie aplicou-se a equação alométrica (8), onde as médias determinadas de DAP foram 11,26 cm e da H foram 7,63 m, obtendo-se o PF correspondente a $58,73 \text{ kg árvore}^{-1}$, conforme desenvolvimento do cálculo:

$$\begin{aligned} \ln PF &= -2,694 + 2,038 \ln D + 0,902 \ln H \\ \ln PF &= -2,694 + 2,038 \ln 11,26 + 0,902 \ln 7,63 \\ \ln PF &= 4,073 \\ \ln PF &= \log e^x \\ PF &= e^{4,073} \\ PF &= 58,76 \text{ kg árvore}^{-1} \end{aligned}$$

Sabendo-se que a equação alométrica utilizada refere-se ao cálculo de peso fresco (PF) ou biomassa da árvore e que 60% do valor da PF (biomassa) se refere ao peso seco (PS). Assim, obteve-se para a espécie *Calyptranthes grandifolia*, o valor do PS correspondente a 35,26 kg de biomassa, devido à amostragem de oito (8) indivíduos dessa espécie na área. Multiplica-se 35,26 kg de biomassa pelo número de indivíduos (8) e tem-se 282 kg (0,282t) de biomassa para essa espécie.

O valor do Carbono refere-se a 48% do Peso Seco, portanto, o valor do Carbono estimado e calculado corresponde a 16,92 kg, transformado para toneladas este valor equivale a 0,0169 t, porém na área foram amostrados oito indivíduos da espécie *Calyptranthes grandifolia*, multiplicando-se o valor de 0,0169 t pela quantidade de indivíduos da espécie amostrados têm-se o total de 0,135 toneladas de carbono da referida espécie.

Tabela 15 - Medições de DAP, H e os valores calculados para o Peso Fresco (PF-biomassa), o Peso Seco (PS), o Carbono (C em kg) e o Carbono (C tonelada) da espécie *Calyptranthes grandifolia* identificada na área de amostragem.

Família Botânica	ESPÉCIE	Média DAP (cm)	Média H (m)	PF (kg)	PS(60%) (kg)	C (48%) (kg)	C (t)
Myrtaceae	<i>Calyptranthes grandifolia</i>	11,26	7,63	58,76	35,26	16,92	0,0169
8 indivíduos					282,08	135,3	0,135

Fonte: Produção do próprio autor

Com dados do Carbono (em toneladas) de cada espécie foi calculado o valor de Carbono Total ($t\ C\ ha^{-1}$) estocados na área amostral, por meio do somatório do carbono (t) de todos os indivíduos arbóreos amostrados. Esses valores estão demonstrados no Capítulo 4 - Resultados.

3.8 FATORES À CONSIDERAR NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

No processo de restauração ecológica, além dos plantios dos indivíduos arbóreos, alguns fatores devem ser considerados como procedimentos, para que a restauração possa ser bem sucedida e cumpra com seus objetivos, conforme abordados no Capítulo 2 - Restauração ecológica. Sendo assim, a pesquisa propõe os procedimentos abaixo relacionados:

- Espécies e Sucessão Ecológica: as espécies arbóreas selecionadas serão as encontradas no levantamento de campo, ou seja, no ecossistema da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu. Devendo ser plantadas conforme a Resolução SMA nº 32, de 3 abril de 2014, que estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre a restauração ecológica no Estado de São Paulo e que foi embasada nas Resoluções SMA nº 21 de 21/11/2001, SMA nº 44 de 26/11/2003 e SMA nº 08 de 31/01/2008, também, estabelecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo.

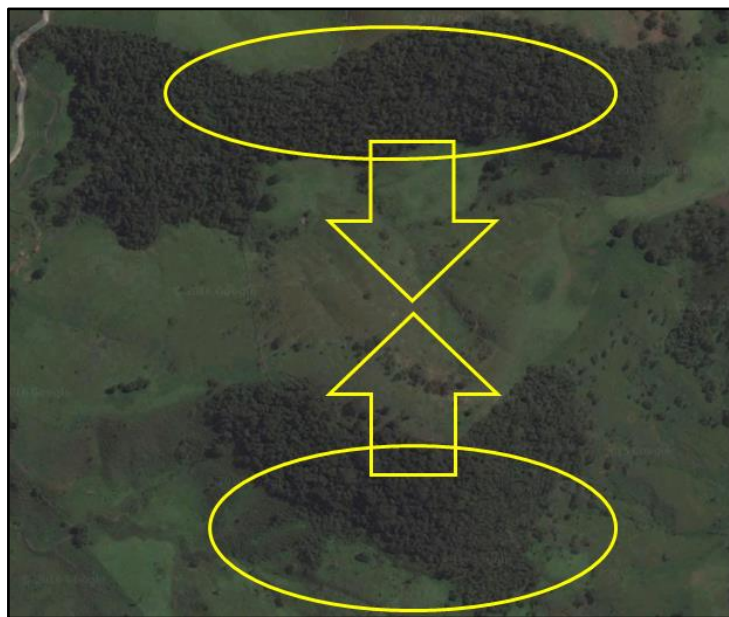
As espécies pertencerão aos grupos de sucessão ecológica: pioneira (pioneira e secundária inicial) e não pioneira (secundária tardia e climáceas), considerando o limite mínimo de 40% para quaisquer dos dois grupos, o mínimo de 20% de espécies zoocóricas nativas, 5% de espécies enquadradas nas categorias de ameaça, conforme estabelecido na Resolução SMA nº 08 de junho de 2008, bem como, espécies de rápido desenvolvimento para sequestrar o carbono, em curto espaço de tempo e proporcionar a compensação ambiental também em menor tempo.

- Biodiversidade e Regionalidade: para que os indivíduos introduzidos na restauração tenham os genes representativos das espécies ou da população local, as mudas e as sementes introduzidas no processo de restauração devem ser de procedência conhecida e adquiridas de viveiros florestais fidedignos existentes na região.
- Outras formas de vida: devem se introduzidas espécies dos grupos das lianas, das epífitas, das ervas e dos arbustos como espécies-chave, para favorecer a polinização e

dispersão de sementes, pois todos os componentes de uma floresta estão intimamente ligados e apresentam variado grau de interdependência, por tanto, além das espécies arbóreas, outras formas de vida vegetal são essenciais para a formação de uma estrutura semelhante à encontrada nas florestas.

- Visão ecossistêmica do processo de restauração: as espécies arbóreas não devem ser o único foco no processo de restauração e, sim, a interação desta com o meio biótico e abiótico para que seja alcançado o equilíbrio ecológico do sistema. Utilizando-se espécies que possam incorporar maior quantidade de matéria orgânica no solo (caducifólias), realizem uma maior interceptação das águas da chuva, retenham água no solo, fixem o nitrogênio no solo, depositem e decomponham a serapilheira, ou seja, espécies que possam modificar as características abióticas do meio.
- Corredores ecológicos: no processo de restauração ecológica a formação de corredores ecológicos é fundamental para que ocorra o fluxo gênico da fauna e flora, unindo os fragmentos florestais isolados na paisagem local, conforme a Figura 22 que representa uma área na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu que a ser restaurada funcionará como corredor ecológico.

Figura 22 - Fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu para implantação de corredores ecológicos



Fonte: Produção do próprio autor, a partir de imagem do google maps

3.9 AÇÕES OPERACIONAIS À CONSIDERAR NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

As áreas prioritárias para a restauração ecológica serão as áreas de preservação permanente - APPs (nascentes e matas ciliares - vegetação das margens dos cursos d'água). A priorização das APPs decorre da sua importância quanto à proteção dos recursos hídricos, formação de corredores ecológicos e a questão legal.

Algumas ações devem ser tomadas antes da implantação da restauração florestal, entre elas, a identificação de possíveis fatores de degradação, tais como: o fogo, a extração predatória de vegetais, de madeira, da fauna, o desmatamento, a criação pecuária, os cultivos agrícolas, a presença de espécies vegetais invasoras e exóticas (pinus e eucalipto) e a construção de estradas. Para a eliminação desses fatores degradantes recomenda-se cercar a área.

Cabe ressaltar que esta pesquisa levou em consideração a restauração florestal para mitigar a captura de CO₂ devido à implantação de uma CGH hipotética. Sendo assim, foi estabelecido o plantio total da área em APPs.

A área a ser restaurada deve estar preparada para receber as espécies florestais, fazendo-se necessária a retirada de espécies competidoras, como gramíneas agressivas (capim colônia - *Panicum maximum*, capim elefante - *Pennisetum purpureum*, braquiária - *Brachiaria brizantha*, bambu - *Phyllostachys sp.*, entre outras) e espécies arbóreas exóticas (pinus - *Pinus elliotti*, cinamomo - *Melia azedarach*, eucalipto - *Eucalyptus sp.*, entre outras).

A limpeza da área pode ser feita manualmente (roçada com foice), semimecanizada (roçadeira costal), mecanizada (trator com roçadeira acoplada) ou por meio da aplicação de herbicidas em locais permitidos, considerando as condições encontradas em cada área, optando-se por mais de um tipo de limpeza do terreno. Quando se utilizar herbicidas deve-se tomar cuidado com os recursos hídricos de consumo humano e animal.

Após, a limpeza da área deve-se observar a presença de formigas cortadeiras, vistoriando pela manhã e ao anoitecer e estendendo a vistoria para as áreas adjacentes.

Para combater às formigas utilizam-se: iscas granuladas (que devem ser incorporadas ao solo 30 dias antes do plantio, durante sua fase de seu preparo ou aplicadas diretamente nas formigas carreadoras, acatando as recomendações de forma de uso e dosagens indicadas pelo fabricante), formicidas em pó seco (que são aplicados com pulverizadores diretamente nos olheiros dos formigueiros por contato, quando há necessidade de ação em curto prazo) e termonebulização (que consiste em formicida líquido transformado em fumaça por contato

direto nas formigas saúvas). A aplicação de formicidas deve ser repetida sempre que se constatar a presença de olheiros e formigas na área a restaurar.

Outro fator importante é espaçamento das mudas, no processo de plantio, que dependerá do grau de degradação da área, da disponibilidade de recursos financeiros e humanos. A definição do espaçamento é de extrema importância, uma vez que influencia a taxa de crescimento da árvore, o manejo e a quantidade de biomassa produzida. Segundo MORAES et al. (2013) pode-se utilizar variados espaçamentos, dependendo dos objetivos e técnicas adotadas na restauração. A Tabela 16 apresenta os principais espaçamentos utilizados em plantios florestais.

Tabela 16 - Espaçamentos utilizados em plantios de espécies nativas

ESPAÇAMENTO (entre linhas x linhas)	DENSIDADE (nº de indivíduos arbóreos / ha)
2,5 m x 2,5 m	1.600
3,0 m x 2,0 m	1.667
2,5 m x 2,0 m	2.000
3,0 m x 1,5 m	2.224
2,0 m x 2,0 m	2.500

Fonte: Adaptado de Moraes et al. (2013)

Quanto maior a densidade do plantio (árvores) mais rápido o solo será sombreado e a vegetação herbácea será eliminada. Entretanto, as grandes densidades podem dificultar o processo de manutenção da área.

Nesse trabalho foi adotado o espaçamento de 3 m x 2 m resultando em uma densidade de 1.667 indivíduos, conforme estabelecido pelo IPCC (2006) para os reflorestamentos com objetivo de compensação dos GEE.

No plantio as covas devem ser abertas nas dimensões mínimas de 40 cm (largura) x 40 cm (comprimento) x 40 cm (profundidade). A terra retirada das covas deve ser homogeneizada para a melhoria física e mecânica do solo, favorecendo sua descompactação.

Devido aos diferentes tipos de solo, situações de compactação e nutrientes, há a necessidade de realizar análises físicas e químicas do solo. Para a análise do solo recomendam-se que as amostras sejam retiradas dois meses antes do preparo do solo e sua adubação siga as especificações do laboratório de solos, mediante as análises.

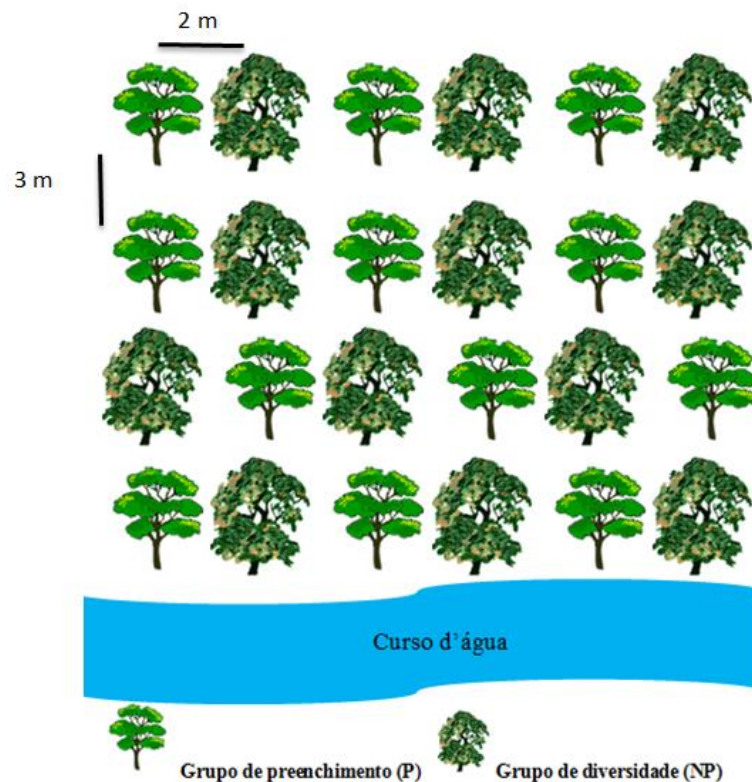
A adubação introduzida à área deve ser realizada, após a análise química e física do solo, de forma a evitar desperdício de adubo e otimizar os custos. Na fase inicial de desenvolvimento das mudas deve-se realizar a adubação de base, composta por fosfato, uma

vez que o fósforo é considerado um macronutriente essencial à planta e por possuir baixa mobilidade no solo.

O adubo deve conter micronutrientes, pois planta necessita, em menor quantidade, porém são essenciais ao seu desenvolvimento, devendo ser adicionado no fundo da cova ou misturado à terra que foi retirada da cova. Já o nutriente Nitrogênio e o Potássio, que são classificados como macronutrientes, devem ser introduzidos, também, na adubação de cobertura, devido a sua facilidade de lixiviação (processo de perda pelas chuvas e pela infiltração de água no solo).

Existem diferentes modelos de plantio. Nesse trabalho, adotou-se o de área total, objetivando a compensação de CO₂ emitido à atmosfera pela introdução da CGH hipotética, com alta diversidade de espécies e de acordo com os grupos sucessionais. Para essa etapa é importante que as mudas sejam separadas no viveiro florestal, por espécies e grupos de preenchimento (pioneiras - P) e de diversidade (não pioneiras - NP). Como o plantio será realizado em espaçamento de 3 m x 2 m, linhas e entrelinhas, a densidade será de 1.667 indivíduos por hectare, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Modelo de plantio com diferentes grupos ecológicos



A realização do coroamento das mudas (remoção da vegetação presente em um raio de 50 cm ao redor da muda ou do indivíduo que regenerou na área) é uma atividade necessária, pois tem como objetivo evitar a competição entre a espécie arbórea plantada e as espécies herbáceas regenerantes, por água, luz e nutrientes. Pode ser realizada manualmente ou por controle químico.

No controle químico, são utilizados herbicidas, porém devem ser usados de forma cautelosa, uma vez que podem interferir no banco de sementes e plântulas existentes no solo.

Alguns autores recomendam herbicidas à base de glifosato pela sua rápida degradação e por não afetarem o banco de sementes. Durigan et al. (2003) recomendam a aplicação de herbicida seletivo (específico à espécie herbácea a ser combatida) para que sejam preservadas as plântulas.

A irrigação das mudas é uma atividade dispendiosa, mas extremamente importante para manutenção das plantas, principalmente em época de estiagem. Por isso, é recomendado o plantio em época chuvosa ou a utilização de hidrogel para evitar ou diminuir as irrigações.

Esta atividade deve ser realizada até verificar que as mudas sobreviveram e, preferencialmente, duas vezes ao dia, no período matutino e vespertino, variando a quantidade de dias, conforme o tipo de solo, sua umidade e insolação. Os equipamentos mais utilizados são regadores, mangueiras, tanque pipa e moto-bomba acoplado a tratores.

A adubação de cobertura é outra atividade importante para o sucesso do desenvolvimento das espécies, sendo realizada na coroa e após a capina, objetivando o incremento (crescimento em altura e diâmetro) dos indivíduos plantados e das espécies regenerantes presentes na área restaurada.

O número de adubações será definido conforme as necessidades do solo, sendo a primeira adubação de cobertura realizada 30 dias, após plantio e as demais com intervalos de dois meses, utilizando-se adubo com a fórmula NPK 20:05:20 ou equivalente. Para substituir a adubação química, pode-se utilizar adubação orgânica (esterco de gado, galinha ou outros) na proporção de 5 a 10 litros incorporados ao solo.

O monitoramento do plantio, com o propósito de avaliar o projeto de restauração, ou seja, acompanhar a evolução do desenvolvimento das mudas no processo de restauração ecológica, garantir sua sobrevivência e a sucessão ecológica, deve ser realizado em um período mínimo de três anos, após o plantio e de forma sistemática, conforme estabelecido pela Resolução SMA nº32, de 3 abril de 2014. Para isso, é necessário estabelecer indicadores

que possam avaliar os indivíduos, a fisionomia e a diversidade da área (RODRIGUES; BRANCALION, 2009; MORAES et al., 2013)

Moraes et al. (2013) sugerem alguns indicadores que devem ser considerados no monitoramento, tais como:

- a) sobrevivência das mudas: após 30 e 60 dias do plantio, deve-se verificar a sobrevivência das plantas e se há necessidade de refazer o plantio;
- b) desenvolvimento das mudas: verificação das medidas em altura, diâmetro médio das copas e diâmetro do tronco (na base ou à altura do peito);
- c) controle das plantas invasoras: observar se houve desenvolvimento de plantas invasoras e realizar sua eliminação;
- d) recrutamento de plântulas: favorecer o surgimento de plântulas de espécies florestais, por meio do banco de sementes, de animais dispersores de frutos e de sementes próximos a área;
- e) presença da fauna: indícios da fauna (ninhos, tocas, fezes, entre outros) à área restaurada evidenciam que os animais estão encontrando alimento e/ou abrigo, indicando o sucesso do plantio.

Outros fatores devem ser levados em consideração na fase de monitoramento, como: realização da limpeza nas coroas das mudas, combate à formiga, adubação de cobertura, após plantio que garantam a sobrevivência dos indivíduos, pois no início do processo de restauração as mudas plantadas não estão suficientemente adaptadas ao meio e podem sofrer com a competição da vegetação invasora (MORAES et al., 2013; RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Para a avaliação de projetos de restauração ecológica, diversos grupos de fauna, flora e microfauna têm sido propostos, como indicadores de avaliação e monitoramento (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004; SILVEIRA et al., 2005; JACOVAC, 2007), entretanto ainda não se chegou a um critério de uso universal.

3.10 TÉCNICAS PARA AUXILIAR A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

No sentido de ampliar as possibilidades de sucesso da restauração ecológica serão recomendadas técnicas de nucleação que possibilitem a recomposição do ambiente degradado, de modo a recriá-lo semelhante ao que existia antes da instalação da CGH. Tais técnicas,

também, são passíveis de serem utilizadas em projetos que objetivam conter o efeito das mudanças climáticas.

- Condução da regeneração natural: Nas áreas com menor grau de perturbação pode ser indicada a regeneração natural, devido os processos ecológicos, estarem ainda, atuantes e podendo assim, manter as condições de resiliência, ou seja, a autoperpetuação, por meio de banco de sementes, de plântulas, de chuva de sementes e rebrota (SÃO PAULO, 2004).

Para que ocorra a regeneração natural é indispensável à existência de fontes de propágulos no solo, como os bancos de sementes e plântulas (Figura 24) ou as chuvas de sementes de fragmentos próximos a área de restauração. Para o estabelecimento das plântulas e a manutenção do seu ciclo de vida, é essencial a presença de dispersores, como os insetos, aves, morcegos e mamíferos, boas condições edáficas e microclimáticas (SÃO PAULO, 2004; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

A regeneração natural pode ser acelerada através do controle periódico, químico ou mecânico dos competidores, seja por coroamento dos indivíduos regenerantes (plântulas e indivíduos jovens), como pelo controle de gramíneas agressivas, pois as áreas ocupadas por esta vegetação apresentam baixo potencial de regeneração natural (SÃO PAULO, 2004; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

Figura 24 - Regeneração natural com presença de plântulas



Fonte: Produção do próprio autor

- Adensamento: quando existem espaços não cobertos pela vegetação natural ou por plântulas da regeneração natural utiliza-se a prática do adensamento, que consiste no plantio de mudas de espécies iniciais do processo de sucessão ecológica, tais como: as pioneiras e secundárias iniciais, para aumentar as populações de algumas espécies de alta densidade (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

A indução do banco de sementes da área a ser restaurada é mais uma forma de se obter o adensamento, uma vez que esta prática favorece o processo de germinação e o rápido crescimento das plântulas que irão sombrear e ocupar os espaços livres da área. Nas áreas onde o solo é desprovido de banco de sementes ou se estas não forem induzidas ou conduzidas de forma adequada, deve-se realizar o plantio de espécies iniciais da sucessão ecológica (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

- Enriquecimento: esse método é aplicado em área de vegetação nativa com baixa diversidade florística. Consiste em reintroduzir nos fragmentos degradados outras espécies de grupos sucessionais distintos, para garantir alta diversidade. O enriquecimento representa a introdução de espécies dos estádios finais de sucessão, como as secundárias tardias e climáceas, principalmente espécies de maior interação com a fauna e com as demais formas vegetais, como: lianas, herbáceas e arbustos, com o objetivo de resgatar a diversidade genética da área (SÃO PAULO, 2004; RODRIGUES; BRANCALION, 2009).

Esta atividade não define espaçamento e alinhamento no processo de plantio, ou seja, as mudas são plantadas aleatoriamente. As mudas introduzidas e as plântulas em processo de regeneração natural, também devem receber manutenção, como controle de formigas e de plantas invasoras (SÃO PAULO, 2004).

- Espécies atrativas à fauna: a relação entre fauna e flora tem influência em vários processos ecológicos, como: dispersão, polinização e predação, sendo importante na perpetuação do ecossistema, pois a fauna ao deixar os frutos ou sementes na área degradada possibilitará a germinação das sementes, conseqüentemente perpetuará as espécies. Muitos animais, como os insetos e aves auxiliam na polinização (transporte do grão de pólen da antera para o estigma das flores das angiospermas), essencial ao processo reprodutivo dos vegetais superiores. Na predação (relação ecológica entre indivíduos de espécies distintas) de frutos, os animais (aves e roedores) podem derrubar e/ou defecar as sementes possibilitando sua germinação.

Portanto, a fauna torna-se extremamente importante para a dispersão de propágulos, processo essencial na sucessão ecológica, sua ausência poderia comprometer a sustentabilidade da restauração (MONTALVO et al., 1997).

Para os processos de restauração, os polinizadores têm um papel insubstituível, garantindo o fluxo gênico e a formação de frutos nas espécies arbóreas das florestas tropicais.

A fauna, também, é importante para o processo de dispersão das sementes, conhecido como síndrome zoócora. Cerca de 60 a 90% dos frutos, das espécies florestais tropicais, são dispersos pela fauna e este processo envolve animais mais generalistas do que no processo de polinização, ou seja, uma espécie que possui fruto zoocórico, geralmente pode atrair animais de espécies, habitats, tipos e tamanhos bastante distintos (MORELLATO; FILHO 1992).

Portanto, a implantação de espécies atrativas a fauna, como morcegos, aves e insetos é importante para acelerar o processo de restauração, pois aumenta a intensidade da chuva de sementes e muitas espécies arbóreas podem servir como poleiros, abrigos e locais de nidificação (reprodução).

- **Nucleação:** Para alcançar o objetivo da restauração em “promover a dinâmica de sucessão ecológica, onde ocorram níveis intensos de interação entre produtores, consumidores e decompositores, num ciclo contínuo de morte e nascimento” (TRÊS, 2006) recomenda-se a utilização das técnicas de nucleação.

A técnica de nucleação foi preconizada pelos autores Yarranton; Morrison (1974) e definida como sendo a capacidade que uma espécie tem em melhorar significativamente o ambiente, através da aceleração da sucessão primária.

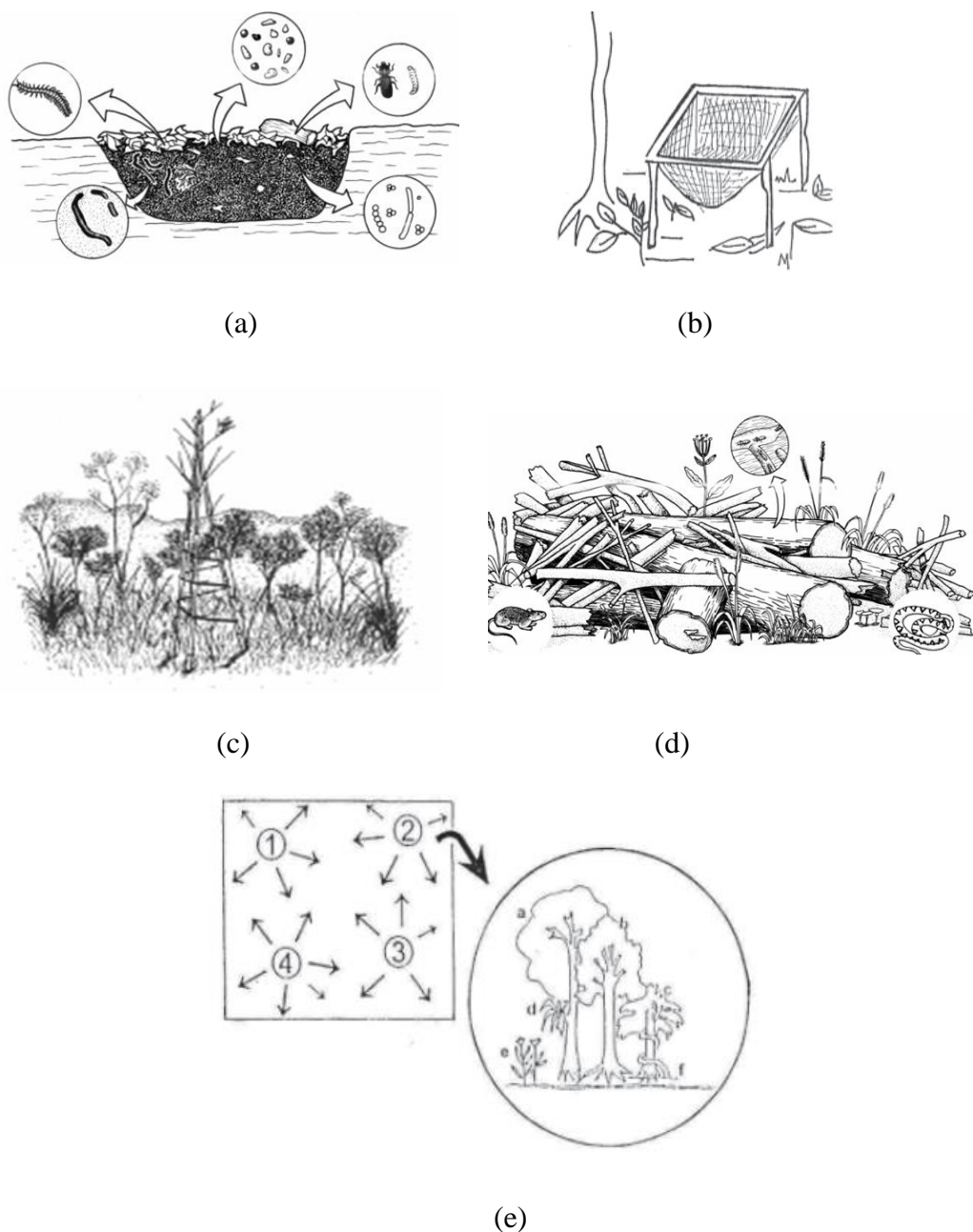
O processo de sucessão natural é acelerado com a implantação de ilhas ou núcleos de vegetação, compostos por espécies “chaves” que auxiliarão na expansão da comunidade vegetal. Desta forma, essas técnicas irão promover “gatilhos ecológicos” para a transformação do meio ambiente, criando condições para a formação da primeira comunidade natural, ou seja, o favorecimento do aparecimento da fauna, flora e micro-organismos (REIS et al., 2003; MARTINS, 2007; TRES, REIS, 2007, BECHARA, 2006).

Reis et al. (2003) citam como técnicas de nucleação (Figura 25) as descritas abaixo:

- **Transposição de solo:** consiste na coleta de 1 m² de solo rico em matéria orgânica e banco de sementes que são introduzidos na área de restauração;
- **Transposição de chuvas de sementes:** realiza a coleta de sementes, em fragmentos próximos que são introduzidos na área de restauração;

- **Poleiros artificiais:** são estruturas que imitam galhos secos de plantas e servem como repouso para a fauna, garantindo a dispersão das sementes;
- **Transposição de galharia:** técnica de acumular galhos, tocos e resíduos florestais para atrair a microfauna e macrofauna do solo na área de restauração;
- **Grupos adensados de diversidade:** técnica de selecionar espécies para formar núcleos de espécies chaves que se desenvolve em altura e lateralmente.

Figura 25 - Técnicas de Nucleação: (a)transposição de solo, (b)transposição de galharia, (c)poleiros artificiais, (d)coletor para chuva de sementes, (e)grupos adensados de diversidade



CAPÍTULO 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos do sequestro de carbono florestal, por meio da medição da biomassa das espécies arbóreas amostradas na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu, as emissões de CO₂ na atmosfera devido à área inundada (reservatório) da CGH e a restauração ecológica da bacia de contribuição da CGH, identificando os fatores, as ações e as principais técnicas considerados no processo de restauração para a compensação ambiental das emissões de CO₂.

4.1 SEQUESTRO DE CARBONO FLORESTAL

O processo de obtenção do sequestro de carbono aplicado nessa pesquisa foi o indireto, ou seja, por meio do cálculo da biomassa florestal, na qual não houve supressão das árvores.

As plantas no processo de fotossíntese absorvem CO₂ atmosférico que é incorporado a sua biomassa vegetal, porém a quantidade de C presente na biomassa é variável de indivíduo para indivíduo e de um local para outro.

A medição da biomassa é um instrumento fundamental na avaliação de um ecossistema, pois com sua obtenção vários parâmetros podem ser analisados, entre eles: a produtividade, a conversão de energia, a ciclagem de nutrientes, a absorção e armazenagem de energia solar.

Nesse estudo, foi estimada a biomassa aérea de 658 indivíduos arbóreos amostrados, obtendo-se o valor de 129,80 t ha⁻¹. Essa biomassa foi transformada em carbono (t) que possibilitou o cálculo do carbono total (t C ha⁻¹) da área, ou seja, em 1 ha, resultando no valor de 62,25 t C ha⁻¹, conforme dados apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Composição florística da área amostrada na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu e dados do peso fresco (PF), peso seco (PS), carbono (C) e carbono total (CT) por espécie.

FAMÍLIA	ESPÉCIE	N° un.	PF kg	PS (60%) kg/árvore	(continua)	
					C (48%) kg/árvore	CT t/espécie
Leguminosae	<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) Benth.	5	20,67	12,4	5,95	0,030
Opiliaceae	<i>Agonandra englerii</i> Hoehne	2	71,01	42,61	20,45	0,041
Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervea</i> (Spring.) Macbr.	10	825,87	495,52	237,85	2,378
Rubiaceae	<i>Alibertia concolor</i> (Cham.) K.Schum	3	82,42	49,45	23,74	0,071
Sapindaceae	<i>Allophylus petiolulatus</i> Radlk.	2	12,67	7,6	3,65	0,007
Rubiaceae	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	1	282,9	196,74	81,47	0,08

Tabela 17 - Composição florística da área amostrada na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu e dados do peso fresco (PF), peso seco (PS), carbono (C) e carbono total (CT) por espécie.

FAMÍLIA	ESPÉCIE	N° un.	PF kg	PS (60%) kg/árvore	Continuação)	
					C (48%) kg/árvore	CT t/espécie
Apocynaceae	<i>Aspidosperma olivaceum</i> M. Arg.	5	61,34	36,8	17,66	0,09
Rubiaceae	<i>Bathysa</i> sp	2	14,31	8,59	4,12	0,008
Lauraceae	<i>Cinnamomum pseudo glaziovii</i> Lorea-Hern	2	39,93	23,96	11,5	0,023
Lauraceae	<i>Beilschmiedia emarginata</i> (Meisn.) Kostem.	2	97,44	58,46	28,06	0,056
Malpighiaceae	<i>Byrsonima</i> sp	3	334,41	200,65	96,31	0,289
Myrtaceae	<i>Calyptanthes grandifolia</i> O. Berg	8	58,76	35,26	16,92	0,135
Myrtaceae	<i>Calyptanthes</i> sp	16	89,23	53,54	25,7	0,411
Flacourtiaceae	<i>Casearia lasyophylla</i> Eichler	5	768,8	461,28	221,41	1,107
Oleaceae	<i>Chionanthus filiformes</i> Vell.	1	20,63	12,38	5,94	0,006
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum viride</i> Mart. & Eichler.	4	898,75	539,25	258,84	1,035
Icacinaceae	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard	2	116,54	69,92	33,56	0,067
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers.	1	2000,87	1200,52	576,25	0,576
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> var. <i>laevigata</i> (Meisn.) Sleum	2	1155,95	693,57	332,91	0,666
Lauraceae	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	5	287,18	172,31	82,71	0,413
Lauraceae	<i>Cryptocarya moschata</i> Ness et Mart.	2	757,97	454,78	218,29	0,436
Lauraceae	<i>Cryptocaria</i> sp	2	1422	853,2	409,54	0,819
Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meissner) Nevl.	4	153,29	91,97	44,14	0,176
Araliaceae	<i>Didymopanax angustissimum</i> E. March	15	159,99	95,99	46,07	0,691
Araliaceae	<i>Didymopanax falcatus</i> E. March.	4	557,35	334,41	160,52	0,642
Sapotaceae	<i>Diplöon cuspidatum</i> (Hoehne) Cronquist	7	1529,49	917,69	440,49	3,083
Annonaceae	<i>Duguetia salicifolia</i> R. E. Fr.	8	205,79	123,47	59,26	0,474
Myrtaceae	<i>Eugenia Mosenii</i> (Kausel) Sobral	6	425,8	255,48	122,63	0,736
Myrtaceae	<i>Eugenia Stictosepala</i> Kiaersk.	3	33,66	20,2	9,7	0,0291
Myrtaceae	<i>Eugenia beaurepaereana</i> (Kiaersk.) Legr	1	8,32	4,99	2,39	0,0024
Myrtaceae	<i>Eugenia prasina</i> O. Berg	8	127,9	76,74	36,83	0,295
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp	3	131,85	79,11	37,97	0,114
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart	34	108,89	65,31	26,13	0,888
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> D. Zappi	7	74,71	44,83	21,52	0,151
Nyctaginaceae	<i>Guapira hoehnei</i> (Standl.) Lundell	1	178,6	107,16	51,44	0,051
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	9	262,02	157,21	75,46	0,679
Nyctaginaceae	<i>Guapira</i> sp	3	98,79	59,27	28,45	0,085
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	12	640,33	384,2	184,42	2,213
Annonaceae	<i>Guatteria australis</i> A. St. Hil.	7	31,23	18,74	8,99	0,063
Aquifoliacea	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	6	78,15	46,89	2,51	0,041
Aquifoliacea	<i>Ilex taubertiana</i> Loes	1	25,35	15,21	7,3	0,007
Leguminosae	<i>Inga marginata</i> Willd.	5	32,8	19,68	9,45	0,047
Leguminosae	<i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart	13	65,32	39,19	18,81	0,244
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i> Cham	14	161,33	96,8	46,46	0,650
Monimiaceae	<i>Macropeplus ligustrimus</i> (Tul.) Perkins	3	92,31	55,39	26,59	0,080

Tabela 17 - Composição florística da área amostrada na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu e dados do peso fresco (PF), peso seco (PS), carbono (C) e carbono total (CT) por espécie.

(Continuação)						
FAMÍLIA	ESPÉCIE	N° un.	PF kg	PS (60%) kg/árvore	C (48%) kg/árvore	CT t/espécie
Myrtaceae	<i>Marlierea obscura</i> O. Berg	5	385,24	231,14	110,95	0,555
Myrtaceae	<i>Marlieria suaveolens</i> Cambess.	5	67,21	40,33	19,36	0,097
Celastraceae	<i>Maytenus revonymoides</i> Reiss.	2	143,03	85,82	41,19	0,082
Celastraceae	<i>Maytenus robusta</i> Reiss.	4	123,19	73,91	33,99	0,136
Sabiaceae	<i>Meliosma sinuata</i> Urb.	5	49,31	29,59	14,2	0,071
Melastomataceae	<i>Meriania</i> sp	4	40,27	24,16	11,6	0,046
Melastomataceae	<i>Miconia Cubatanensis</i> Hoehne	4	41,63	24,98	11,99	0,048
Melastomataceae	<i>Miconia formosa</i> Cogn.	1	259,52	155,71	74,74	0,074
Melastomataceae	<i>Miconia brunea</i> Mart.	10	12,45	7,74	3,58	0,036
Melastomataceae	<i>Miconia budlejoides</i> Triana	5	12,69	7,61	3,65	0,018
Melastomataceae	<i>Miconia fasciculata</i> Gard.	1	13,11	7,87	3,78	0,004
Melastomataceae	<i>Miconia pusiliflora</i> (DC) Triana	9	52,59	31,55	15,14	0,136
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp	3	35,14	21,08	10,12	0,030
Sapotaceae	<i>Micropholis gardneriana</i> (A.DC.) Mez.	19	1588,81	953,29	457,58	8,694
Monimiaceae	<i>Mollinedia Engleriana</i> Perkins	1	139,55	83,73	40,19	0,04
Monimiaceae	<i>Mollinedia gilgiana</i> Perkins	6	577,49	346,49	166,31	0,998
Monimiaceae	<i>Mollinedia Luisae</i> Peixoto	1	7,34	4,4	2,11	0,002
Monimiaceae	<i>Mollinedia cyatantha</i> Perkins	4	23,78	14,27	6,85	0,027
Monimiaceae	<i>Mollinedia elegans</i> Tue.	6	19,3	11,58	5,56	0,033
Monimiaceae	<i>Mimosa scrabella</i>	13	188,33	113	54,24	0,705
Myrtaceae	<i>Myrceugenia myrcioides</i> (Cambess.) O. Berg	5	237,95	142,77	68,53	0,343
Myrtaceae	<i>Myrcia fallax</i> (Rich) DC.	2	10,02	6,01	2,88	0,006
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp	3	27,69	16,61	7,97	0,023
Lauraceae	<i>Nectandra membranaceae</i> (Sw.) Griseb.	4	3545,34	2127,2	1021,06	4,086
Lauraceae	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	14	150,78	90,47	43,51	0,609
Lauraceae	<i>Ocotea bicolor</i> Vatt.-Gil	4	157,74	94,64	45,43	0,182
Lauraceae	<i>Ocotea catharinensis</i> Mez	5	389,7	233,84	112,24	0,561
Lauraceae	<i>Ocotea daphnifolia</i> Mez	1	13,57	8,14	3,91	0,004
Lauraceae	<i>Ocotea dispersa</i> (Ness) Mez	6	709,3	425,58	204,28	1,225
Lauraceae	<i>Ocotea elegans</i> Mez	30	263,61	158,17	75,92	2,277
Lauraceae	<i>Ocotea notata</i> (Nees) Mez	5	3050,63	1830,38	878,58	4,393
Lauraceae	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	4	165,13	99,08	47,56	0,19
Lauraceae	<i>Ocotea porosa</i> (Nees) Barroso	2	333,02	199,81	95,91	0,192
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	2	1162,75	697,65	334,87	0,670
Lauraceae	<i>Ocotea pulchra</i> Vatt.-Gil	4	103,64	62,18	29,85	0,119
Lauraceae	<i>Ocotea</i> sp	4	19,02	11,41	5,48	0,021
Lauraceae	<i>Ocotea vaccinioides</i> (Meisn.) Mez	1	78,37	47,02	22,57	0,022
Lauraceae	<i>Persea pyrifolia</i> Nees	1	1461,42	876,85	420,89	0,421
Lauraceae	<i>Persea</i> sp	4	306,89	184,13	88,38	0,353

Tabela 17 - Composição florística da área amostrada na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu e dados do peso fresco (PF), peso seco (PS), carbono (C) e carbono total (CT) por espécie.

FAMÍLIA	ESPÉCIE	N° un.	PF kg	PS (60%) kg/árvore	(Conclusão)	
					C (48%) kg/árvore	CT t/espécie
Simaroubaceae	<i>Picramnia glazioviana</i> Engler	2	17,34	10,4	4,99	0,009
Myrtaceae	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (G.) Landrum	12	396,77	238,06	114,27	1,599
Sapotaceae	<i>Pouteria laurifolia</i> (Gomes) Radlk.	3	417,79	250,67	120,32	0,361
Sapotaceae	<i>Pouteria psammophila</i> (Mart.) Radlk.	2	3009,99	1805,99	866,87	1,734
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i> (L) Urban	6	12,69	7,61	3,65	0,022
Rubiaceae	<i>Psychotria sp</i>	3	590,89	354,53	170,17	0,510
Rubiaceae	<i>Psychotria suterella</i> Mull. Arg.	4	39,36	23,62	11,34	0,045
Rubiaceae	<i>Psychotria vellosiana</i> Benth	16	33,62	20,17	9,68	0,155
Quinaceae	<i>Quina glaziovii</i> Engl.	1	7,11	4,27	2,05	0,002
Myrsinaceae	<i>Rapanea gardneriana</i> (A DC.) Mez	8	21,15	12,69	6,09	0,048
Myrsinaceae	<i>Rapanea lineata</i> Mez	10	17,54	10,52	5,05	0,050
Myrsinaceae	<i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez	6	9,42	5,65	2,71	0,016
Annonaceae	<i>Rollinia sylvatica</i> (A. ST.-Hil) Mart.	8	917,22	550,33	264,16	2,034
Euphorbiaceae	<i>Sapium sp</i>	2	153,59	92,15	44,23	0,088
Leguminosae	<i>Sclerobium denudatum</i> Vog	2	20,63	12,38	5,94	0,012
Myrtaceae	<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg	12	467,32	280,39	134,57	1,614
Myrtaceae	<i>Siphoneugena kiaerskoviana</i> (Burret) Kaus	1	444,28	266,57	127,95	0,127
Monimiaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	1	115,79	69,47	33,34	0,033
Monimiaceae	<i>Siparuna brasiliensis</i> (Spreng) A.DC.	7	15,23	9,14	4,39	0,031
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> Aubl.	2	89,43	53,66	25,76	0,051
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea monosperma</i> Vell.	1	42,48	25,49	12,32	0,123
Solanaceae	<i>Solanum cinnamomeum</i> Sendtn.	3	345,81	207,49	99,59	0,298
Solanaceae	<i>Solanum rufescens</i> Sendtn.	6	11,98	7,19	3,45	0,021
Moraceae	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) Burg. & Boer.	12	80,83	48,5	23,28	0,279
Moraceae	<i>Ficus glaba</i> Vell	5	107,57	64,54	30,98	0,154
Styracaceae	<i>Styrax sp</i>	2	437,42	262,45	125,9	0,251
Symplocaceae	<i>Symplocos variabilis</i> Mart. Ex Miq.	11	43,45	26,07	12,51	0,138
Symplocaceae	<i>Symplocos falcata</i> Brand.	2	97,44	58,46	28,06	0,056
Melastomataceae	<i>Tibouchina gaudichaudiana</i> (D.C.) Baillon	11	11,13	6,68	3,21	0,035
Melastomataceae	<i>Tibouchina pulchra</i> Cogn.	4	60,46	36,28	17,41	0,069
Humiriaceae	<i>Vantanea compacta</i> (Schnizl.)	2	51,19	30,71	14,74	0,029
Asteraceae	<i>Vernonia diffusa</i> Less	6	10,58	6,35	3,05	0,018
Asteraceae	<i>Vernonia puberula</i> Less.	8	1413,68	848,21	407,1	3,256
Vochysiaceae	<i>Vochysia magnifica</i> Warm.	6	624,22	374,53	179,77	1,078
Cunoniaceae	<i>Weinmania paullinifolia</i> Pohl ex Seringe	3	221,68	133,01	63,84	0,191
Carbono Total das Espécies					62,25 t C ha⁻¹	

Fonte: Produção do próprio autor

Cabe ressaltar que a Tabela 17 reúne dados obtidos de um levantamento em campo, na qual são utilizadas médias de DAP e H e a quantidade de indivíduos de cada espécie existente na área de amostragem (Apêndice I).

Analisando esses dados observa-se que os números de indivíduos (Nº) amostrados na área de estudo variaram de 1 a 34. Isso pode estar relacionado ao grau de desenvolvimento da floresta, em termos de maturidade, conforme o processo de sucessão ecológica, ou seja, quanto maior o desenvolvimento da floresta, maior será o número de espécies por área e menor o número de indivíduos da mesma espécie (Riqueza Biológica). Porém, a grande quantidade de indivíduos amostrados da espécie *Euterpe edulis* Mart (palmito juçara) pode se caracterizar pela alta preservação da área florestada.

O peso fresco (PF) variou de 7,11 kg a 3.545,34 kg, sendo que este está diretamente relacionado com a dimensão do diâmetro e da altura da árvore, conseqüentemente quanto maior o diâmetro e a altura maior o PF.

Por sua vez, a biomassa ou peso seco (PS) e o carbono (C) estão diretamente associados a PF, que são influenciados pelo diâmetro e altura da árvore, muito mais do que pelo número de indivíduos por espécie, desta forma suas quantidades se apresentam diferenciadas.

Diversos fatores influenciam o acúmulo de biomassa nos indivíduos arbóreos, entre eles, o próprio ambiente onde estão sujeitos a fatores intrínsecos a própria planta, desta forma, a mesma planta diferencia em quantidade de biomassa de um local para outro e de indivíduo para indivíduo (SOARES et al., 2006).

Segundo Higuchi et al (2004), a maneira de estimar a biomassa florestal é utilizando a densidade média da madeira, a partir de dados de inventário florestal. Porém, a densidade da madeira varia entre espécies, dentro da espécie, nas diferentes partes da árvore (tronco, galhos grandes, galhos pequenos, etc.), dentro da mesma parte e no sentido medula-casca.

A variação do resultado da biomassa por espécie arbórea estimada nesse trabalho pode ser devido a todos os fatores mencionados, tais como: idade dos indivíduos arbóreos, fases da sucessão ecológica do ecossistema florestal, dimensão dos diâmetros e alturas das árvores e a fatores intrínsecos a própria planta.

4.2 EMISSÃO DE CO₂ NA ATMOSFERA DEVIDO À ÁREA INUNDADA

Na área de floresta nativa amostrada (1 ha -10.000 m²) foi estimado um sequestro de 62,25 t C ha⁻¹ das espécies arbóreas. Extrapolando este resultado para a área do fragmento florestal inserida nos limites do reservatório da CGH hipotética, que corresponde a 41,2 ha,

apresentado na Tabela 13, a floresta sequestraria 2.564,70 t C ha⁻¹.

Partindo-se do princípio que cada tonelada de C queimado é convertida em 3,6 toneladas de CO₂, ou seja, o fator de correção (Fc) corresponde a 3,6, considerando que massa do CO₂ equivale a 44 e a massa do C equivale a 12. Assim, a constante estequiométrica para fixar carbono do CO₂ corresponde à massa do CO₂ dividida pela massa do C, obtendo-se o FC igual a 3,6.

No caso de haver a derrubada ou inundação da área florestada (41,2 ha) para instalação do reservatório da CGH hipotética, considerando que a biomassa florestal será totalmente decomposta por micro-organismos, seriam emitidos à atmosfera aproximadamente 9.232,92 t CO₂.

Se na área amostrada que corresponde a 1 ha foram encontrados 658 indivíduos arbóreos e esta quantidade de árvores capturaram uma estimativa de 62,25 t de C, apresentada na Tabela 17, uma árvore capturaria em média 0,095 t C.

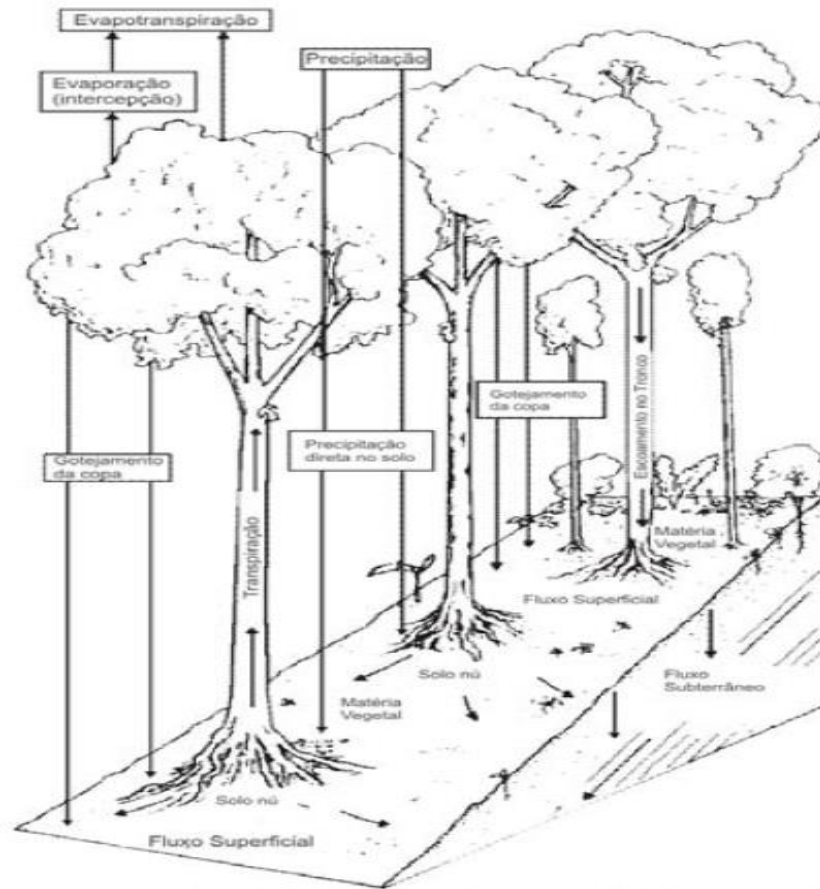
4.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA PARA A COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

O ciclo hidrológico envolve diversos processos e fatores que influenciam as bacias hidrográficas, em especial, as florestas que têm influência na sua dinâmica, principalmente quanto à manutenção da água e nas vias dos processos de interceptação: evaporação, precipitação, transpiração, evapotranspiração, filtração, escoamento superficial e sub superficial (KOBAYAMA, 1999, BALBINOT et al., 2008), apresentados na Figura 26.

No Capítulo 2 foram discutidas as inúmeras funções desempenhadas pelos ecossistemas florestais, porém, cabe aqui ressaltar, que além da mitigação do clima (temperatura e umidade), atenuação da poluição atmosférica, fornecimento do oxigênio (O₂) e absorção do gás carbônico (CO₂), prevenção contra ação do vento e ruídos, recreação, educação, produção de biomassa e fornecimento de energia, as florestas, também, contribuem com a diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios), controle de erosão e com o melhoramento da qualidade da água no solo e no rio (TUCCI; MENDES 2006; KOBAYAMA, 2000).

Essas funções atuam simultaneamente e são baseadas em atividades biológicas da própria floresta.

Figura 26 - Processo de interceptação de uma floresta



Fonte: TUCCI; MENDES (2006)

A bacia hidrográfica do Rio do Chapéu é uma das formadoras de mananciais que contribui com o volume de água do Rio Paraíba do Sul, principal responsável pelo abastecimento dos municípios da região do Vale do Paraíba Paulista, do Estado do Rio de Janeiro e sul do Estado de Minas Gerais, portanto foi considerada uma das bacias prioritárias à restauração ecológica, estabelecida pela Resolução Conjunta SMA/SSRH nº 01 de 05 de junho de 2014.

Essa bacia possui uma área de 206,2 km² e um perímetro de 82,6 km, sendo que a restauração ecológica compreenderá a bacia de contribuição da CGH, com uma área de 127 km² que corresponde a 61,6% da bacia hidrográfica do Rio do Chapéu.

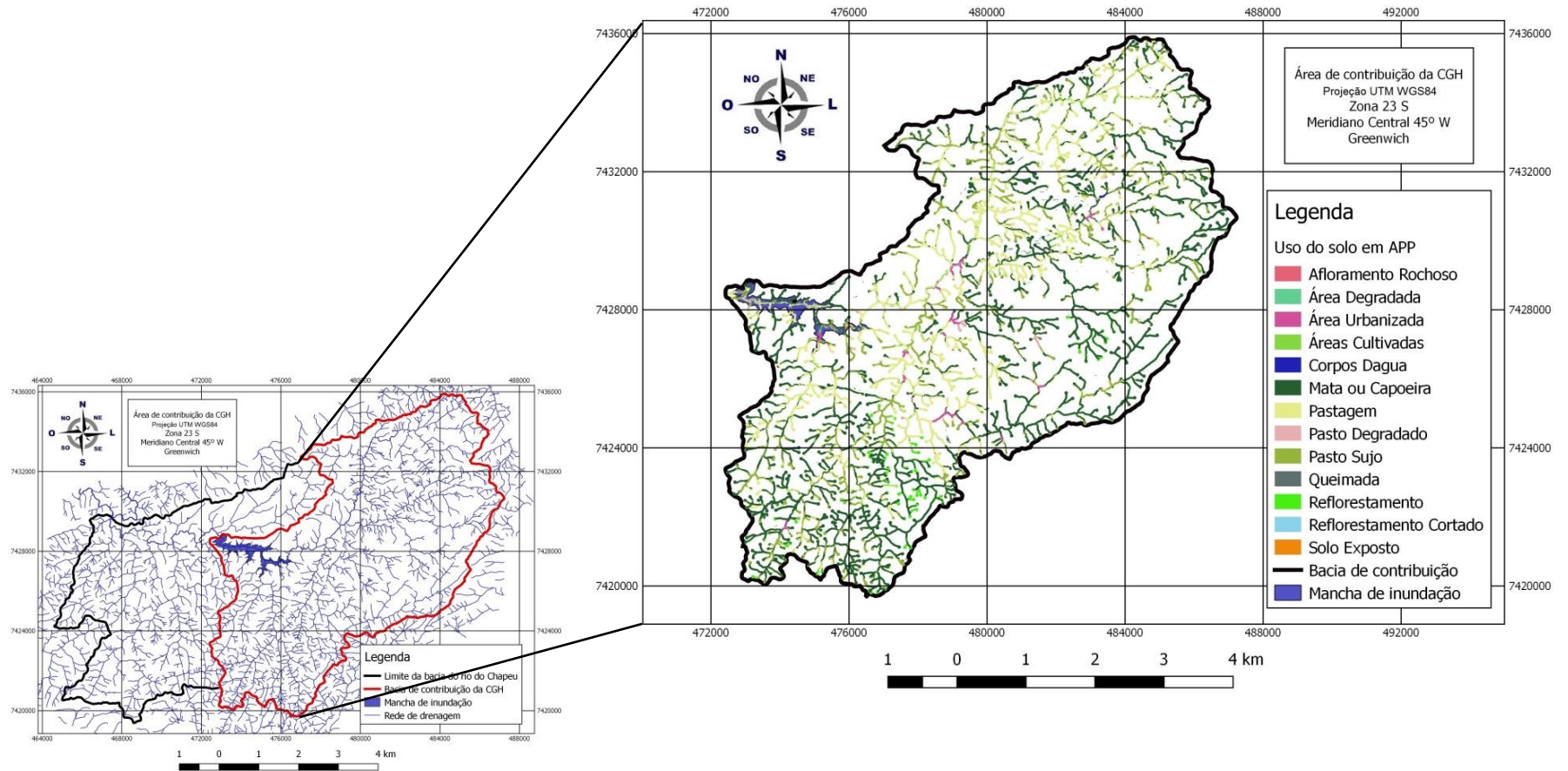
O volume do reservatório da bacia de contribuição corresponde a 2.042.911 m³ e as classes de uso da terra às margens ciliares dos cursos d'água (APP) estão representadas, em sua maioria, pelas categorias de pastagem, pasto sujo e mata ou capoeira (Figura 27).

A restauração florestal seguirá as especificações do novo código florestal brasileiro, Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012) que determina o plantio em áreas de

elevada vocação florestal e protegidas na legislação ambiental brasileira, como as APPs, por terem como funções ambientais: a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Foi estabelecida a técnica do plantio total da área e em Área de Preservação Permanente (matas ciliares e nascentes), onde o Uso da Terra caracteriza-se por degradado ou pastagem.

Figura 27 - Mapa bacia de contribuição da CGH hipotética, com o Uso da Terra nas APPs



Fonte: Produção do próprio autor.

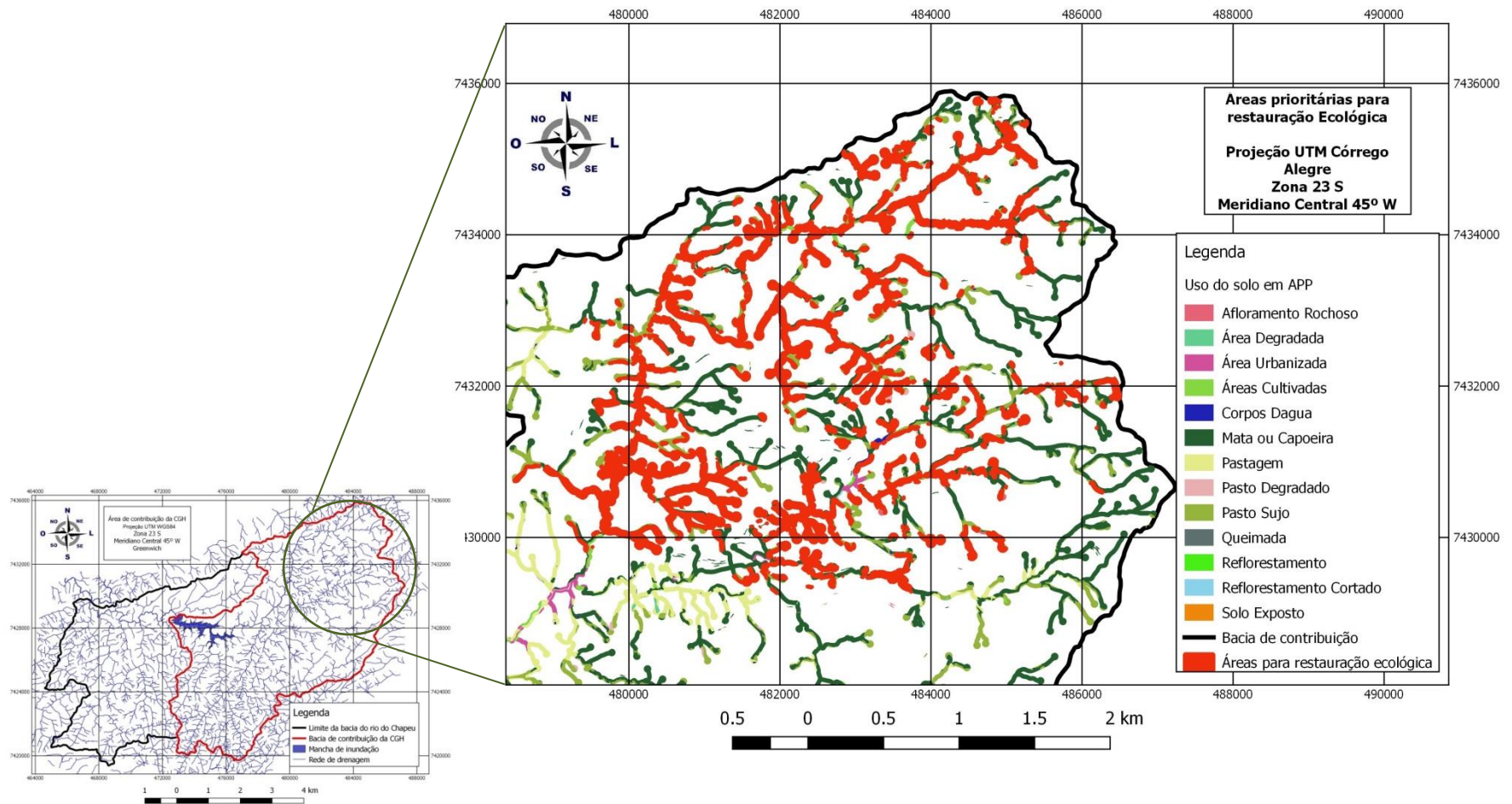
Para que haja a compensação de 9.232,92 t CO₂ (correspondente a 2.564,70 t C ha⁻¹) emitidos na atmosfera, decorrente do processo de decomposição da biomassa, devido à derrubada ou inundação da área florestada, pelos limites do reservatório da CGH hipotética, seria necessário o plantio de 26.997 árvores para sequestrar o carbono emitido, em uma área de 16,19 ha/ano de restauração florestal, considerando um espaçamento de plantio de 3 m x 2 m.

O IPCC (2006) preconiza um modelo de plantio em um período mínimo de 20 anos para a captura de carbono na biomassa aérea, assumindo que o crescimento da árvore não é linear, portanto, após os 20 anos haverá uma diminuição do carbono sequestrado, uma vez que as árvores alcançaram a maturidade.

Como um dos objetivos da restauração ecológica nessa pesquisa é a compensação ambiental, ou seja, mitigar os problemas causados pelas altas taxas de emissões de GEE, em especial do CO₂, devido aos impactos negativos gerados pela implantação de uma CGH, foi adotada a metodologia clássica de plantio direto das mudas florestais, com combinações sucessionais, em que a característica florística e a estrutura do fragmento florestal estudado definirão a escolha das espécies, a densidade dos indivíduos e a forma de distribuição das mudas florestais no campo.

Desta forma, a área de restauração florestal correspondente a 16,19 ha/ano para alcançar o sequestro de carbono, em período de 20 anos. O plantio compreenderá uma área de APP de 323,8 ha, destacada em vermelho, na Figura 28, considerada área prioritária à restauração ecológica, em que o uso da terra caracteriza-se por degradado, pasto ou pasto sujo, com o objetivo de sequestrar 9.232,92 t CO₂ emitido a atmosfera devido a área do reservatório que inundou o fragmento florestal de 41,2 hectares que sequestrava uma estimativa de 2.564,70 t C ha⁻¹.

Figura 28 - Mapa da área de restauração para a compensação ambiental das emissões de CO₂



Fonte: Produção do próprio autor.

Destaca-se que no processo da restauração ecológica devem ser considerados e testados alguns fatores, ações operacionais e recomendações, os quais foram abordados no Capítulo 3 (Materiais e Métodos), pois somente a introdução de indivíduos arbóreos não garantirá a permanência, em longo prazo, das fisionomias restauradas e nem o funcionamento de vários processos da dinâmica florestal e sua sustentabilidade.

Sendo assim, serão considerados nessa pesquisa alguns fatores relevantes, ações operacionais e técnicas de restauração que estão descritas na Tabela 18, na tentativa de garantir que a restauração ecológica seja bem sucedida e cumpra com suas funções e não somente fazer a captura do CO₂ atmosférico.

Dê qualquer forma, os indivíduos arbóreos introduzidos à área restaurada cumprirão a função de sequestrar o carbono atmosférico, porém sua permanência e sobrevivência na área podem ser comprometidas, se os fatores acima mencionados não forem considerados no processo de restauração ecológica.

Tabela 18. Fatores, ações e técnicas considerados na restauração ecológica.

FATORES	CONDIÇÕES
- Espécies	<ul style="list-style-type: none"> • Dê ocorrência na bacia hidrográfica do rio do chapéu identificadas nessa pesquisa, compreendendo 20% zoócoras e 5% enquadradas na categoria de ameaças.
- Sucessão Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo de espécies pioneiras (P) e não pioneiras (NP), estabelecidas pelas Resoluções: SMA nº 21 de 21/11/2001, SMA nº 44 de 26/11/2003 e SMA nº 08 de 31/01/2008 e SMA nº 32, de 3 abril de 2014 e dê ocorrência na bacia hidrográfica do Rio do Chapéu.
- Biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidade genética regional.
- Regionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Populações de espécies adaptadas às condições regionais.
- Outras formas de vidas	<ul style="list-style-type: none"> • Grupos funcionais de espécies-chave: lianas, epífitas, ervas e arbustos para auxiliarem da polinização e dispersão de sementes.
- Visão ecossistêmica do processo	<ul style="list-style-type: none"> • Interação dos componentes arbóreos com a fauna e com os fatores abióticos (água, luz, solo, vento, temperatura, entre outros) para chegar ao equilíbrio ecológico.
- Corredores ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Unir os fragmentos florestais para que os seres vivos não entrem em isolamento e garantir a biodiversidade.
AÇÕES OPERACIONAIS	MODO
- Identificação dos fatores de degradação	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminação dos fatores de degradação e cercar a área a restaurar.
- Limpeza a área	<ul style="list-style-type: none"> • Retirada das espécies competidoras mecanicamente ou manualmente.
- Combate às formigas cortadeiras	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de formicidas.
- Espaçamento das mudas no plantio	<ul style="list-style-type: none"> • Linhas x Entrelinhas (3 m x 2 m).
- Densidade de plantio	<ul style="list-style-type: none"> • 1.667 indivíduos / ha
- Abertura das covas	<ul style="list-style-type: none"> • Abertura de 40 cm x 40 cm x 40 cm.
- Análise do solo	<ul style="list-style-type: none"> • Retirada de amostras do solo para análise química e física.
- Adubação	<ul style="list-style-type: none"> • Conforme a análise do solo, a base de NPK e pós 30 dias do plantio.
- Plantio	<ul style="list-style-type: none"> • Em área total (323,8 ha).
- Coroamento das mudas	<ul style="list-style-type: none"> • Com 50 cm de raio ao redor das mudas.
- Aplicação de herbicidas	<ul style="list-style-type: none"> • Herbicida seletivo no combate das ervas daninhas competidoras.
- Irrigação	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio em período das chuvas (outubro a março) ou uso de hidrogel.
- Adubação de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • Realizada na coroa da muda, após 30 dias do plantio.
- Monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> • Por um período mínimo de três (3) anos.
TÉCNICAS	MODO
- Condução da regeneração natural	<ul style="list-style-type: none"> • Através do controle periódico dos competidores (químico ou mecânico).
- Adensamento	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de espécies pioneiras nos espaços não cobertos por vegetação ou banco de sementes.
- Enriquecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de espécies de grupos sucessionais distintos para aumentar a diversidade de espécies.
- Plantio de espécies atrativas à fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de espécies frutíferas atrativas à fauna (proporcionar maior polinização, dispersão e predação das sementes).
- Aplicação de Técnicas Nucleares:	<ul style="list-style-type: none"> • Transposição de solo, transposição de chuvas de sementes, poleiros artificiais, transposição de galharia, grupos adensados de diversidade.

Fonte: Produção do próprio autor

CAPITULO 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado do estoque de carbono armazenado no fragmento florestal analisado nessa pesquisa de $62,25 \text{ t C ha}^{-1}$ apresentam similaridade com os resultados obtidos em estudos desenvolvidos por diversos autores, entre eles: Carvalho et al. (2014) que estimou o estoque de carbono de um fragmento de floresta estacional semidecídua, no município de Ribeirão Grande, São Paulo, obtendo o valor de $96,74 \text{ t C ha}^{-1}$; Souza et al. (2012) realizado em um levantamento de uma floresta em estágio médio a avançado de sucessão de vegetação, que obteve o valor de $75,25 \text{ t C ha}^{-1}$; Velasco et al. (2009) que realizaram, em uma mata ciliar na cidade de São Paulo, obtendo o valor de 95 t C ha^{-1} ; Ribeiro et al. (2009) desenvolvido em uma floresta madura no estado de Minas Gerais, obtendo uma estimativa de $83,34 \text{ tCha}^{-1}$; Melo e Durigan (2006) que estimaram os estoques de carbono, em diferentes conduções ambientais no Vale do Paranapanema, região sudeste do estado de São Paulo, obtendo o resultado de $79,7 \text{ t C ha}^{-1}$.

Esse resultado também é corroborado por estudos realizados por Torres et al. (2013) que utilizaram diferentes metodologias e equações alométricas para uma área de floresta estacional semidecidual montana localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, encontrando valores de estoque de carbono que variaram de $48,70 \text{ t C ha}^{-1}$ a $56,31 \text{ t C ha}^{-1}$.

Os valores do sequestro de carbono foram maiores do que aos encontrados nessa pesquisa nos trabalhos realizados por Martins (2004), em mata ciliar, que correspondeu a $145,26 \text{ t C ha}^{-1}$ e por Watzlawick et al. (2002) desenvolvida na floresta ombrófila mista montana, no município de General Carneiro, Paraná que obteve o valor de $165,06 \text{ tCha}^{-1}$.

A estimativa resultante deste trabalho foi inferior a do estudo de Souza-Lima et al. (2003) que estimaram, para uma floresta secundária de 37 anos de regeneração natural, um estoque de 29 t C ha^{-1} .

A explicação para esses diferentes resultados pode estar relacionada a diversos fatores, tais como: a diversidade das espécies e dos ecossistemas estudados; as características morfológicas (estruturas da raiz, do caule, da folha, da flor, do fruto, células, tecidos, entre outras) das espécies; representatividade das espécies nos fragmentos (número de indivíduos); a estrutura florestal (diâmetro à altura do peito; a altura total dos indivíduos, idade, nutrientes e tipo de solo); a densidade dos maciços florestais; a composição florística; o estágio sucessional das espécies (pioneiras, secundárias ou clímax), pois as espécies de crescimento lento tendem a acumular mais biomassa no fuste e raízes, devido ao maior teor de biomassa seca presentes no fuste e ao sistema radicular mais desenvolvido.

A própria metodologia de estudo empregada para quantificar a biomassa é um fator que pode influenciar os diferentes resultados das estimativas de sequestro de carbono. Além disso, é importante ressaltar que o cálculo de sequestro de carbono foi realizado para uma área de amostragem de 1 ha, e somente nos indivíduos arbóreos.

Não houve um inventário de todo o ecossistema da bacia hidrográfica estudada e nas diversos tipos e estrados de vegetação, pois é sabido que a absorção de CO₂, também, ocorre no sub-bosque, na serapilheira e no húmus de uma floresta. De acordo com Nutto et al. (2002) a árvore isolada contribui com 47% da quantidade total de carbono armazenado e os 53% restantes estão no sub-bosque, serrapilheira e húmus da floresta.

Mesmo havendo, em diversos estudos, uma diferença nos valores de carbono fixado pelas florestas, pode-se afirmar que as florestas tropicais são grandes reservatórios de carbono, como foi demonstrado nesse estudo.

É importante, também, considerar que os reservatórios das usinas hidrelétricas abrangem grandes áreas de inundação, conseqüentemente provocam grandes impactos socioambientais, entre eles, a inundação de áreas florestadas que favorece a emissão GEE, como o CO₂.

O Brasil é signatário da Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas, que por sua vez, na 21ª Conferência das Partes (COP21), realizada em Paris no ano de 2015, adotou um novo acordo para a redução dos GEE no contexto do desenvolvimento sustentável.

Com isso, o Brasil se comprometeu com a redução dos GEE, em 37% abaixo dos níveis de 2005, até o ano de 2025, considerando o cenário social e econômico do país. Se comprometendo, ainda, com um aumento de 18% na participação de bioenergia sustentável e com a estimativa de 45% de energias renováveis na composição de sua matriz energética, até 2030 e, em restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de áreas de florestas.

Portanto, o conhecimento do potencial das florestas em sequestrar carbono poderá servir como subsídio para tomada de decisão no planejamento e na gestão da implantação de hidrelétricas, seja de grande, médio ou pequeno porte, uma vez que as florestas estão diretamente associadas aos recursos hídricos, no que se refere à produção e/ou conservação.

O processo de restauração ecológica é necessário para a mitigação do clima, porém, o sequestro de carbono atmosférico não só se caracteriza pelo plantio de árvores. Segundo Gandolfi e Rodrigues (2007) deve-se atentar para o incremento temporal da diversidade das espécies, das formas de vida, das características da regeneração natural, do restabelecimento da sucessão ecológica, do papel dos diferentes grupos funcionais de espécies nativas, que

paralelamente deve estar aliado a ações e técnicas que auxiliem a restauração da área, como o isolamento da área e a isenção de fatores de degradação mais intensos, tais como o fogo, o extrativismo, a caça e as espécies invasoras.

Outro fator importante é a utilização das técnicas de nucleação, que segundo Três (2006) tem por objetivo promover a dinâmica de sucessão ecológica, favorecendo a capacidade do ambiente de promover sua resiliência significativamente.

Para que as Hidrelétricas sejam de fato formas de obtenção de energia renovável e limpa é fundamental que se calcule as emissões de CO₂ emitidas pelas florestas inundadas, em detrimento aos reservatórios e, também, é necessário desenvolver projetos de restauração ecológica ao longo das APPs situadas nas bacias hidrográficas abrangidas pelas hidrelétricas.

Os projetos de restauração florestal associados aos cálculos do sequestro de carbono pelas florestas, previstos na implantação de hidrelétricas tornam-se formas mais seguras de compensação ambiental, na fase que antecede o licenciamento ambiental, principalmente ao se tratar de centrais hidrelétricas de pequeno porte, como as CGHs e PCHs, que além de serem formas rápidas e eficientes de promover a expansão da oferta de energia elétrica demandada no mercado brasileiro, poderão ser implantadas de forma segura, fazendo valer o “status” de obtenção de energia renovável e limpa.

Consequentemente, contribuirá com a produção de água, em quantidade e qualidade, com as demais funções desempenhadas pelas florestas como: mitigação do clima, atenuação da poluição atmosférica, fornecimento do oxigênio, recreação, instrumento de educação, redução do pico do hidrograma, controle de erosão, entre outras.

A restauração ecológica é uma ciência considerada recente e que surgiu em função dos desafios de se recuperar e/ou manter a capacidade de um ecossistema em fornecer bens, serviços e garantir sua perpetuidade no tempo. Por sua vez, as ciências sociais discutem as formas de produção de energia para a sociedade e a eficiência energética.

Desta forma, é muito importante que nas tomadas de decisões sobre as questões ambientais (aquecimento global) e sociais (fornecimento de energia) que essas ciências possam ser tratadas de forma associada, principalmente na fase do planejamento, como foi discutido nessa pesquisa, pois assim, tanto as necessidades humanas quanto as ambientais poderão ser solucionadas.

Segundo Campos e Silva (2012) as instituições modernas (estados e mercado) não estão preparadas para enfrentar os problemas ambientais e promover a sustentabilidade, devido à fragmentação e simplificação da concepção dos problemas, que são adequados a um modelo

capitalista, que minimizam seus efeitos negativos, muitas vezes irreversíveis, ignorando uma abordagem multidisciplinar.

É um desafio avaliar as emissões líquidas de GEE provenientes da formação dos reservatórios das hidrelétricas, devido à alta variabilidade espacial e temporal e aos complexos fatores que podem interferir na produção, consumo e emissões desses gases nos reservatórios tropicais. A escassez de dados e as lacunas no conhecimento sobre os processos físicos, químicos e biológicos envolvidos, também, contribuem para dificultar a estimativa de C nos futuros reservatórios (FARIA et al., 2015).

Desta forma, torna-se necessária a preservação das florestas e o incentivo para a implantação de florestas de restauração, visto que seria uma opção viável para mitigar os problemas causados pelas altas taxas de emissões de GEE, e do aquecimento global, bem como obter formas seguras de compensação ambiental devido aos impactos negativos gerados pela implantação de hidrelétricas.

CONCLUSÕES

Essa pesquisa retratou a inundação de um reservatório de uma Central Geradora Hidrelétrica hipotética, abrangendo uma área de floresta nativa de 41,20 ha, que emitiria para a atmosfera 9.232,92 t CO₂, portanto seria necessário o plantio 26.997 árvores, correspondendo a 16,19 ha para sequestrar 2.564,70 t C ha⁻¹. No entanto, em um período de 20 anos seria necessário o plantio de 323,8 ha na bacia de contribuição da CGH para que as árvores pudessem sequestrar o correspondente de carbono e compensar as emissões do CO₂.

Desta forma, conclui-se que esse trabalho poderá contribuir no meio científico e às empresas e instituições, no processo de licenciamento ambiental, na tomada de decisão quanto à implantação de centrais hidrelétricas. Indicará parâmetros e formas seguras de compensação ambiental aos efeitos negativos gerados pelas emissões CO₂, resultante do enchimento dos reservatórios e consequentemente da supressão e inundação de áreas cobertas por florestas.

Apesar de a pesquisa ter abordado uma CGH, ou seja, de hidrelétrica de pequeno porte, conclui-se, ainda, que servirá de subsídio para cálculos relacionados à fixação de carbono pelas florestas tropicais, na reparação de danos ambientais proporcionados pela instalação de quaisquer centrais hidrelétricas, seja de grande, médio ou de pequeno porte, por meio da restauração ecológica, uma vez que, que está constatado que as florestas são verdadeiros sumidouros de carbono.

Considerando a importância do tema e de que cada vez mais, há uma preocupação por parte da sociedade com o meio ambiente e com sua sustentabilidade e, ainda, por atualmente não existir modelos para se estimar as emissões de GEE antes da construção dos reservatórios; pelo Brasil atender, a maior parte de sua demanda de energia elétrica, por meio das usinas hidrelétricas e, por estas estarem localizadas em regiões de florestas tropicais, entende-se relevante à contribuição dessa pesquisa.

Desta forma, com os projetos de restauração ecológica, as florestas continuarão a promover seus serviços ambientais, principalmente, quanto à mitigação do clima e na redução das emissões dos GEE.

É fundamental a utilização de informação científica disponível para o desenvolvimento de métodos na avaliação das emissões de GEE em projetos hidrelétricos, portanto sugere-se que mais estudos sejam realizados, principalmente quanto às emissões do gás metano gerados nas áreas inundadas.

REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). 1999. NBR 13030. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro. 1999.

ABOAL, J. R., ARÉVALO, J. R., FERNÁNDEZ, Ä. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). **Flora**, v.200, p.264–274, 2005.

AB’SÁBER, A. os domínios da natureza no Brasil – Potencialidades Paisagísticas. 4 ed. São Paulo: **Ateliê Editorial**, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). RESOLUÇÃO N.º 395, de 04 de dezembro de 1998. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/res1998395.pdf>>. Acesso em: 3 mar de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed., Brasília: ANEEL, 2008a. 12p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Parte II Fontes Renováveis, Cap. 3: Energia Hidráulica, p50-61, 2008b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2003. RESOLUÇÃO N.º 652, de 9 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/leitura_arquivo/arquivos/res2003652.pdf>. Acesso em: 3 mar 2014.

AKARUI (ORGANIZAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL DE INTERESSE PÚBLICO AKARUI). Análise Físico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu. **Atlas**. São Luís do Paraitinga, São Paulo, 2013. 42 p.

ATAZADESH, I. **Biomass and remote sensing of biomass**. Intech: Rijeka, Croatia. 2011. 272 p.

AVITABILE, V. et al. **Mapping biomass with remote sensing: a comparison of methods for the case study of Uganda**. Carbon Balance and Management, Moscow, v. 6, n. 7, 2011.

BALBINOT, R. et al. **Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono: estudo de viabilidade no sul do estado do Paraná, Brasil**. 2004. 79 f. Dissertação: Mestrado em engenharia florestal, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2004.

BALBINOT, R. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 4, n 1, Jan.-Abr. 2008.

BARBOSA, T.C.; COUTO, H.T.Z. **Quantificação de biomassa e carbono em áreas com florestas nativas**. In: RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: NOVOS RUMOS E

PERSPECTIVAS: VI SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, São Paulo, Instituto de Botânica, p 110-125, 2015.

BARBOSA, L.M. **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 129 p.

BARBOSA, R. R. N.; SILVA, A. A.; NEVES, M. G.; GALVÃO, A. R. A.; NETO, C. F. O. Produção e sequestro de carbono na atmosfera. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, GO. v. 9, n 16, p. 1783-1798, 2013.

BARBOSA, T. A. S. Matriz simplificada para avaliar impactos ambientais em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). **Revista Brasileira de Energia**, v. 12, n. 2, 2006.

BASUKI, T.M.; VAN LAAKE, P.E.; SKIDMORE, A.K.; HUSSIN, Y.A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 257, p. 1684-1694, 2009.

BECHARA, F.C. **Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2006.

BELLOTTO, A. et al. **Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica**. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: ESALQ, LERF, Instituto BioAtlântica, 2009.

BINKLEY, D.; GIARDINA, C.; BASHKIN, M. Soil phosphorus pools and supply under the influence of Eucalyptus saligna and nitrogen-fixing Albizia falcataria. **Forest Ecology and Management**, v. 128, p. 241-247, 2000.

BISCHOFF, A.; VON LANTHEN, B.; STEINGER, T.; MÜLLER-SCHÄRER, H. Seed provenance matters - effects on germination of four plant species used for ecological restoration. **Basic and Applied Ecology**, v. 7, p. 347-359, 2006.

BORGES, R.R.; MEIRA, R.L. Impactos Socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Estudo de Caso PCH, Queluz, SP e Lavrinhas, SP no Rio Paraíba do Sul. **Caderno UNIFOA**. Edição Especial. p 23-35, 2009.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Institui o Novo Código Florestal Brasileiro**. 2012.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art.225, § 1º, incises I, II, III e IV da Constituição Federal. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. 2000.

BRASIL. Presidência da República. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Publicação em Diário Oficial da União de 09 jan. 1997.

BROWN, S. et al. Changes in the use and management of forests for abating carbon emissions: Issues and challenges under the Kyoto protocol. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, cidade, Series A, Mathematical. **Physical and Engineering Science**, London, v. 360, p. 1593-1605, 2002.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: FAO. 1997, 55 p.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. **Forest Science**, 35(4):881-902, 1989.

BUDOWSKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional process. **Turrialba**, v. 15, n.1, p. 40-43, 1965.

CAMPOS, S. R. M.; SILVA, V. P. A efetividade do estudo de impacto ambiental e do licenciamento em projetos de usinas hidrelétrica. **Revista (on line) Caminhos de Geografia Uberlândia**. v. 13, n. 41, p. 1-4. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/16368/9163>. Acesso em: 27 dez 2016.

CAMPOS, C. P. de. **Emissões históricas de CO₂ da mudança do Uso da Terra para agricultura e pastagem e a contribuição dos países para a mudança do clima - A proposta do Brasil para a Convenção do Clima**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético. CPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; SOARES, R.V.; WATZLAWICK, L.F. Estimativa de Biomassa em Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana - General Carneiro-PR. **Biomassa & Energia**, v. 1, p. 291-310, 2004.

CALDEIRA, M.V.W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2003.

CARPANEZZI, A. A. **Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais**. In: SEMINÁRIO RESTAURAÇÃO FLORESTAL, 2003, Curitiba. Fundamentos e estudo de casos. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. p. 87-97

CARVALHO, L.S. et al. Estoque de carbono em um fragmento de floresta estacional semidecídua no município de Ribeirão Grande, São Paulo. **Bioikos**, Campinas, 28 (2):73-85, jul. - dez., 2014.

CASTRO, C.C.; MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. A focus on plant reproductive biology in the context of forest restoration. In: RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V.; GANDOLFI, S. (Eds.) **High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil**. New York: Nova Science Publishers, 2007. p. 197-206.

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 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CEPAGRI (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA). UNICAMP. 2016. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_562> Acesso: jun. de 2016.

CÉZAR, P.B.; OLIVEIRA, R.R. **A Floresta da Tijuca e a cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1992. 172p.

CHAMBERS JQ, DOS SANTOS J, RIBEIRO RJ, HIGUCHI N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. **Forest Ecology and Management**. v 152:73-84, 2001.

CHAVE, J.; et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia Brasiliense**. v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

CHANG, MANYU. Sequestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n. 102, p. 85-101, jan. - jun. 2002.

COELHO, S. J.; PEREIRA, J. A. A.. A paisagem na área de influência da usina hidrelétrica do funil (UHE-FUNIL), percebida através do EIA-RIMA. **Paisagem Ambiente: ensaios**. São Paulo, n. 28, p. 133-148, 2011.

COOK, W.M. et al. Secondary succession in an experimentally fragmented landscape: community patterns across space and time. **Ecology**, v. 86, n. 5, p. 1267-1279, 2005.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). 2001. RESOLUÇÃO CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001. Publicada no DOU n.125-E, de 29 jun. 2001, Seç. 1, p 165-166. 2001.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). 1997. RESOLUÇÃO CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Publicada no DOU n. 247, 2 dez. 1997, Seç. 1, p 30841-30843, 1997.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). 1986. RESOLUÇÃO CONAMA n. 1, 23 jan. 1986. DOU 17 fev. 1986, Seç. 1, p. 2548-2549, 1986.

CORTE, A. P. D. et al. Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 177-188, 2012.

CRONQUIST, A. The evolution and classification of flowering plants. 2 ed. Bronx, **New York Botanical Garden**. 1988.

CUNHA, K. B.; WALTER, A.; REI, F. F. Estado de implantação do mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil. **Revista PCH Notícias & SHP News**, Ano 8, n. 29, p. 16-19. 2006.

CUNHA, L. O. Análise multivariada da vegetação como ferramenta para avaliar a reabilitação de dunas litorâneas mineradas em Mataraca, Paraíba. Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 205-515, jul-ago. 2003.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo, Ed. Companhia das Letras, 1996. 504p.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408. 2002.

DELITTI, W. B. C.; PAUSAS, J. G.; MOREIRA BURGER, D. M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annals of Forest Science**, v. 58, p. 713-721, 2001.

DENSLOW, J. S. Gap partitioning among tropical rainforest trees. **Biotropica**, v.12 (suppl.), p. 47-55, jun. 1980.

DIAS-FILHO, M. B. A fotossíntese e o aquecimento global. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental. Documentos**. Belém, PA, 2006, 24p.

DIETERLE, G.. **Sustaining the World's Forests: Managing Competing Demands for a Vital Resource – The Role of the World Bank**. In: P. Spathelf (ed.), Sustainable Forest Management in a Changing World: A European Perspective, Managing Forest Ecosystems 19, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, p. 9-32. 2010.

DITT, E.H; MOURATO, S.; GHAZOUL, J.; KIGHT, J. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic Forest. **Land Degradation & Development**. v. 21, p. 591-603, 2010.

DOB – Documento de Orientação Básica. Central Geradora de Energia. 4 p, 2013. Disponível em: <www.ecomvoce.com.br>. Acesso em: 14 nov. 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informações. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p, 1999.

ELETROBRAS (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A). Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. 2000. 458p.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. 2003. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. p. 01-26. KAGEYAMA P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B., editores. Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. Botucatu, SP. 2003.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - Brasil). Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 19 2p. 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). Global Forest Resources Assessment 2015. How are the world's forests changing? Second edition. Roma: FAO. 2016. Rome, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2016.

FARIA F A M, JARAMILLO P, SAWAKUCHI H O, RICHEY J E; BARROS N. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs **Environmental Research Letters**. v 10, n.15 (124019). 2015.

FARIA, F. A. M.. 2011. 120 f. Metodologia de prospecção de pequenas centrais hidrelétricas. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011.

FEARNSIDE, P. M. 2015. **Emissões de gases de efeito estufa de reservatórios hidrelétricos na Amazônia: O exemplo de Tucuruí e comparação com as alternativas de combustível fóssil**. p. 161-177. In: P.M. Fearnside (ed.) **HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA: IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS NA TOMADA DE DECISÕES SOBRE GRANDES OBRAS**. Ed. INPA, Manaus. v 2., 297 p., 2015.

_____. 2008. Hidrelétricas como “Fábricas de Metano”: O papel dos Reservatórios em Áreas de Floresta Tropical na Emissão de Gases de Efeito Estufa. **Oecologia Brasiliense**, 12 (1): 100-115, 2008.

_____. 2006. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. **Ciência Hoje**. 38(231): 76-78, 2006.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F. M. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, 98 (D9):16733-16743, 1993.

FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luís Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2011.

FERNANDES, A. J. 1991. 120 f. **O complexo Embu no leste do Estado de São Paulo- contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica**. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1991.

FERREIRA, POTIGUARA CHAGAS (COORD.). **A biologia e a geografia do Vale do Paraíba: trecho paulista**. São José dos Campos: IEPA, 192 p. 2007.

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. São Paulo. Instituto de Botânica. v. 4, 62 p. 1984.

FILHO, G. L. T.; NEDER, C.V.G. Licenciamento Ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs no Estado de Minas Gerais e os Impactos Ambientais. **Hidro & Hidro PCH notícias**. Ano 14, n. 55, p 16-29, 2012.

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; WALKER, B.; SCHEFFER, M; ELQVIST, T.; GUNDERSON, L; HOLLING, C.S. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem

management. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v.35, p.557-581, 2004.

FOSTER BROWN, I. et al. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia. **Forest Ecology and Management**, 75:175-189, 1995.

FREITAS, S. R.; NEVES, C. L.; CHERNICHARO, P. Tijuca National Park: two pioneering restorationist initiatives in Atlantic forest in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. São Carlos, v. 66, n. 4, nov., 2006.

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-inpedivulgam-dados-do-atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica-no-periodo-e-2010-a-2011/>>. Acesso em: 1 abr. 2016.

GANDOLFI, S. 2015. **Três reflexões sobre a restauração de florestas tropicais**. In: RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: NOVOS RUMOS E PERSPECTIVAS: VI SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA. Cood: Luiz Mauro Barbosa. São Paulo, Instituto de Botânica, p. 71-76, 2015.

GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Metodologias de restauração florestal**. In: Fundação Cargill (coord.). MANEJO AMBIENTAL E RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. São Paulo: Fundação Cargill, p. 109-143, 2007.

GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Recomposição de florestas nativas: algumas perspectivas metodológicas para o Estado de São Paulo**. In: ANAIS DO 3º CURSO DE ATUALIZAÇÃO - RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. CURITIBA, PR. FUPEF/UFPR, v.1. p. 83-100. 1996.

GIFFORD, R. Carbon Content of Woody Roots: Revised Analysis and a Comparison with Woody Shoot Components (Revision 1). **NCAS Technical Report**. Australian Greenhouse Office, Canberra. n. 7, 10 p. 2000a.

GIFFORD, R. Carbon Content of Above-ground Tissues of Forest and Woodland Trees. **NCAS Technical Report**. Australian Greenhouse Office, Canberra. n. 22, 28 p. 2000b.

GOMES, B. M. Estimativa de emissão de carbono por difusão de CO₂ e CH₄ na bacia Ji-Paraná, Rio Claro: [s.n.], 2009. 85 p.

GOOGLE MAPS. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

GRIMM, A. M. **Meteorologia Básica**. Apostila de curso. 2010. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo>>. Acesso em: 22 out. 2015.

HENRY, M. et al. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 260, p. 1375-1388, 2010.

HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, set.-dez., 2004.

HIGUCHI, N.; et al. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, 28 (2): 153-165. 1998.

HIGUCHI, N. et al. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima*. 30(39): 43-54, 1994.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. **Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia**. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: UMA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce. p. 125-145. 1994.

HOUGHTON, J. *Global Warming. The complete briefing (3rd Edition)*. University Press, Cambridge. 382 p. 2004. Disponível em: <<http://www.maweb.org/documents/document.446.aspx.pdf>: Island Press>. Acesso em: mai 2015.

HUMPHREY, L.D.; SCHUPP, E.W. Seedling survival from locally and commercial obtained seeds on two semiarid sites. **Restoration ecology**, v. 10, n. 1, p.88-95, 2002.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). 2016. Apresenta dados estatísticos do Brasil, dos seus estados e municípios. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Manual Técnico de Uso da terra. **Manuais Técnicos em Geociências**. IBGE, nº 7, 3ª ed. Rio de Janeiro. 171p, 2013.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Manual técnico da vegetação brasileira. **Manuais Técnicos de Geociências**. Fundação Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 271 p. 2012.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Manual técnico da vegetação brasileira. **Manuais Técnicos de Geociências**. Fundação Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 271 p. 1992.

INATOMI, T. A. H. N.; UDAETA, M. E. M. III Workshop Internacional Brasil-Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 14p. 2005. Disponível em: <http://www.espacosustentavel.com/assets/pdf/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2015.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). Recent trends in the OECD: energy and CO₂ emissions. 11p. 2016. Disponível em: <http://www.iea.org/media/statistics/Recent_Trends_in_the_OECD.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2016.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE). **Historical Overview of Climate Change Science**, Climate Change 2007: The physical Science Basis. 2013. Disponível em: <<https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-chapter1.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE). **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2013. 1v.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE). 2007. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva: IPCC, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE). **Special report emissions scenarios**. Summary for Policymakers. Based on Nebojša Nakićenović et al. as Core Writing Team. Montreal: IPCC, 2005.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE). 2000. **Mitigation. The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. B. Metz, O. Davidson, R. Swart, and J. Pan (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2000.

JACOVAC, A. C. C. 2007. 150 f. **O uso do banco de sementes contido no topsoil como estratégia de recuperação de áreas degradadas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JOLY, C. A. et al. Florística e fitossociologia em parcelas permanentes da Mata Atlântica do sudeste do Brasil ao longo de um gradiente altitudinal. **Biota Neotropica**. v. 12, n. 1, 2012.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1946-1957, 1997.

JURAS, I. A. G. M. Mudança do clima: Principais conclusões do 5º Relatório do IPCC. Consultora Legislativa da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. **Nota Técnica**, 9p, 2013.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantação de espécies arbóreas nativas. **IPEF**. Piracicaba, 41 / 42:83-93, 1989.

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira**. Curitiba, PR, 3 ed., 86 p., 2005.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, **Apostila**, Curitiba: FUPEF, p. 29-31, 1999.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Ed. Fundo de Cultura Econômica, México. 1948. 478p.

LACERDA, J. S. et al. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRV M Mendabis Mensvram Silvarvm**, (5):1-23, nov., 2009.

LAURANCE, W. F. A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 13, p. 411-415, 1998.

LEITE, M. A. **Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas**. II Semana do Meio Ambiente. UNESP. Ilha Solteira, jun. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313927992_Impacto_ambiental_das_Usinas_Hidreletricas>. Acesso em 23 jul 2014.

LE QUÉRÉ, CORRINE. et al. Global carbon budget. 2013. **Earth Syst. Sci Data Discuss**, v. 6, p 689-720. 2013.

LEÃO, L. L. 2008. **Considerações sobre impactos socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) - modelagem e análise**. 2008. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília - UNB, Brasília, DF, 2008.

LEMO, A. L. F.; VITAL, M. H.; PINTO, M. A. C. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. **Florestas BNDES Setorial**, v. 32, p. 153-192, 2010.

LIMA, A. J. N. et al. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 163-172, 2012.

LITTON, C. M.; KAUFFMAN, J. B. Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. **Biotropica**, v. 40, n. 3, p. 313-320, 2008.

LUGO, A. E.; BROWN, S. Tropical forest as sinks of atmospheric carbon. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 54, p 239-255. 1992.

MA - MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC.

Disponível em: <http://www.maweb.org/documents/document.446.aspx.pdf>: Island Press, 2005.

MARTINS, O. S. Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos, SP. 2004. 136 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2004.

MATTHEWS, H. D.; GRAHAM, T.L.; KEVERIAN, S.; LAMONTAGNE, C.; SETO, D.; SMITH, T. National contributions to observed global warming. **Environmental Research Letter**, v. 9, p. 1-9. 2014.

MARX, M.. **Cidade Brasileira**. São Paulo: Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

McKAY, J. K. et al. How local is local? A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. **Restoration Ecology**, v. 13, n. 3, p. 432-440, 2005.

MCT, 2014. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2ª edição. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf. Acesso em: 16 set. 2015.

MCT, 2009. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2ª edição. Disponível em: http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_brasil.htm. Acesso em: 16 set. 2015

MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, v.71, p.149-154, 2006.

MENDONÇA, R. et al. Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs: What Knowledge Do We Have and What is Lacking?, Greenhouse Gases - Emission, Measurement and Management, Dr Guoxiang Liu (Ed.), ISBN: 978- 953-51-0323-3. 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/greenhouse-gases-emissionmeasurement-and-management/greenhouse-gas-emissions-from-hydroelectric-reservoirs-what-do-we-have-and-what-is-lacking>>. Acesso em: 15 de março 2016.

MIRANDA, D. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.679-689, 2011.

MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MIRANDA, M.; DIEPERINK, C.; GLASBERGEN, P. Costa Rican environmental service payments: the use of a financial instrument in participatory Forest management. **Environmental Management**, v 38: p 562-571. 2006.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. Fátima Becker Guedes e Susan Edda Seehusen (Organizadoras). Brasília, DF. **Série Biodiversidade**, n. 42, 272 p., 2011.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). A convenção sobre a diversidade biológica. Brasília, DF. 30p, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/cdbport_72.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2015.

MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). Resenha Energética Brasileira Exercício de 2014. Balanço Energético Nacional. Ed. Junho. 29 p., 2015. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

MOGNON, F. et al. Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 153-164, 2013.

MONTALVO, A.M.; WILLIAMS, S.; RICE, K. J.; BUCHMANN, S. L.; CORY, C.; HANDEL, S. N.; NABHAN, G. P.; PRIMACK, R.; ROBICHAUX, R. H. Restoration biology: a population biology perspective. **Restoration Ecology**, v. 5, n. 4, p. 277-290, 1997.

MORAES, L. F. D. et al.. **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. (Coord.) Moraes Luiz Fernando Duarte. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 84 p., 2013.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira – PFB**. Colombo, v.31, n68, p. 363-372, abr/jun. 2011.

MORELLATO, L.P.; LEITÃO-FILHO, H.F. **Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi**. In: MORELLATO, L.P. (Coord.). HISTÓRIA NATURAL DA SERRA DO JAPI: ECOLOGIA E PRESERVAÇÃO DE UMA FLORESTA NO SUDESTE DO BRASIL. São Paulo: UNICAMP/FAPESP, p.112-141, 1992.

MORELLI, A. F. **Identificação e transformação das unidades da paisagem no município de São José dos Campos (SP) de 1500 a 2000**. 2002. 437 f Tese (Doutorado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2002.

MORITZ, C. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary process that sustain it. **Systematics Biology**, v. 51, n. 2, p. 238-254, 2002.

MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. **Wiley & Sons**. New York. 1974.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Edição especial. Colombo, n. 60, p. 11-17, 2009.

MULLER, N. L. **O fato urbano na Bacia do Rio Paraíba**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1969.

MURADIAN, R., CORBERA, E., PASCUAL U., KOSOY N., MAY P. H. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**. 69 (6), p. 1202-1208, 2010.

MUUKKONEN, P. **Forest inventory-based large-scale forest biomass and carbon budget assessment: new enhanced methods and use of remote sensing for verification**. 2006. 49 f. Dissertation. (Forestry Master's) – University of Helsinki, Helsinki. Finland. 2006.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403: 853-845. 2000

NILTON, C. L. **O impacto das pequenas centrais hidrelétricas - PCHs no meio ambiente**. 2009. 17 f. (Trabalho de Conclusão do Curso Especialista em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

NINAN, K. N.; INOUE, M. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't. **Ecological Economics**. V. 93, p. 137-149, 2013.

NOGUEIRA, E. M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 1853-1867, 2008.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; GRAMMEL, R.; FENNER, P. T. **O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações**. In: AS

FLORESTAS E O CARBONO. SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.): CURITIBA, Brasil, cap. 4, p. 89-108, 2002.

OLANDER, J. Las opciones forestales en el mecanismo de desarrollo limpio: um resumen de los principales temas para los países andinos. Quito: Editora EcoDecisión, febrero, 2000.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas, Instituto Agrônômico/EMBRAPA Solos. Campinas. 64p, 1999.

PALMER, M. A.; FALK, D. A.; ZEDLER, J. B. **Ecology theory and restoration ecology**. In: FALK, D.A.; PALMER, M.A.; ZEDLER, J.B. (ED) FOUNDATION OF RESTORATION ECOLOGY. Washington, Covelo, London: SERI, Island Press, p. 1-10, 2006.

PARDÉ, J. Forest biomass. In: FORESTRY ABSTRACT REVIEW ARTICLE. França: Station de Silviculture et de Production, Centre National de Recherches Forestieres, vol. 41. p. 349-352. 1980.

PETRONE, P. A região de São Luís do Paraitinga. Estudo de Geografia Humana. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 21, p 239-336, 1959.

PERROTTA, M. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:750.000. São Paulo, CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil). 2005.

PIMENTA, S.M.; PEÑA, A.P.; GOMES, P.S. **Aplicação e métodos físicos, químicos e biológicos na Avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde, Goiás**. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=s1982-451300900300013elang=pt>>. Acesso em: 08 set. 2014.

PRADO, R. M; FLORES, R. A. Nutrição e adubação da seringueira. 2010. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/366505/>>. Acesso em 4 junho 2016

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS DO PARAITINGA. 2016. Disponível em: <<http://www.saoluizdoparaitinga.sp.gov.br/site/departamentos/administrativo/>>. Acesso em: 29 jun. 2016

QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science & Police**. v. 16. p. 81-89. 2012.

REIS, A.; KAGEYAMA, P.Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (eds.) **RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS NATURAIS**. FEPAP, Botucatu. 340 p. 2003.

RENNER, R. M. **Sequestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

REZENDE, A.V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n.71, p.65-76, 2006.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

RIBEIRO, S.C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

RICCI, F.; CARNIELLO, M.F.; CÉSAR, P. A.B; SANTOS, M.J. DOS; OLIVEIRA, E.A.A.Q. O patrimônio de São Luiz do Paraitinga: discurso da mídia. GT3. **Folk comunicação política, turística e religiosa**. Taubaté: UNITAU, 2009.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares**. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP: FAPESP, 2000.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S. **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. (Organização: Ricardo Ribeiro Rodrigues, Pedro Henrique Santin Brancalion, Ingo Isernhagen). São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 255 p., 2009.

ROSA, L.P.; DOS SANTOS, M.A.; MATVIENKO, B.; DOS SANTOS, E.O.; SIKAR, E.. **Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions**. *Climatic Change*, 66(1-2): 9-21p. 2004.

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

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V. ; BALBINOT, F. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* de Wild no Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Árvore**, 33(5):907-15, 2009.

SALLIS, S. M. et al. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil Pantanal wetlands base don allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, v. 228, p. 61-68, 2006.

SANQUETA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B. (Eds.). *Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*. Curitiba: UFPR/Ecoplan, p. 77-93. 2004.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M.A.B.; GOMES, F. S. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Ed. dos Autores, p. 119-140. 2002.

SANTOS, M. A. et al. **Carbon budget in tropical reservoirs**. In: SEMINAR ON GREENHOUSE FLUXES FROM HYDRO RESERVOIR AND WORKSHOP ON

MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RESERVOIR AT WATERSHED LEVEL, 2005, Rio de Janeiro. Proceedings...: Rio de Janeiro: ELETROBRAS, COPPE/UFRJ. 2005.

SANTOS, K. et al. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.8, v.1, p.99-112, 2006.

SANTOS, M.A. et al. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliense**. n. 12, v. 1, p. 141-154, 2008.

SANTOS, V. A. **Análise do Diagnóstico dos Condicionantes Antrópicos associados aos Riscos de Escorregamentos como Subsídios à elaboração de Políticas Públicas de Gestão e Ordenamento Territorial**. 2013. 87 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2013.

SÃO PAULO (ESTADO). LEI Nº 11.197, DE 5 DE JULHO DE 2002. Diário Oficial Estadual, Poder Executivo, Seção I, São Paulo, 112 (127), sábado, 6 de julho de 2002. Disponível em: <https://www.imprensaoficial.com.br/DO/GatewayPDF.aspx?link=/2002/executivo%20secao%20i/julho/06/pag_0002_BLOVT2PJ1N1OHe09GH6L2CNHP0B.pdf>. Acesso em: 10 jun 2016.

SÃO PAULO (ESTADO). Resolução nº 21/2001, de 21 de novembro de 2001. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 22/11/2001. Seção Meio Ambiente.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Fundação para Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo. (coord. Claudete Marta Hahn et al.) Recuperação Florestal: da muda à floresta. SMA: São Paulo, 112 p., 2004.

SÃO PAULO (estado). Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Resolução nº 47/2003, de 26 de novembro de 2003. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 26/11/2003. Seção Meio Ambiente.

SÃO PAULO (ESTADO). INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. (coord. KRONKA, F.J.N.). São Paulo. Imprensa oficial, v.1, 200 p. 2005.

SÃO PAULO (ESTADO). Resolução nº 08/2008, de 31 de janeiro de 2008. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 01/02/2008. Seção Meio Ambiente.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Unidade de Coordenação do Projeto de Recuperação das Matas Ciliares. Restauração ecológica: sistemas de nucleação. Coordenação do Projeto de Recuperação das Matas Ciliares: Daniela Petenon Kuntschik, Marina Eduarte, Renato Soares Armelin (coord.), São Paulo: SMA, 2010.

SÃO PAULO (ESTADO). Resolução nº 32/2014, de 03 de abril de 2014. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 06/04/2014. SEÇÃO I, p 36-37.

SBRISSIA, R. C. **Emissão de gases de efeito estufa de reservatórios de pequenas centrais hidrelétricas: estudo de caso PCH Salto Natal, Campo Mourão – Paraná.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, 2008.

SCOLFORO, J.; et al. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual.** Lavras, MG: Editora UFLA, 2008.

SEADE (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS). 2016. Disponível em: <<http://www.planejamento.sp.gov.br/index.php?id=50&idd=151>>. Acesso em: 20 jun. 2016

SER (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION SCIENCE & POLICY WORKING GROUP). 2012. The SER international primer on ecological restoration. Disponível em: <http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asph>. Acesso em: 10 out. 2015.

SER (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION SCIENCE & POLICY WORKING GROUP). 2004. The SER international primer on ecological restoration. Disponível em: <http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asph>. Acesso em: 10 out. 2015.

SETANI, M; BRAUN, J. C. **Impactos Ambientais de Centrais Geradoras Hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2014. Disponível em: <<http://www.ciclusambiental.net.br/blog/impactosambientaisdecentraisgeradorashidreletricasepequenascentraishidreletricas>>. Acesso em: 23 mai. 2016.

SILVEIRA, P. C. B. **Etnografia da paisagem: natureza, cultura e hibridismo em São Luiz do Paraitinga.** 2008. 218f. (Doutorado em Ciências Sociais), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. 2008.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P. **Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG.** Cerne, 12 (1): p. 48-55, 2005.

SIQUEIRA, R. B. P. **Emissões de Poluentes em Centrais Hidrelétricas: Aspectos Técnicos, Econômicos e Ecológicos.** 2015. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

SMA (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO). INSTITUTO GEOLÓGICO. Mapeamento de áreas de risco associadas a escorregamentos e inundações em São Luís do Paraitinga. São Paulo: Instituto Geológico. **Relatório Técnico**, 46p. 2008.

SMA (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE). Resolução SMA Nº 42, de 29 de dezembro de 1994. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-42-1994>>. Acesso em: 12 mai 2016.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2ª Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011.

SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, [S.l.], Feb., 2006.

SOS MATA ATLÂNTICA. **A Mata Atlântica**. Floresta, 2014. Disponível em: <<http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: 2 ago 2014.

SOUSA-LIMA, A. Estimativas de biomassa e estoques de carbono de uma floresta secundária em Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 18p., 2003.

SOUZA, A.; BOINA, C. P. B.; SOARES, B.R.; VITAL, R.O.; GASPAR E.J.; JACINTO, M. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em florestas estacional semidecidual. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, V.36, n1. p. 169-179. 2012.

SOUZA, F.M. **Associações entre espécies arbóreas do dossel e do sub-bosque em uma floresta estacional semidecidual**. 2006. 106 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de Campinas, 2007.

SUGAI, H. M. SANTOS JUNIOR, M. F. As Pequenas Centrais Hidrelétricas e os Créditos de Carbono. **Revista PCH Notícias & SPH News**. Ano 8, nº29. Mar, 2006.

RIBEIRO, S. C. Estoque de biomassa e carbono em cerrado e em plantio comercial de eucalipto no estado de Minas Gerais. Dissertação Mestrado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 60p, 2011.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**. 1(1):132-138. 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TORRES, C. M. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, 37(4):647- 55, 2013.

TRES, D. R.; REIS, A. **La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA. Anais. Santa Clara, Cuba, 2007.

TRES, D. R. **Tendências da restauração ecológica baseada na nucleação**. IN: MARIATH, J. E. A; SANTOS, R. P. (ORGS). OS AVANÇOS DA BOTÂNICA NO INÍCIO DO XXI: MORFOLOGIA, FISILOGIA, TAXONOMIA, ECOLOGIA E GENÉTICA. Conferências

Plenárias e Simpósios do 57º Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil. P. 404-408. 2006.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. C. L. **Meteorologia descritiva - Fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo, Ed: Nobel. 1984, 374 p.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas**. Ministério do meio Ambiente/SQC, Brasília. 302p. 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP. 1993, 943 p.

UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). Vital Climate Change Graphics. 2005.

UNESCO (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION). Assessment of the GHG status of freshwater reservoirs. 2008. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001817/181713e.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2014.

VAREJÃO-SILVA, M.A., 2000. **Meteorologia e climatologia**. 2 ed. Brasília. Editora Stilo. 2000, 532 p.

VELASCO, G. D. N.; HIGUCHI, N. Estimativa de sequestro de carbono em mata ciliar: projeto pomar, São Paulo, SP. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v.5, n.1, P135-141. 2009.

VELOSO, H. P. e RANGEL-FILHO, A. L.; LIMA, J. C. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada ao sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. 1991, 123p.

VIEIRA, S.A. et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**. v. 8., n. 2., p. 21-29, 2008.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. [S.l.]: Academic Press. 2006, 483 p.

WALLACE, J.B.; EGGERT, S.L.; MEYER, J.L.; WEBSTER, J.R. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. **Science**, v.277, n.5322, p.102-104, 1997.

WANG, W. et al. Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American grasslands. Part I: **Statistical analysis**. Earth Interactions. v. 10, n. 17, p. 1-26, 2006.

WATSON, R.T. et al. Land-use, land-use change and forestry: a special report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press. 2000, 377 p.

WATZLAWICK, L.F. et al. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 345-352, 2012.

WATZLAWICK, L.F. et al. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C.R., WATZLAWICK, L.F. BALBINOT, R. ZILIOOTTO, M.A., GOMES, F.S. (Org.) **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, p153-173. 2002.

WATZLAWICK, L.F.; KOEHLER, H.S.; KIRCHNER, F.F. **Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite Ikonos II**. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. Anais. Santa Maria: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, p. 168-178, 2004.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey of Energy Resources**. London. 2007, 600 p.

YARRANTON, G. A.; MORRISON, R. G. Spatial dynamics of primary succession: nucleation. **Journal of Ecology**. 62 (2). p. 417-428, 1974.

APÊNDICE

I. Famílias, espécies, altura média, DAP médio e número dos indivíduos amostrados na Bacia Hidrográfica do Rio do Chapéu.

Continua

Família	Espécie	Média DAP (cm)	Média Altura (m)	Nº Indivíduo Espécies
Leguminosae	<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) Benth.	7,5	6	5
Opiliaceae	<i>Agonandra englerii</i> Hoehne	12,1	8	2
Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervea</i> (Spring.) Macbr.	31,89	13,6	10
Rubiaceae	<i>Alibertia concolor</i> (Cham.) K.Schum	11,97	9,67	3
Sapindaceae	<i>Allophylus petiolulatus</i> Radlk.	6,7	4,5	2
Rubiaceae	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	21,6	10	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma olivaceum</i> M. Arg.	11,2	8,1	5
Rubiaceae	<i>Bathysa</i> sp	7,95	3,5	2
Lauraceae	<i>Beilschmiedia emarginata</i> (Meisn.) Kostem.	11,4	13	2
Malpighiaceae	<i>Byrsonima</i> sp	21,63	12	3
Myrtaceae	<i>Calypttranthes grandifolia</i> O. Berg	11,26	7,63	8
Myrtaceae	<i>Calypttranthes</i> sp	12	10,5	16
Flacourtiaceae	<i>Casearia lasyophylla</i> Eichler	28,04	16,8	5
Oleaceae	<i>Chionanthus filiformes</i> (Vell.) P.S. Geen.	7	7	1
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum viride</i> Mart. & Eichler.	33,35	13,5	4
Lauraceae	<i>Cinnamomum pseudo glaziovii</i> Lorea-Hern	10	6,5	2
Icacinaceae	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard	14,3	9,5	2
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers.	44,6	17	1
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> var. <i>laevigata</i> (Meisn.) Sleum	35	16	2
Lauraceae	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	21,76	10	5
Lauraceae	<i>Cryptocarya Moschata</i> Ness et Mart.	27,7	17	2
Lauraceae	<i>Cryptocarya moschata</i> Ness et Mart.	31,80	25	2
Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meissner) Nevl.	15,9	10,13	4
Araliaceae	<i>Didymopanax angustissimum</i> E. March	14,6	12,88	15
Araliaceae	<i>Didymopanax falcatus</i> E. March.	26,38	13,5	4
Sapotaceae	<i>Diplöon cuspidatum</i> (Hoehne) Cronquist	44,4	12,75	7
Annonaceae	<i>Duguetia salicifolia</i> R. E. Fr.	16,27	13,33	8
Myrtaceae	<i>Eugenia mosenii</i> (Kausel) Sobral	23,37	13,17	6
Myrtaceae	<i>Eugenia stictosepala</i> Kiaersk.	7,6	10	3
Myrtaceae	<i>Eugenia beaurepaereana</i> (Kiaersk.) Legr	4,8	6	1
Myrtaceae	<i>Eugenia prasina</i> O. Berg	15,33	9	8
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp	13,7	12	3
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart	11,34	11,375	34
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> D. Zappi	11,17	10,14	7
Nyctaginaceae	<i>Guapira hoehnei</i> (Standl.) Lundell	15,9	12	1
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	20,98	9,81	9
Nyctaginaceae	<i>Guapira</i> sp	16,57	5,67	3

Continuação

Família	Espécie	Média DAP (cm)	Média Altura (m)	Nº Indivíduo Espécies
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	25,5	17	12
Annonaceae	<i>Guatteria australis</i> A. St. Hil.	8,2	7,75	7
Aquifoliaceae	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	13,05	7,5	6
Aquifoliaceae	<i>Ilex taubertiana</i> Loes	7,3	8	1
Leguminosae	<i>Inga marginata</i> Willd.	9,08	6,5	5
Leguminosae	<i>Inga sessilis</i> (Vell.) Mart	14,3	5	13
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i> Cham	18,02	8,08	14
Monimiaceae	<i>Macropeplus ligustrinus</i> (Tul.) Perkins	14,6	7	3
Myrtaceae	<i>Marlierea obscura</i> O. Berg	22,08	13,4	5
Myrtaceae	<i>Marlierea suaveolens</i> Cambess.	12,74	6,7	5
Celastraceae	<i>Maytenus revonymoides</i> Reiss.	18,1	7	2
Celastraceae	<i>Maytenus robusta</i> Reiss.	16,08	7,75	4
Sabiaceae	<i>Meliosma sinuata</i> Urb.	9,85	8,5	5
Melastomataceae	<i>Meriania</i> sp	11,18	5,1	4
Melastomataceae	<i>Miconia cubatanensis</i> Hoehne	8,53	9,75	4
Melastomataceae	<i>Miconia formosa</i> Cogn	19,1	12	1
Melastomataceae	<i>Miconia brunea</i> Mart. ex DC.	7	4	10
Melastomataceae	<i>Miconia budlejoides</i> Triana	6,4	5	5
Melastomataceae	<i>Miconia fasciculata</i> Gard.	6	6	1
Melastomataceae	<i>Miconia pusiliflora</i> (DC) Triana	10,08	8,61	9
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp	10,55	5	3
Sapotaceae	<i>Micropholis gardneriana</i> (A.DC.) Mez.	40,08	16,76	19
Monimiaceae	<i>Mollinedia engleriana</i> Perkins	16	9	1
Monimiaceae	<i>Mollinedia gilgiana</i> Perkins	18,02	8,08	6
Monimiaceae	<i>Mollinedia luizae</i> Peixoto	5,4	4	1
Monimiaceae	<i>Mollinedia cyatantha</i> Perkins	10,2	3,5	4
Monimiaceae	<i>Mollinedia elegans</i> Tue.	7	6,5	6
Monimiaceae	<i>Mollinedia hatschibachii</i> Peixoto	19,05	8,46	13
Myrtaceae	<i>Myrceugenia myrcioides</i> (Cambess.) O. Berg	14,6	20	5
Myrtaceae	<i>Myrcia fallax</i> (Rich) DC.	5,7	5	2
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp	8,3	6,6	3
Lauraceae	<i>Nectandra membranaceae</i> (Sw.) Griseb.	53,78	21	4
Lauraceae	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	16,31	9,39	14
Lauraceae	<i>Ocotea bicolor</i> Vatt.-Gil	15,1	11,75	4
Lauraceae	<i>Ocotea catharinensis</i> Mez	22,66	12,8	5
Lauraceae	<i>Ocotea daphnifolia</i> Mez	5,7	7	1
Lauraceae	<i>Ocotea dispersa</i> (Ness) Mez	28,62	14,67	6
Lauraceae	<i>Ocotea elegans</i> Mez	18,66	12,87	30
Lauraceae	<i>Ocotea notata</i> (Nees) Mez	57,64	15,2	5
Lauraceae	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	15,3	12	4
Lauraceae	<i>Ocotea porosa</i> (Nees) Barroso	22,9	10,5	2
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	31,8	20	2

Continuação

Família	Espécie	Média DAP (cm)	Média Altura (m)	Nº Indivíduo Espécies
Lauraceae	<i>Ocotea pulchra</i> Vatt.-Gil	13,5	9,5	4
Lauraceae	<i>Ocotea sp</i>	6,95	6,5	4
Lauraceae	<i>Ocotea vaccinioides</i> (Meisn.) Mez	12,7	8	1
Lauraceae	<i>Persea pyrifolia</i> Nees	44,6	12	1
Lauraceae	<i>Persea sp</i>	22	10,5	4
Simaroubaceae	<i>Picramnia glazioviana</i> Engler	7,3	5,25	2
Myrtaceae	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	25,5	10	12
Sapotaceae	<i>Pouteria cf. laurifolia</i> (Gomes) Radlk.	23,03	13,33	3
Sapotaceae	<i>Pouteria psammophila</i> (Mart.) Radlk.	53,8	17,5	2
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i> (L) Urban	6,4	5	6
Rubiaceae	<i>Psychotria sp</i>	28,6	12	3
Rubiaceae	<i>Psychotria suterella</i> Mull. Arg.	9,93	6,5	4
Rubiaceae	<i>Psychotria vellosiana</i> Benth	8,71	7,34	16
Quinaceae	<i>Quina glaziovii</i> Engl.	6,04	3	1
Myrsinaceae	<i>Rapanea gardneriana</i> (A DC.) Mez	7,23	6,69	8
Myrsinaceae	<i>Rapanea lineata</i> Mez	8,28	4	10
Myrsinaceae	<i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez	5,1	6	6
Annonaceae	<i>Rollinia sylvatica</i> (A. ST.-Hil) Mart.	29,3	18,5	8
Euphorbiaceae	<i>Sapium sp</i>	17,2	8,5	2
Leguminosae	<i>Sclerobium denudatum</i> Vog	7	7	2
Myrtaceae	<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg	25,49	12	12
Myrtaceae	<i>Siphoneugena kiaerskoviana</i> (Burret) Kaus	24	13	1
Monimiaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	14,6	9	1
Monimiaceae	<i>Siparuna brasiliensis</i> (Spreng) A.DC.	7	5	7
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> Aubl.	13,55	8	2
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea monosperma</i> Vell.	11,1	5,5	1
Solanaceae	<i>Solanum cinnamomeum</i> Sendtn.	19,73	15,33	3
Solanaceae	<i>Solanum rufescens</i> Sendtn.	6,13	5,17	6
Moraceae	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) Burg. & Boer.	11,95	9,5	12
Moraceae	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baillon) Burgel	13,44	10	5
Styracaceae	<i>Styrax sp</i>	26,75	10	2
Symplocaceae	<i>Symplocos variabilis</i> Mart. Ex Miq.	10,8	6	11
Symplocaceae	<i>Symplocos falcata</i> Brand.	11,4	13	2
Melastomataceae	<i>Tibouchina gaudichaudiana</i> (D.C.) Baillon	6	5	11
Melastomataceae	<i>Tibouchina pulchra</i> Cogn.	12,7	6	4
Humiriaceae	<i>Vantanea compacta</i> (Schnizl.)	9,55	9,5	2
Asteraceae	<i>Vernonia diffusa</i> Less	5,4	6	6
Asteraceae	<i>Vernonia puberula</i> Less.	35	20	8
Vochysiaceae	<i>Vochysia magnifica</i> Warm.	29,03	12,33	6
Cunoniaceae	<i>Weinmania paullinifolia</i> Pohl ex Seringe	13,8	21	3
Leguminosae	<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) Benth.	7,5	6	5
Total de Indivíduos Amostrados				658