

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE QUÍMICA
PÓS GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA AMBIENTAL**

LUDMILA DE SOUZA VAREJÃO MARINHO

**MODELO ALOMÉTRICO PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E ESTOQUE DE
CARBONO NA MATA ATLÂNTICA: MÉTODO NÃO DESTRUTIVO COM BASE
EM TÉCNICAS DE ESCALADA**

**NITERÓI
2010**

LUDMILA DE SOUZA VAREJÃO MARINHO

**MODELO ALOMÉTRICO PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E ESTOQUE DE
CARBONO NA MATA ATLÂNTICA: MÉTODO NÃO DESTRUTIVO COM BASE
EM TÉCNICAS DE ESCALADA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. WILLIAM ZAMBONI DE MELLO
Co-orientador: Prof. Dr. KENNY TANIZAKI FONSECA

Niterói
2010

M338 Marinho, Ludmila de Souza Varejão.

Modelo alométrico para estimativa da biomassa e estoque de carbono na Mata Atlântica : método não destrutivo com base em técnica de escalada / Ludmila de Souza Varejão Marinho. – Niterói : UFF. Programa de Geoquímica, 2010.

51 f.: il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Geociências - Geoquímica ambiental). Universidade Federal Fluminense, 2010. Orientador: Prof. Dr. William Zamboni De Mello. Co-orientador: Prof. Dr. Kenny Tanizaki Fonseca.

1. Arborização. 2. Equação alométrica. 3. Biomassa florestal. 4. Regeneração (Biologia). 5. Mata Atlântica (RJ). 6. Produção intelectual.

CDD 634.956

LUDMILA DE SOUZA VAREJÃO MARINHO

"MODELO ALOMÉTRICO PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO NA MATA ATLÂNTICA: MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO COM BASE EM TÉCNICAS DE ESCALADA"

Dissertação apresentada ao Curso de Pós - Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do **Grau de Mestre**. Área de Concentração: **Geoquímica Ambiental**.

Aprovada em setembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA



PROF. DR. WILLIAM ZAMBONI DE MELLO
ORIENTADOR/UFF



PROF. DR. KENNY TANIZAKI FONSECA
CO-ORIENTADOR/UFF



PROF. DR. MARCELO TRINDADE NASCIMENTO
UENF



PROF. DR. MARCELO CORREA BERNARDES
UFF

NITERÓI
2010

“Cada dia a natureza
produz o suficiente para nossa carência.
Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário,
não haveria pobreza no mundo
e ninguém morreria de fome.”

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio e carinho;

Ao prof. Dr. Kenny Tanizaki, meu co-orientador e idealizador deste trabalho, por toda a orientação e fundamental realização das escaladas;

Ao prof. Dr. William Zamboni de Mello pela orientação e por “abraçar” o projeto;

Ao Dr. Eduardo Negri por valiosa orientação e fundamentais momentos de reflexão;

À Martha Fioretti por ceder sua casa como apoio logístico, bem como, toda a sua área externa de floresta para a realização do trabalho de campo;

Ao caseiro Abrão por toda a recepção, hospitalidade e enorme força braçal em campo;

À Julia Kazue Shimabukuro por sua disposição e ajuda na realização de todo o campo, bem como por sua dedicação também nas análises laboratoriais;

À amiga, Carine pelo valioso trabalho como “babá de campo” e toda companhia sempre;

À amiga, Patrícia por cuidar do meu pequeno-grande durante a realização da prova de seleção e por todo o carinho e descontração;

À Carolina, aluna do prof. Kenny, pela ajuda em campo;

As amigas Nilva, Camila Lobo e Vivi pelo auxílio na utilização dos laboratórios;

Aos amigos do curso Aline, Clarissa, Marcos, Silvia, Luis, Marina, Yvaga, Beth, Julie, entre outros pelos estudos e especiais momentos compartilhados;

Aos professores do curso pelo suporte e orientações;

Aos secretários da Geoquímica Meiber e Nivaldo pela resolução de todas as questões burocráticas, atenção e carinho;

Ao CNPq pela bolsa de estudos;

À FAPERJ pelo equipamento de escalada;

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho e que nele acreditaram. Gratidão!

RESUMO

O presente trabalho buscou estimar a biomassa viva acima do solo (*BVAS*) em um fragmento florestal da Mata Atlântica localizado no sopé da Pedra de Itaocaia, município de Maricá/RJ. Para ajustar uma equação alométrica para a área de estudos, 7 indivíduos arbóreos representativos da região foram escalados e um galho de cada árvore foi retirado. Este procedimento possibilitou a obtenção de medidas dos volumes dos diferentes compartimentos arbóreos (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas) e das respectivas densidades básica (média=0,52 g/cm³) e fresca (média = 0,94 g/cm³), medidas estas utilizadas para calcular os fatores de forma dos galhos (*FFG*) e arbóreo (*FFA*). De maneira geral, as contribuições dos galhos finos e folhas decrescem com o aumento do diâmetro da base do galho, já a porcentagem de galhos grossos cresce e o valor do *FFG* diminui com o aumento do diâmetro da base do galho. A contribuição dos compartimentos galhos grossos, finos e folhas somam 33% da *BVAS* total arbórea na região. O *FFA* = 0,65 foi o fator que melhor estimou a *BVAS* por meio da equação alométrica $BVAS = FFA * D_b * AB * H$, onde D_b é a densidade básica, AB é a área basal e H é a altura da árvore. As estimativas de *BVAS* e estoque de carbono foram de 100 t/ha e 50,5 tC/ha, respectivamente, sugerindo que o fragmento florestal da Pedra de Itaocaia está num estágio de regeneração intermediário e com período de abandono estimado em 40 anos.

Palavras-chave: Fator de forma arbóreo. Volume arbóreo. Densidade básica. Floresta secundária. Estágio de regeneração.

ABSTRACT

This study aimed to estimate aboveground biomass (*AGB*) in an Atlantic Forest fragment located at the Stone Itaocaia, Marica, Rio de Janeiro. To fit an allometric equation for the study area, seven trees were scaled and a branch of each tree was removed. This procedure enabled to obtain measurements of the volumes of different compartments of trees (trunk, branches and leaves) and their basic densities (mean = 0.52 g/cm³) and cool (mean = 0.94 g / cm³), measures used to calculate the form factors of the branches (*FFG*) and the tree (*FFA*). In general, the contributions of branches and leaves decrease with increasing the diameter of the base of the branch, percentage of thick branches grow and *FFG* value decreases with increasing the diameter of the base of the branch. The contribution of branches, and leaves add 33% of the total tree *AGB* in the region. The *FFA* = 0.65 was the factor that best predicted the *AGB* by the allometric equation $AGB = FFA * H * AB * Db$, where *Db* is the density, *AB* is the basal area and *H* is the height of the tree. Estimates of carbon stock and *AGB* were 100 t / ha and 50.5 tC / ha, respectively, suggesting that the fragment of Stone Itaocaia is an intermediate stage of regeneration and abandonment period estimated at 40 years.

Key words: Form factor tree. Tree volume. Basic density. Secondary forest. Regeneration stage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – a) Bioma Mata Atlântica; b) Remanescentes Florestais Estado do Rio de Janeiro (Fontes: SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009; MMA, 2010)	18
Figura 3.2 – Compartimentos que estocam carbono na biomassa de uma floresta (Fonte: TANIZAKI in: Fundação SOS Mata Atlântica).....	19
Figura 3.3 – Trado, equipamento utilizado para retirada de amostras do tronco sem comprometer a árvore (Fonte: CHAVE, 2005 in: Jérôme Chave)	23
Figura 3.4 – Método do deslocamento de água para medidas do volume fresco (Fonte: CHAVE, 2005 in: Jérôme Chave)	23
Figura 4.1 – Pedra de Itaocaia (Fonte: Google Earth)	25
Figura 5.1 – Fotografias da Pedra de Itaocaia e estrutura florestal circundante	27
Figura 5.2 – Técnica de escalada apresentando em detalhe a divisão do tronco em seções de 1m (Fonte: TANIZAKI, 2000)	28
Figura 6.1 – Porcentagem de cada compartimento (Galho Grosso, Galho Fino e Folhas) dos galhos derrubados em função do diâmetro da base do galho (<i>DBG</i>)	34
Figura 6.2 – Variações do Fator de Forma do Galho (<i>FFG</i>) em função do Diâmetro da Base do Galho (<i>DBG</i>)	35
Figura 6.3 – Porcentagem dos compartimentos Galhos e Folhas em relação ao volume total de todas as árvores escaladas (tronco + galhos) e em relação ao volume das respectivas árvores escaladas (tronco + galhos). Em ordem crescente de <i>DAP</i> (diâmetro na altura do peito)	36
Figura 6.4 – Fator de Forma Arbóreo (<i>FFA</i>) das árvores relacionadas na Tabela 6.2, excluindo a árvore A1-Jequitibá	38
Figura 6.5 – Porcentagem cumulativa de <i>BVAS</i> (ordem decrescente de biomassa) das árvores presentes no inventário coletado por Carvalho (2007)	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Características dos diferentes compartimentos (galho grosso, galho fino e folhas) dos galhos cortados e dos galhos medidos	33
Tabela 6.2 – Resumo das principais características das árvores escaladas e as contribuições dos diferentes compartimentos para a BVAS	37
Tabela 6.3 – Aferição das estimativas de BVAS utilizando diferentes FFA's e diferentes áreas amostrais	40
Tabela 6.4 – Exemplos de BVAS medida e estimadas para indivíduos arbóreos extraídos dos dados das Fontes 1 a 5	42

LISTA DE ABREVIATURAS

AB – Área Basal

BM – Biomassa Morta

BS – Biomassa Subterrânea

BT – Biomassa Total

BVAS – Biomassa Viva Acima do Solo

CV – Coeficiente de Variação

D – Densidade

D_b – Densidade Básica

DAP – Diâmetro na Altura do Peito

DBG – Diâmetro da Base do Galho

FFA – Fator de Forma Arbóreo

FFG – Fator de Forma do Galho

H – Altura Árvore

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

MOS – Matéria Orgânica do Solo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	15
2.1. OBJETIVOS	15
2.2. JUSTIFICATIVA	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1. A MATA ATLÂNTICA	1
3.2. ESTOQUE DE CARBONO NAS FLORESTAS	18
3.3. ESTIMATIVAS DA <i>BVAS</i> EM FLORESTAS	20
3.4. DENSIDADE DA MADEIRA	21
4. ÁREA DE ESTUDO	25
5. MATERIAL E MÉTODOS	26
5.1. ATIVIDADE DE CAMPO	26
5.2. CÁLCULO DA DENSIDADE E DO VOLUME FRESCO	28
5.3. CÁLCULO DO <i>FFG</i> E DO <i>FFA</i>	29
5.3.1. Cálculo do <i>FFG</i>	29
5.3.2. Cálculo do <i>FFA</i> e estabelecimento da equação alométrica	30
5.4. AFERIÇÃO DA EQUAÇÃO ALOMÉTRICA E ESTIMATIVA DA <i>BVAS</i> E DO ESTOQUE DE CARBONO A PARTIR DE UM INVENTÁRIO FLORESTAL	31
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.1. CONTRIBUIÇÃO DOS GALHOS E FOLHAS PARA O VOLUME TOTAL DA ÁRVORE	32
6.2. <i>BVAS</i> DAS ÁRVORES ESCALADAS E O CÁLCULO DO <i>FFA</i>	36
6.3. AFERIÇÃO DA EQUAÇÃO ALOMÉTRICA	39
6.4. ESTIMATIVAS DA <i>BVAS</i> A PARTIR DE UM INVENTÁRIO FLORESTAL E O ESTOQUE DE CARBONO ASSOCIADO	43
6.5. ESTOQUE DE CARBONO	45
6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

7.	CONCLUSÃO	47
8.	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Até meados do século passado o meio ambiente era visto como uma fonte inesgotável de recursos, capaz de assimilar e absorver os impactos ambientais de um sistema produtivo exacerbado. Se por um lado a ciência contribuiu para a alta taxa de produtividade do sistema capitalista, por outro trouxe à tona novas descobertas e evidências que mostram as consequências que esse modelo de desenvolvimento acarretou ao meio ambiente como um todo. O consumo excessivo derivado desse sistema produtivo vem mitigando o fôlego dos sistemas regeneradores da vida, com implicações ecológicas que vão desde a extinção de espécies da fauna e da flora até o comprometimento, em larga escala, dos mecanismos que regulam o clima no planeta.

Atualmente as emissões de dióxido de carbônico (CO₂) tem sido o foco de debates científicos calorosos e estão entre as prioridades das agendas políticas internacionais. Comunidades científicas globais, como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), tem juntado esforços para diagnosticar as taxas de emissões e sequestro de CO₂. A relevância do tema é justificada pelas implicações ambientais e financeiras que derivam da estipulação de metas de emissões e da manutenção de reservatórios de carbono. Do lado ambiental, a emissão de CO₂ é apontada como um dos principais agentes causadores do aquecimento global, conhecido como efeito estufa. Embora, globalmente a maior parte, aproximadamente 70%, das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa venha da queima de combustível fóssil e da manufatura de cimento, o resto, aproximadamente 30%, é liberado por mudanças do uso da terra, especialmente o desmatamento florestal (FEARNSIDE, 1998).

Além de manter a diversidade biológica, as florestas são atualmente vistas como agentes reguladores dos processos hidrológicos e meteorológicos e como um importante reservatório de carbono. Dentre os diversos serviços ambientais prestados pela manutenção e regeneração da biomassa vegetal, a fixação do carbono atmosférico é apontado como um

meio eficaz de mitigação dos impactos do aquecimento global (LOHMANN, 1999; AB'SABER, 1990; FEARNSIDE, 1998). De maneira geral, a biomassa vegetal expressa o resultado de um complexo processo de interação entre fatores bióticos e abióticos que caracterizam a estrutura do ecossistema, revela o potencial de acumulação de energia e nutrientes pela biota em interação com fatores ambientais e está sujeita a variações moduladas pelas características genéticas de todas as espécies, populações, comunidades e história de cada ecossistema. Dessa forma, a biomassa vegetal representa um parâmetro relevante para a análise e monitoramento dos ecossistemas, avaliação de impactos, análise de estágios de sucessão, avaliação da capacidade de produção primária e estoque de carbono (FEARNSIDE, 1998; BURGER, 2005).

A biomassa florestal é usualmente calculada aplicando-se equações que determinam o peso seco a partir de medidas da estrutura da árvore (BROWN et al., 1989; BROWN, 1997; CHAVE et al., 2005). Essas equações, conhecidas como equações alométricas, são geradas a partir de regressões que relacionam medidas da dimensão e da massa de indivíduos arbóreos seletivamente cortados, e que supostamente representam a variabilidade de espécies da região de estudo. Diversas equações alométricas foram desenvolvidas, algumas incluem o diâmetro, a altura, a densidade da madeira, teor de água e o fator de forma arbóreo como variáveis explicativas (BROWN et al., 1995; TANIZAKI, 2000).

Para as florestas tropicais, a maior parte das equações alométricas foram desenvolvidas usando dados das regiões equatoriais (VIEIRA et al., 2008). Particularmente para a Mata Atlântica, a quantificação da biomassa florestal tem sido avaliada pelo método indireto (TANIZAKI, 2000), utilizando equações alométricas desenvolvidas para outras florestas tropicais, e pelo método direto (TIEPOLO et al., 2002; BURGER, 2005; SILVEIRA, 2008), também denominado método destrutivo, onde um determinado número de árvores são medidas e derrubadas para elaboração da equação alométrica que será aplicada ao inventário florestal local. Com exceção do trabalho desenvolvido por Tanizaki (2000), tendo como área de estudo a Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, os demais estudos privilegiaram os estados de São Paulo e Paraná e não incorporaram às equações alométricas desenvolvidas a densidade básica da madeira como um fator de variabilidade estrutural da floresta. Embora seja um parâmetro não tão prático de ser medido e que geralmente não está presente nos inventários florestais, a densidade da madeira tem papel relevante para explicar as diferenças nas estimativas do carbono dentro de uma floresta (CHAVE et al., 2005).

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral: ajustar uma equação alométrica para o cálculo da Biomassa Viva Acima do Solo (*BVAS*) e estoque de carbono a partir de amostragens não-destrutivas (utilizando técnicas de escalada) em um fragmento florestal da Mata Atlântica.

Objetivos Específicos:

- determinar a densidade fresca e a densidade básica da madeira das espécies arbóreas escaladas;
- calcular o Fator de Forma do Galho (*FFG*);
- calcular o Fator de Forma Arbóreo (*FFA*) e determinar a equação alométrica;
- determinar a distribuição da biomassa nos diversos compartimentos arbóreos (tronco, galhos e folhas);
- confrontar medidas de *BVAS* derivadas a partir da técnica da escalada em árvores com valores estimado pela equação alométrica estabelecida nesse estudo;
- estimar a *BVAS*/ha a partir de um inventário florestal (diâmetro altura do peito, altura da árvore e densidade) coletado na área de estudo;
- realizar comparação de vegetações de áreas de diferentes idades de abandono e suas respectivas estimativas de *BVAS* com dados da literatura.

2.2. JUSTIFICATIVA

Quantificar e entender os padrões espaciais e temporais da biomassa florestal permite

entender o papel das florestas no ciclo global do carbono, servindo como base para estimativas da capacidade de estocagem de C na Mata Atlântica.

A dificuldade para estimativa da biomassa florestal da Mata Atlântica deve-se à grande diversidade de espécies arbóreas (MYERS, 2000), de tal forma que equações alométricas desenvolvidas em localidades específicas dificilmente conseguem capturar a variabilidade da fisionomia florestal como um todo. Além das incertezas das próprias equações, a extrapolação de uma equação alométrica de uma outra região pode aumentar essas incertezas, porque diferentes ambientes são dominados por diferentes espécies e, portanto, com diferentes relações alométricas (TANIZAKI, 2000). Dessa forma, é desejável equações alométricas que contemplem a fisionomia florestal regional, com inclusão de termos relevantes da estrutura florestal local. Ajustar um modelo para estimativa da biomassa florestal que incorpore as principais variáveis que conferem variabilidade estrutural à floresta (diâmetro, densidade da madeira e altura), sem a derrubada de árvores, por meio de escalada, viabiliza estimativas similares à do método destrutivo já que o volume de biomassa medido por meio da escalada aproxima-se bastante do volume real e permite estudos onde a derrubada de indivíduos arbóreos não é mais possível, ou seja, nas regiões onde os danos causados pelo desmatamento já foram bastante acentuados e/ou em regiões de reservas restritas ao uso, como é o caso da Mata Atlântica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. A MATA ATLÂNTICA

Distribuída ao longo da costa atlântica, com ampla variabilidade latitudinal (29 graus) e estendendo-se ao longo das regiões tropicais e subtropicais, a Mata Atlântica tinha como limites originais uma área que contemplava 17 estados brasileiros em condições ambientais altamente heterogêneas (Figura 3.1a). Além da variabilidade latitudinal, sua variabilidade longitudinal também favorece a produção de diferentes composições florestais, devido ao decréscimo pluviométrico com o distanciamento da região costeira. As regiões costeiras recebem grande quantidade de chuvas durante o ano todo, alcançando 4000 mm, enquanto as regiões mais internas possuem uma precipitação média anual de 1000 mm/ano (CÂMARA, 2003). Essas características geográficas associadas à grande variabilidade de altitude propiciam uma alta diversidade e endemismo biológico.

Nessa extensa área vive atualmente 61% da população brasileira (IBGE, 2007). Embora a destruição da mata tenha sido iniciada com a chegada dos europeus, foi mais acentuada a partir da década de 70, com consequências drásticas para a sua biodiversidade. Apesar disso, a riqueza em biodiversidade pontual é tão significativa que o recorde mundial de diversidade botânica para plantas lenhosas foi registrado na Mata Atlântica, além disso, das cerca de 20 mil espécies de plantas vasculares catalogadas, aproximadamente 6 mil são restritas ao bioma (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009; RIBEIRO et al., 2009).

Levantamentos recentes dos fragmentos florestais da Mata Atlântica com áreas superiores a 100 ha apontam que restam aproximadamente 8% da cobertura vegetal inicial (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009). Ribeiro et al. (2009), considerando os fragmentos florestais com área superiores a 50 ha, estimaram o remanescente florestal da Mata Atlântica em 11%. Os pequenos fragmentos, menores que 100 ha, geralmente encontram-se isolados

um dos outros e em estágio de regeneração secundário, enquanto os grandes fragmentos florestais permanecem em terrenos acidentados e íngremes, dificultando a ocupação humana (RANTA et al., 1998; TANIZAKI, 2000; SILVA et al., 2007).

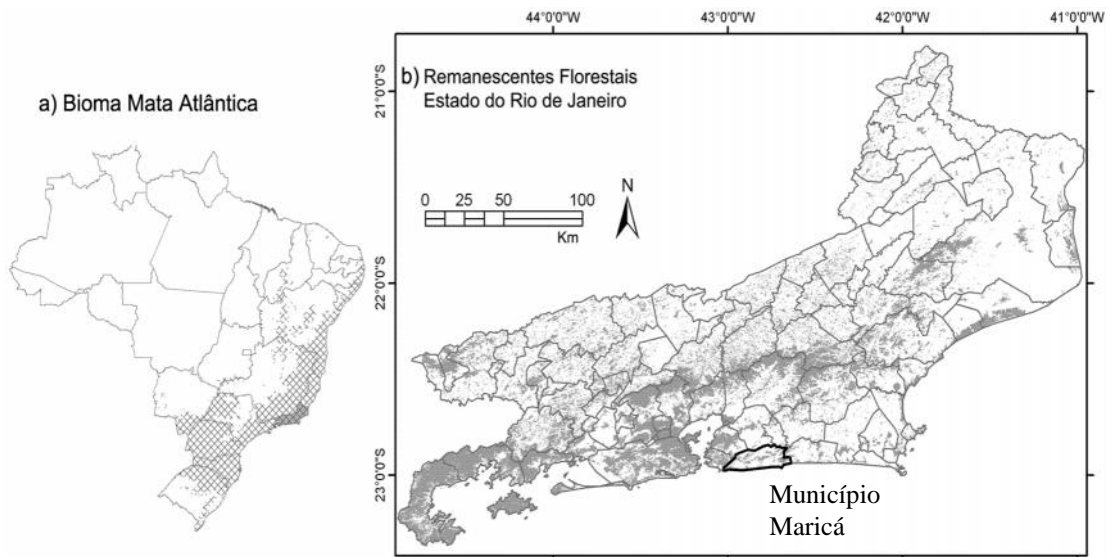


Figura 3.1 - a) Bioma Mata Atlântica; b) Remanescentes Florestais Estado do Rio de Janeiro (Fontes: SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009; MMA, 2010)

Particularmente, o estado do Rio de Janeiro era praticamente totalmente coberto pela Mata Atlântica quando os europeus aqui chegaram. Atualmente permanece aproximadamente 19% dessa cobertura vegetal inicial (Figura 3.1b), constituída de florestas (primárias e secundárias) Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, estacional semidecidual, áreas de formações pioneiras (restingas e manguezais), vegetação xeromórfica e refúgios ecológicos (VELOSO et al. 1991), valor esse que representa 8% do remanescente florestal total da Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009). O estado retém algumas grandes áreas contínuas de florestas, principalmente sobre as vertentes das suas principais cadeias montanhosas: Serra do Mar, Serra da Mantiqueira, Serra da Bocaina, Serra do Desengano, Parque Nacional de Itatiaia e APA's adjacentes. Fragmentos menores, porém não desprezíveis, são encontrados na Serra dos Órgãos e Serra da Tiririca. Aproximadamente 50% destas áreas estão em unidades de conservação federal, estaduais ou em Reserva Particular de Patrimônio Nacional, as demais áreas são propriedades particulares, passíveis de desmatamento (TANIZAKI, 2000).

3.2. ESTOQUE DE CARBONO NAS FLORESTAS

O carbono é um elemento presente em todas as formas de vida. Pesquisadores podem

entender os ecossistemas e seus benefícios por meio de estimativas do estoque de carbono associadas à medidas de produtividade, cadeias alimentares e ciclos de nutrientes. A segunda razão que faz do carbono alvo de interesse é porque este elemento, na forma de CO_2 , é contribuidor da forçante radiativa que gera o efeito estufa como resultado da atividade humana, de tal forma que a contínua e crescente liberação de CO_2 pode conduzir ao aumento da temperatura da Terra, desestabilização do clima e elevação do nível do mar (LOHMANN, 1999).

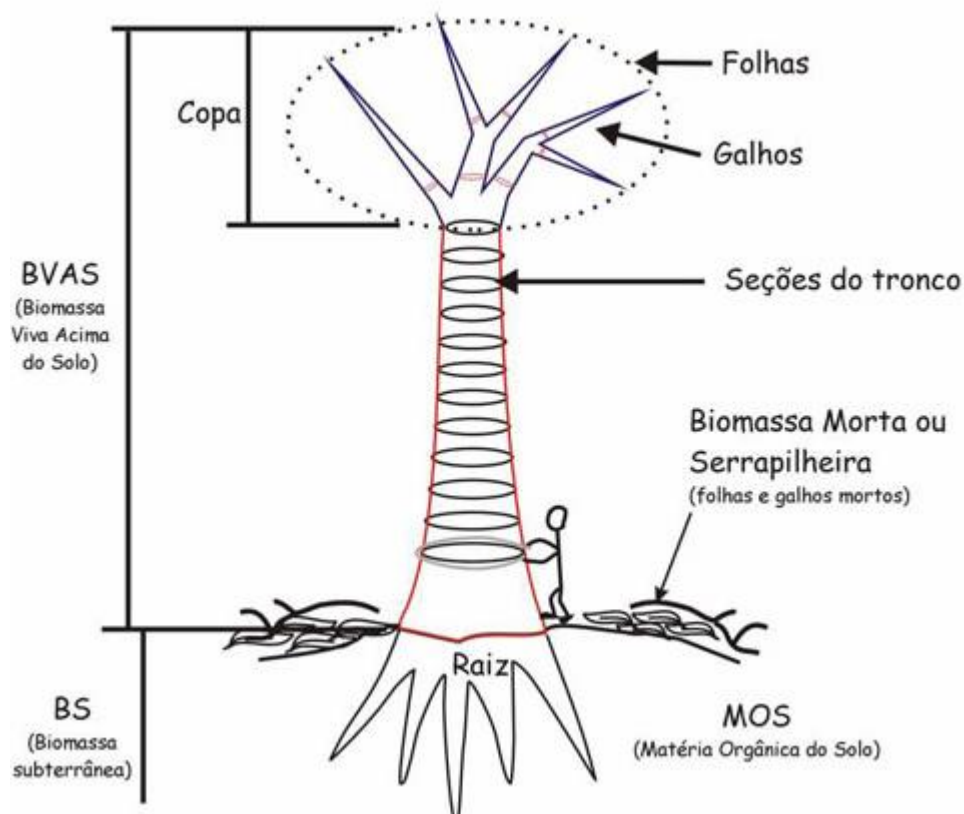


Figura 3.2 - Compartimentos que estocam carbono na biomassa de uma floresta (Fonte: TANIZAKI in: Fundação SOS Mata Atlântica)

Em suas muitas formas, o ciclo do carbono dá-se entre a atmosfera, os oceanos e a terra. Particularmente e de maneira simplificada, as plantas absorvem o carbono da atmosfera e o transformam em biomassa por meio da fotossíntese. Uma parte importante do ciclo do carbono acontece nas florestas, estas trocam grande quantidade de CO_2 e outros gases com a atmosfera e estocam carbono nas árvores e no solo, fenômeno denominado sequestro de carbono. Ou seja, a Biomassa Total das florestas (*BT*), resultante da incorporação de carbono e outros elementos, encontra-se armazenada em diferentes compartimentos (Figura 3.2) e seu valor é estimado através do somatório de cada um deles: Biomassa Viva Acima do Solo (*BVAS*), que abrange desde a base do tronco até a copa; Biomassa Subterrânea (*BS*), que

compreende as raízes vivas; Biomassa Morta (*BM*), que compreende as folhas, raízes, galhos e outras partes mortas do vegetal que caem no solo e ainda não foram decompostas; e a Matéria Orgânica do Solo (*MOS*), que compreende as partes já decompostas, formada a partir de folhas, ramos, galhos, raízes e até árvores inteiras que ao se decomporem fornecem energia para a fauna e flora e liberam nutrientes para o solo. De tal forma que, $BT=BVAS+BS+BM+MOS$ (Figura 3.2). Nas florestas tropicais, a maior parte dessa biomassa total se encontra nas árvores, principalmente na *BVAS*, sob forma de madeira fresca, que representa cerca de 70% a 80% da biomassa da árvore (ARAÚJO et al., 1999; BROWN et al., 1995).

Embora possa haver variações para mais ou para menos, a porcentagem de carbono armazenado na *BT* é de aproximadamente 50% (FEARNSIDE, 1997).

3.3. ESTIMATIVAS DA *BVAS* EM FLORESTAS

Métodos para quantificar a biomassa das florestas têm sido desenvolvidos há décadas (DAWKINS, 1961; BROWN et al., 1989; CHAVE et al., 2005). A principal dificuldade reside na grande diversidade de ambientes florestais, tornando praticamente impossível o desenvolvimento de um único modelo matemático para estimativa de biomassa que incorpore toda a variabilidade estrutural das florestas. Embora a *BVAS* possa ser quantificada pelo método destrutivo, onde os indivíduos arbóreos são derrubados e os diferentes compartimentos (tronco, galhos e folhas) pesados, tal estratégia é inviável quando o propósito do trabalho é justamente contribuir para manter a floresta em pé.

Como alternativa ao método destrutivo, modelos matemáticos, conhecidos como equações alométricas, são construídos. Num primeiro momento, uma parcela de indivíduos arbóreos é derrubada e a *BVAS* mensurada (pesando-se o tronco, galhos e folhas), assim como medidas do Diâmetro na Altura do Peito (*DAP*), Altura (*H*) e Densidade da madeira (*D*). As equações são elaboradas através de regressões, usando as relações entre a massa (geralmente em peso seco) das árvores como variável dependente, e seus dados dimensionais (*DAP*, *H*, *D*) como variáveis independentes. Esse método pode ser classificado como semi-destrutivo, já que utiliza-se do método destrutivo para estabelecer as equações alométricas (BROWN et al., 1989).

Uma vez estabelecidas estas equações, o inventário de biomassa se torna rápido e não destrutivo, pois a partir das medidas de *DAP*, *H* e *D* pode-se estimar mais rapidamente a

BVAS florestal, agora sem a necessidade de amostragem destrutiva. As relações estabelecidas entre a quantidade de *BVAS* das árvores, determinada pelo método destrutivo e as suas dimensões podem, através da análise dimensional, gerar modelos aplicáveis às comunidades do mesmo tipo e que se desenvolvam em condições ambientais similares. No entanto, a aplicação de equações requer cautela na interpretação dos resultados, uma vez que a escolha de determinada equação pode levar a estimativas discrepantes para um mesmo local (CLARK; CLARK, 2000). Diversos tipos de modelos de regressão e diferentes combinações de variáveis dimensionais têm sido usados (BROWN et al., 1989; TANIZAKI, 2000; CHAVE et al., 2005; BURGER, 2005).

Uma equação alométrica simples (eq. 3.1) pode ser ajustada para uma região específica a partir da regressão linear entre a Área Basal [$AB = (DAP)^2/4$] multiplicado por H e a *BVAS* dividida por Db (BROWN et al., 1995), de tal forma que:

$$BVAS = Db * FFA * AB * H \quad \text{eq. 3.1}$$

$$BVAS / Db = FFA * AB * H \quad \text{eq. 3.2}$$

$$FFA = (BVAS / Db) / (AB * H) \quad \text{eq. 3.3}$$

onde o *FFA*, denominado **Fator de Forma Arbóreo** (adimensional), representa a inclinação da reta passando pela origem dos eixos. Na prática o *FFA* é um fator de conversão do volume cilíndrico ($AB * H$) para o volume real da árvore ($BVAS/D$). As unidades de medidas são dadas em: D em g/cm^3 ou t/m^3 , DAP em cm , H em m e a *BVAS* em unidades de massa (peso seco, quilograma ou tonelada). A vantagem do método deve-se à estimativa de apenas um único parâmetro, no caso, *FFA*. Para que a equação alométrica 3.1 possa ser estabelecida para uma determinada região, primeiramente é necessário calcular o *FFA*, ou seja, uma parcela de indivíduos arbóreos representativos da estrutura florestal local deve ser mensurada (*BVAS*, *DAP*, *Db* e H), seja pelo método destrutivo ou por meio da escalada de árvores. Essa última opção será abordada no presente trabalho como uma alternativa mais viável e com mínimo impacto.

3.4. DENSIDADE DA MADEIRA

Interpretar informação de densidade para o propósito de estimativa de biomassa não é uma tarefa fácil devido a vários fatores. A variabilidade existe entre localizações geográficas,

entre espécies, entre indivíduos arbóreos da mesma espécie (diferença de idades e condições edáficas) e mesmo dentro das dimensões vertical e radial de uma mesma árvore, com diferenças de densidade de até 20% na direção radial (FEARNSIDE, 1997; CHAVE et al., 2006).

Apontada como uma variável crucial na conversão de dado de volume em biomassa (FEARNSIDE, 1997; CHAVE et al., 2006), a densidade também é tida como um forte indicador do estágio de sucessão nas florestas tropicais, com as espécies pioneiras apresentando menores densidades do que as espécies presentes na floresta madura (FEARNSIDE, 1997). As espécies de crescimento rápido tendem a ser melhores colonialistas e dominam os estágios iniciais da sucessão ecológica, enquanto as espécies de crescimento mais lento dominam o estágio posterior. Maior resistência à praga e adaptabilidade a condições ambientais adversas, tais como ventos e seca, também estão associados a madeiras com densidades superiores. Portanto, conhecer a evolução e os padrões espaciais atuais de densidade da madeira permite que os processos ecológicos e fisiológicos das árvores tropicais possam ser melhor compreendidos (LUGO; SCATENA, 1996).

A medida mais apropriada de densidade para estimativa de biomassa é a densidade básica (D_b), definida como o peso seco da madeira dividido pelo seu volume fresco (FEARNSIDE, 1997). O peso seco é obtido colocando-se as amostras na estufa (100°C) até alcançarem peso constante. A condição de umidade (volume fresco) usualmente se refere à amostra de madeira imersa na água em laboratório até saturação. Esta condição é uma aproximação das condições que a madeira apresenta quando se encontra no seu estado natural em uma floresta. No geral o teor de umidade da madeira fresca é próximo de 50%, podendo ocorrer flutuações para mais ou para menos dependendo da estação do ano: período chuvoso ou seco (TANIZAKI, 2000; BURGER, 2005).

O volume fresco pode ser obtido a partir das dimensões geométricas da amostra de madeira ou por meio do método de deslocamento de água. No primeiro caso, geralmente, mede-se o comprimento (L) e o diâmetro (d) de uma amostra de trado extraída do tronco de uma árvore, de tal forma que: $\text{volume} = d^2L/4$. Basicamente, o trado utilizado para tal amostragem é conhecido como “Sonda Pressler” e é composto de três partes: cabo, broca e extrator (Figura 3.3); após perfurar a árvore até o seu centro ou até o limite da broca, o extrator é inserido no interior da broca para que uma parcela cilíndrica do tronco possa ser retirada. Com isso, é possível coletar uma pequena amostra do tronco, na direção radial, sem comprometer a árvore. Para que a árvore não fique vulnerável à predação, uma massa de calafetar, à base de borracha sintética, é inserida no orifício deixado pela broca.

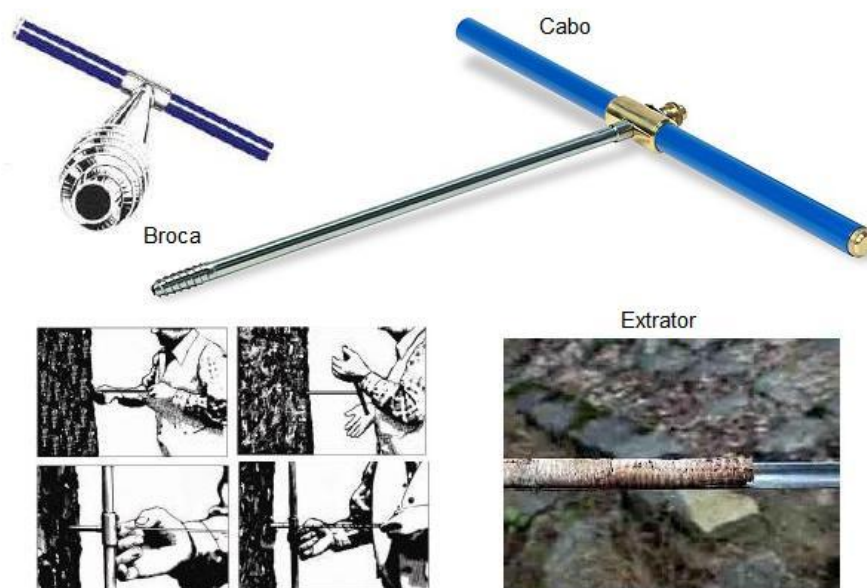


Figura 3.3 - Trado, equipamento utilizado para retirada de amostras do tronco sem comprometer a árvore (Fonte: CHAVE, 2005 in: Jérôme Chave) .

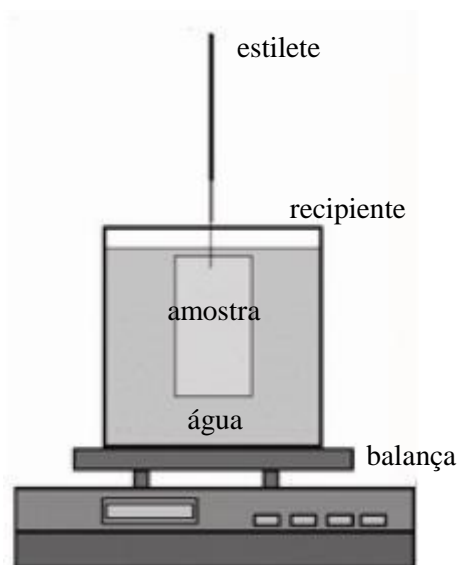


Figura 3.4 - Método do deslocamento de água para medidas do volume fresco (Fonte: CHAVE, 2005 in: Jérôme Chave) .

O método de deslocamento de água permite a medida do volume fresco de amostras irregulares. Um recipiente de tamanho adequado é preenchido com água e colocado sobre uma balança digital (Figura 3.4). A amostra é então submergida cuidadosamente com auxílio de um estilete fino para que não toque as bordas nem o fundo do recipiente. A medida da massa de água deslocada é igual ao volume fresco da amostra, pois a água possui uma densidade igual a 1 g/cm^3 .

Chave et al. (2006) compilaram 5406 valores de densidade da madeira extraídas de 2456 espécies de árvores presentes nas florestas tropicais. A densidade básica média foi de $0,64 \text{ g/cm}^3$, com máximo e mínimo de $1,39 \text{ g/cm}^3$ e $0,11 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Para a Mata Atlântica a densidade básica média encontrada foi de $0,70 \text{ g/cm}^3$ (CHAVE et al., 2006). A seguir, exemplos de densidade básica de algumas espécies importantes como a Imbaúba (*Cecropia pachystachya*): $0,43 \text{ g/cm}^3$; leguminosas como Jacaré (*Piptadenia communis* Benth.): $0,68 \text{ g/cm}^3$; e outras como a Sapucaia (*Lecythis pisonis*): $0,88 \text{ g/cm}^3$; além de algumas de madeiras de lei como o Jequitibá (*Cariniana estrellensis*): $0,78 \text{ g/cm}^3$; o Cedro (*Cedrela odorata*): $0,66 \text{ g/cm}^3$; o Jacarandá (*Dalbergia nigra*): $0,87 \text{ g/cm}^3$ e até o Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*): $1,20 \text{ g/cm}^3$ (FEARNNSIDE, 1997).

4. ÁREA DE ESTUDO

A área estudada ($22^{\circ} 56' 06''\text{S}$ e $42^{\circ} 57' 49''\text{W}$) situa-se no município de Maricá/RJ (Figura 3.1b), região conhecida como Pedra da Itaocaia (Figura 4.1). É uma mata de baixada de formação secundária pertencente ao complexo de fragmentos florestais do entorno do Parque Estadual da Serra da Tiririca. A região encontra-se ao nível do mar, apresentando relevo de trechos acidentados com afloramentos rochosos, como a Pedra de Itaocaia. A temperatura média anual está em torno de 23°C e a pluviosidade média entre 1.000 e 1.500 mm/ano (BARBIERE; COE-NETO, 1999). O clima, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Aw, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (maio e junho). Esta área possui uma cobertura vegetal de espécies da Mata Atlântica já muito alterada por desmatamentos sucessivos e ocupações devido ao antigo uso do solo, entretanto a diminuição do uso agrícola favoreceu a regeneração natural da cobertura vegetal que, hoje, denota diferentes estágios de sucessão (CARVALHO, 2007).



Figura 4.1 - Pedra de Itaocaia (Fonte: Google Earth).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para elaboração da equação alométrica busca, num primeiro momento, quantificar o volume da *BVAS* através de medidas das dimensões dos espécimes estudados por meio de técnicas de escalada e, assim, estimar o *FFA*. Com isso, a equação 3.1 estará apta para estimar a *BVAS* através de inventários florestais que contemplem as variáveis dimensionais (*DAP* e *H*) e *Db* na região de estudo. Tanikaki (2000) aplicou, de maneira inédita no Brasil, a ascensão em árvores através de técnicas de escalada para calcular o *FFA* e estimar a *BVAS* em uma floresta secundária do Rio de Janeiro. A metodologia empregada é similar à desenvolvida no presente trabalho, com a ressalva de que aqui buscamos incorporar ao volume da biomassa viva acima do solo as partes correspondentes aos galhos e folhas das árvores estudadas.

5.1. ATIVIDADE DE CAMPO

No total foram escaladas 7 árvores na área de estudo (Figura 5.1). Medidas de *DAP* e *H* (altura total=tronco+copa, medido na escalada) foram obtidas, assim como coleta de material florístico para identificação das espécies arbóreas. As escaladas das árvores foram realizadas pelo professor Kenny Tanizaki com auxílio de equipamentos apropriados e certificados pelos órgãos competentes. Basicamente utilizou-se o mesmo material e a mesma técnica necessária ao alpinismo (cordas, mosquetões, *grigri*, fitas, molinetes, capacetes etc). Buscou-se uma amostragem representativa da variabilidade estrutural observada na região, considerando a variabilidade do *DAP* e a composição arbustiva. De maneira geral, as informações coletadas e derivadas desse estudo contribuem para expandir o conhecimento dos processos que ocorrem nas diferentes composições florísticas e dos diferentes estágios de regeneração dos fragmentos florestais da Mata Atlântica.

Começando pela base, o diâmetro do tronco foi medido de metro em metro até a base da copa, incluindo o tradicional *DAP*, medido à cerca de 1,3 m do solo (Figura 5.2). Nesse momento, conforme a formação estrutural da árvore, as ramificações foram registradas e o diâmetro da base de cada galho (Diâmetro da Base do Galho - *DBG*) foi medido, assim como o comprimento de cada galho (Comprimento do Galho - C_g) estimado visualmente. Dentro do possível, os galhos mais representativos foram medidos de metro em metro a partir de suas respectivas bases e suas ramificações (ramificações secundários) também registradas. A escalada prossegue até a viabilidade de acesso em direção ao topo da copa. Quando alcançado o limite máximo possível, a altura total da árvore é registrada acrescida do comprimento restante em direção ao topo: estimado visualmente e geralmente a poucos metros.

Numa segunda etapa do processo de escalada, um galho mediano é selecionado e cortado da árvore. Uma vez no chão, o galho é particionado em galhos grossos (diâmetro superior a 2cm) e galhos finos e as folhas destacadas dos ramos. Os três compartimentos (galho grosso, galho fino e folhas) são pesados e amostras de cada compartimento são armazenadas para posterior análise laboratorial (cálculo da densidade básica e densidade fresca). No caso dos galhos, amostras cilíndricas de aproximadamente 5 cm de comprimento foram separadas, no caso das folhas, amostras de aproximadamente 100 gramas de folhas.

Finalmente, com auxílio de um trado, amostras foram retiradas do tronco na altura do *DAP* (1,3 m) para posterior estimativa da densidade básica do tronco em laboratório. As amostras de trado foram acondicionadas em filmes plásticos dentro de tubos PVC e as de galhos grossos, finos e folhas em sacos plásticos. Todas as amostras foram conservadas sob refrigeração.



Figura 5.1 – Fotografias da Pedra de Itaocaia e estrutura florestal circundante.

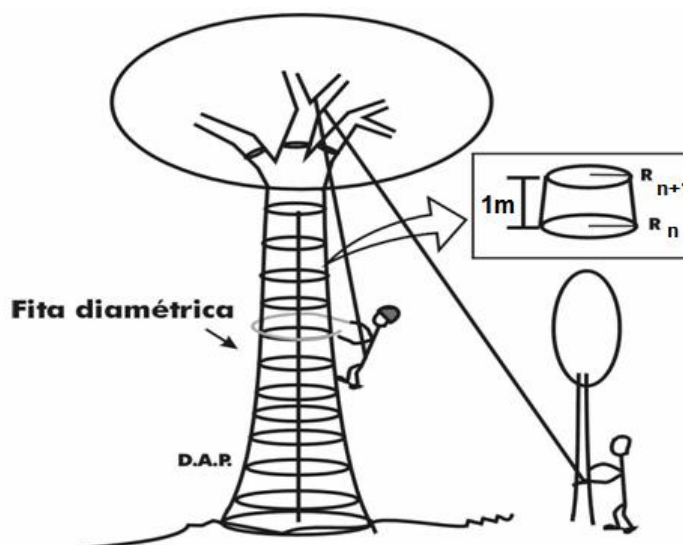


Figura 5.2 – Técnica de escalada apresentando em detalhe a divisão do tronco em seções de 1m (Fonte: TANIZAKI, 2000).

5.2. CÁLCULO DA DENSIDADE E DO VOLUME FRESCO

Após coleta das amostras de tronco (amostras de trado), galhos grosso, galho fino e folhas das árvores escaladas, o material foi destinado ao laboratório para análises da densidade fresca e da densidade básica, lembrando que as amostras de galhos grossos, galhos finos e folhas são uma pequena parte representativa do volume total dos galhos cortados na escalada. Inicialmente as amostras foram pesadas (peso fresco) e os volumes frescos medidos de diferentes formas. Os volumes frescos das amostras de trado foram calculados pelo método das dimensões geométricas. Os volumes frescos das amostras de galho grosso e galho fino foram calculados pelo método do deslocamento de água (ver item 3.4).

A metodologia empregada para o cálculo dos volumes frescos das amostras de folhas é similar ao método do deslocamento de água, porém, com algumas adaptações para permitir quantificar o volume de um número limitado de folhas. Uma de cada vez, as amostras de folhas foram inseridas dentro de um recipiente graduado em unidades volumétricas, um volume conhecido de água adicionado, quando a água cobria totalmente as folhas, lia-se o volume no recipiente. A diferença entre o volume registrado no recipiente e o volume adicionado de água corresponde ao volume fresco da amostra de folhas.

A densidade fresca das amostras foi calculada a partir do peso fresco dividido pelo volume fresco. Posteriormente, as amostras de trado, galhos grosso, galho fino e folhas foram

colocadas na estufa (100°C) até atingirem peso constante, definido como peso seco. A partir do peso seco e do volume fresco das amostras, calculou-se a densidade básica das amostras.

O volume fresco do galho cortado (V_g) corresponde à soma dos volumes frescos dos três compartimentos considerados (galhos grossos, galhos finos e folhas). O volume fresco de cada compartimento é obtido pela razão entre o peso fresco de cada compartimento (medido em campo antes da retirada das amostras) e a densidade fresca da respectiva amostra.

5.3. CÁLCULO DO *FFG* E DO *FFA*

Difícilmente a configuração geométrica das árvores e galhos possuem formato regular de maneira que possam ser totalmente representadas por modelos geométricos do tipo cilíndrico ou cônico, geralmente a estrutura florestal das florestas tropicais é irregular e possui alta variabilidade. Entretanto, a elaboração de um Fator de Forma do Galho (*FFG*) e *FFA* é uma maneira de adequar modelos geométricos preditores de biomassa assumindo que a estrutura arbórea possui formas similares, independente do tamanho.

5.3.1. Cálculo do *FFG*

Para estimar o volume fresco dos galhos medidos no processo de escalada (aqueles que não foram cortados), calculou-se um *FFG* para cada árvore escalada a partir dos respectivos galhos cortados. Basicamente, o *FFG* é a razão entre o volume fresco do galho cortado (V_g , soma dos três compartimentos: galho grosso, galho fino, folhas) pelo seu volume cônico (V_{con}) Ou seja:

$$FFG = V_g / V_{con} \quad \text{eq. 5.1}$$

$$V_{con} = \{(DBG/2)^2 * C_g\} / 3 \quad \text{eq. 5.2}$$

$$V_g = (P_{fn}/D_{fn}), \text{ com } 1 \leq n \leq 3 \quad \text{eq. 5.3}$$

Onde DBG , C_g , P_f , D_f e n são o diâmetro na base do galho, o comprimento do galho, o peso fresco do compartimento, a densidade fresca do compartimento e n é o número de compartimentos considerados, no caso, três (galhos grossos, finos e folhas). Finalmente, o volume fresco total dos galhos medidos no processo de escalada (V_{gal}), todos os galhos

medidos de uma determinada árvore escalada, é dado pelo somatório do volume cônico de cada galho multiplicado pelo *FFG*:

$$V_{gal} = (V_{con} * FFG) \quad \text{eq. 5.4}$$

5.3.2. Cálculo do *FFA* e estabelecimento da equação alométrica

Como citado anteriormente, na prática, o *FFA* é um fator de conversão do volume cilíndrico ($V_c = AB * H$) para o volume “real” da árvore ($V_r = BVAS/D_b$), considerando apenas os compartimentos da biomassa aérea das árvores. Para cada árvore escalada, o V_r é composto pelo somatório do volume fresco do tronco (V_{tron}) e dos galhos (V_{gal}). Ou seja:

$$V_r = V_{tron} + V_{gal} \quad \text{eq. 5.5}$$

onde V_{gal} é o volume dos galhos medidos conforme eq. 5.4; e V_{tron} é o somatório dos volumes de cada seção do tronco (seções de cone) medido de metro em metro por meio da escalada, conforme Fig. 5.2 e eq. 5.6 (TANIZAKI, 2000):

$$V_{tron} = \{ [(R_n + R_{n+1})^2 - (R_n * R_{n+1})] * \pi / 3 \} \quad \text{eq. 5.6}$$

onde, R_n e R_{n+1} são os diâmetros inferior e superior de cada seção do tronco.

O *FFA* é o coeficiente angular da reta, passando pela origem, determinada pela curva de regressão entre as variáveis V_c ($V_c = AB * H$) e V_r , com os valores de V_c no eixo X e os valores de V_r no eixo Y do gráfico. Ou seja, a curva de regressão é uma reta do tipo:

$$V_r = FFA * V_c \quad \text{eq. 5.7}$$

Considerando a *BVAS*, em peso seco, e dividindo pela densidade básica, D_b , temos:

$$V_r = BVAS/D_b = FFA * V_c = FFA * AB * H \quad \text{eq. 5.8}$$

Resultando na equação alométrica definida pela eq. 5.9, conforme relação estabelecida pela eq. 5.7.

$$BVAS = FFA * D_b * AB * H \quad \text{eq. 5.9}$$

5.4. AFERIÇÃO DA EQUAÇÃO ALOMÉTRICA E ESTIMATIVA DA *BVAS* E DO ESTOQUE DE CARBONO A PARTIR DE UM INVENTÁRIO FLORESTAL

A aferição da equação alométrica calibrada nesse trabalho dá-se em diferentes etapas. Inicialmente, a equação alométrica (eq. 5.9) é aplicada aos dados que originaram a própria equação, ou seja, aos valores de D_b , DAP e H das árvores escaladas. Posteriormente, a equação é aplicada a dados pretéritos coletados em florestas secundárias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, além dos valores de DAP , H e D_b , valores de $BVAS$ coletadas por meio da técnica de escalada em árvores estão incorporados às informações disponíveis. Finalmente, a partir de um inventário florestal coletado na área de estudo (CARVALHO, 2007), a $BVAS/ha$ é calculada e comparada com valores disponível em estudos similares. Derivado da $BVAS$, o estoque de carbono pode também ser avaliado admitindo-se um teor de carbono de 50% (FEARNSIDE, 1997).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estimar a *BVAS* em uma localidade da Mata Atlântica conhecida como Pedra de Itaocaia, uma equação alométrica foi elaborada a partir de medidas de *DBG*, *DAP*, *H*, *D_b* e *BVAS* realizadas por meio da técnica da escalada em árvores e análises laboratoriais. Os coeficientes de regressão *FFG* e *FFA* calculados ajustam a equação de acordo com a variabilidade encontrada nas diferentes estruturas arbóreas dos diferentes indivíduos. A aferição da equação é realizada com dados coletados no presente trabalho e dados pretéritos obtidos na mesma área de estudo ou regiões similares. O cálculo da *BVAS* por unidade de área faz uso da equação alométrica, de um inventário florestal coletado na área de estudo (*DAP*, *H*, *D_b*) e da dimensão da área amostrada pelo inventário (CARVALHO, 2007). Finalmente o estoque de carbono é calculado a partir das estimativas de *BVAS*.

6.1. CONTRIBUIÇÃO DOS GALHOS E FOLHAS PARA O VOLUME TOTAL DA ÁRVORE

A Tabela 6.1 mostra as medidas e características dos diferentes compartimentos (galho grosso, galho fino e folhas) dos galhos, recordando que foi cortado um galho de cada árvore, os demais galhos apenas medidos (*DBG* e *C_g*). O *DBG* e o *C_g* médios de todos os galhos cortados foram de 8 cm (Coeficiente de Variação: CV = 62%) e 4,98 m (CV = 44%), respectivamente. O *DBG* e o *C_g* médios de todos os galhos medidos foram de 9 cm (CV = 55%) e 4,1 m (CV = 31%). Observa-se uma certa similaridade entre os valores médios dos galhos cortados e os valores médios dos galhos medidos. Os CV's do *DBG* são geralmente superiores aos CV's do *C_g*, indicando maior variabilidade dos diâmetros das bases dos galhos do que dos comprimentos dos mesmos.

Considerando somente os volumes dos galhos cortados de cada árvore, as porcentagens de cada compartimento (volume de Galho Grosso, Galho Fino e Folhas) apresentou valores máximos de 79%; 55%; 45% e valores mínimos de 10%; 7,1%; 8,0%, respectivamente. Nota-se que a contribuição de cada compartimento é bastante variável conforme o *DBG* do galho cortado e a espécie arbórea. Levando em conta o somatório do volume de todos os galhos cortados, as porcentagens de Galho Grosso, Galho Fino e Folhas são 59%; 22%; 19%, respectivamente. As médias da densidade fresca e básica dos galhos cortados foram de 0,99 (CV = 9%) e 0,45 (CV = 24%) respectivamente.

Tabela 6.1 – Características dos diferentes compartimentos (galho grosso, galho fino e folhas) dos galhos cortados e dos galhos medidos

Árvore	Galho Cortado						Média Galhos Medidos	
	DBG (cm)	C _g (m)	Volume % G.Grosso % G.Fino % Folhas	Densidade (g/cm ³)*		FFG	DBG (cm) CV**	C _g (m) CV**
				Fresca	Básica			
A1	13,30	6,40	79 7,1 14	1,06	0,55	2,17	19,00 43%	6,47 35%
A2	11,20	5,70	54 12 33	0,91	0,48	3,42	9,00 71%	5,54 18%
A3	4,30	2,50	27 28 45	0,88	0,27	2,95	4,00 8%	2,25 15%
A4	4,70	3,35	51 31 19	0,92	0,39	2,49	7,00 53%	4,18 27%
A5	8,30	5,25	62 22 17	1,12	0,48	2,82	8,00 32%	4,80 29%
A6	2,50	2,00	10 55 35	1,03	0,41	3,56	4,00 52%	3,25 38%
A7	16,00	8,50	81 11 8,0	1,05	0,58	1,76	12,00 30%	5,11 42%
Média CV**	8,00 62%	4,98 44%	59 22 19	0,99 9%	0,45 24%		9,00 55%	4,51 31%

* média de densidade dos Galhos Grossos, Galhos Finos e Folhas; ** Coeficiente de Variação (DesvPadrão/Média); A1-Jequitibá, A2-Angico, A3-Indeterminada (spp1), A4-Indeterminada (spp2), A5-Pau D'alho, A6-Pau D'alho e A7-Indeterminada (spp3); *DBG* = diâmetro da base do galho, *C_g* = comprimento do galho, *FFG* = fator de forma do galho.

De maneira geral, as contribuições dos Galhos Finos e Folhas decrescem com o aumento do *DBG*; por outro lado, a porcentagem de Galhos Grossos cresce com o aumento do *DBG*, conforme Figura 6.1. Comportamento semelhante é observado quando substitui-se o *DBG* pelo C_g na Figura 6.1. O gráfico da Figura 6.1 aponta uma estabilização da curva com o aumento do diâmetro, onde os galhos grossos tendem a representar mais de 70% do volume total dos galhos. Poderíamos fazer uma analogia com os diferentes estágios de desenvolvimento florestal, nos estágios iniciais as folhas e galhos finos contribuem com uma parte significativa da biomassa viva acima do solo, já em uma floresta madura a contribuição dos troncos passa a ser predominante, 75% ou mais no caso da floresta amazônica (BROWN et al., 1995).

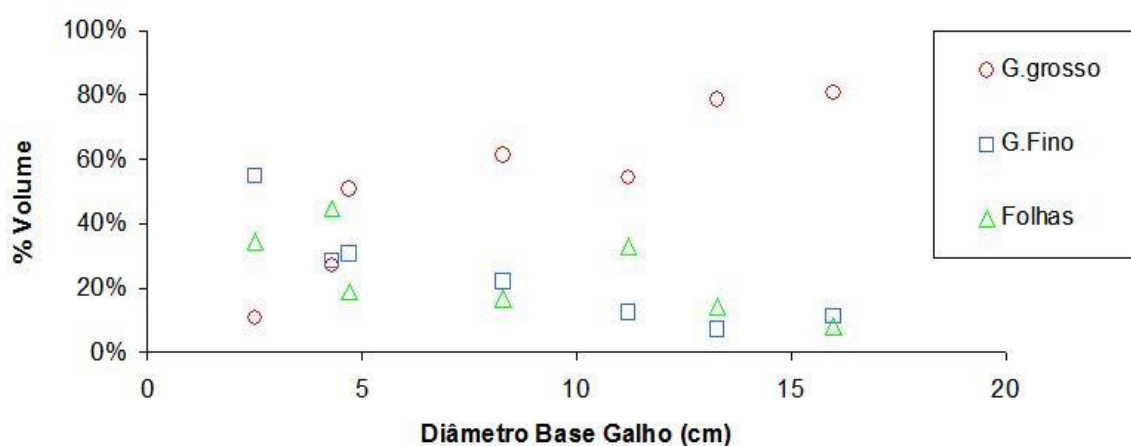


Figura 6.1 – Porcentagem de cada compartimento (Galho Grosso, Galho Fino e Folhas) dos galhos derrubados em função do diâmetro da base do galho (*DBG*).

Portanto, calcular o volume dos galhos requer cuidado já que os diferentes compartimentos tem contribuições diferenciadas conforme o *DBG*. A alternativa escolhida no presente trabalho opta pelo volume cônico corrigido pelo fator de forma do galho, *FFG*. A Tabela 6.1 mostra os valores do *FFG* calculado para cada galho derrubado, com mínimo e máximo de 1,76 e 3,56 respectivamente.

A Figura 6.2 mostra as variações do *FFG* em função do *DBG*. Nota-se uma leve tendência decrescente do *FFG* conforme o aumento do *DBG*. Como o *FFG* é um fator calculado a partir da razão do volume “real” (V_g , volume fresco do galho derrubado no processo de escalada da árvore) e o volume cônico desse galho (V_{con}), quanto mais próximo do volume de um cone mais o *FFG* aproxima-se do valor 1. Por outro lado, quanto menor o *DBG* maior a porcentagem de galhos finos e folhas no volume do galho, e, conseqüentemente,

maior o *FFG*, pois as ramificações dos galhos menores e o formato das folhas divergem significativamente da geometria de um cone.

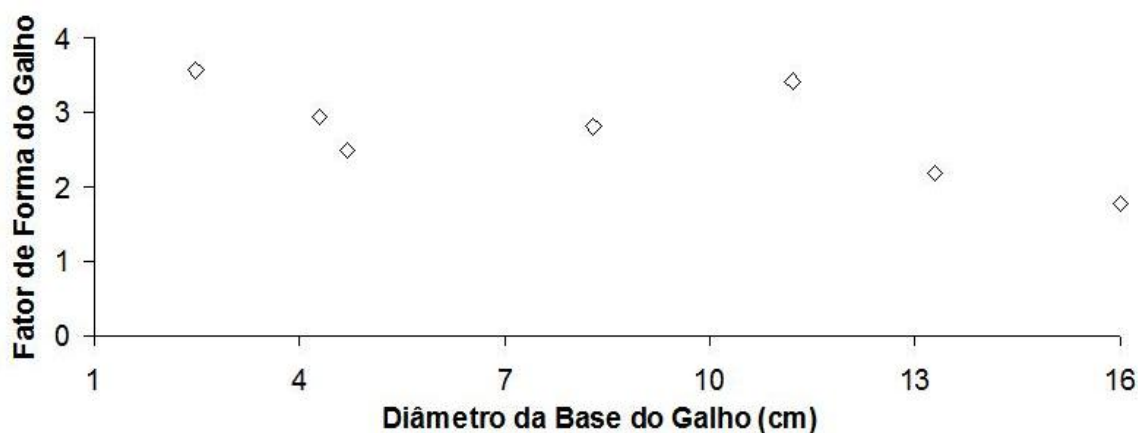


Figura 6.2 – Variações do Fator de Forma do Galho (*FFG*) em função do Diâmetro da Base do Galho (*DBG*).

Particularmente o galho cortado da árvore A2-Angico ($DBG = 11,2$ cm) apresentou um *FFG* de 3,42, valor acima do esperado para galhos com *DBG* superior a 10 cm (Figura 6.2). As contribuições dos compartimentos galhos finos e folhas somam mais de 45% do volume deste galho (Tabela 6.1), valor significativamente superior ao apresentado pelos respectivos compartimentos dos galhos cortados das árvores A1-Jequitibá e A7, que também apresentam *DBG* superior a 10 cm. Possivelmente o volume do galho cortado da árvore A2-Angico pode estar associado a uma estrutura arbórea menos regular e mais ramificada.

De um ponto de vista estrutural, para uma mesma árvore, poderia-se dizer que um pequeno ramo da árvore representa a própria árvore, porém, como exposto acima e observado na Figuras 6.1, os compartimentos tem contribuições diferenciadas conforme a dimensão da estrutura escolhida. Ou seja, o *FFG* gerado a partir de um galho fino provavelmente superestimar o volume se aplicado para a correção do volume de um galho grosso, e vice-versa.

Se apenas um galho for cortado de cada árvore, opção adotada no presente trabalho, o ideal é que esse galho represente os demais, de tal forma que esse galho escolhido tenha um *DBG* médio em relação aos galhos medidos. Considerando os valores médios do diâmetro da base do galho e do comprimento do galho de todos os galhos cortados ($DBG = 8,00$ cm, $CV = 62\%$; $C_g = 4,98$ m, $CV = 44\%$) e os valores médios do diâmetro da base do galho e do comprimento do galho de todos os galhos medidos ($DBG = 9,00$ cm, $CV = 55\%$; $C_g = 4,51$ m, $CV = 31\%$), observa-se uma correspondência bastante próxima em termos de valores médios.

A Figura 6.3 mostra as porcentagens de galhos e folhas em relação ao volume total da respectiva árvore escalada (tronco+galhos+folhas) e em relação ao total de todas as árvores escaladas (troncos+galhos+folhas). Na média, a porcentagem de galhos (grossos e finos) e folhas nas árvores é de 38%, restando aos troncos a parcela de 62% do volume. As porcentagens de galhos e folhas das árvores A1-Jequitibá, A2-Angico e A7 tem maior representatividade em relação ao volume total de todas as árvores.

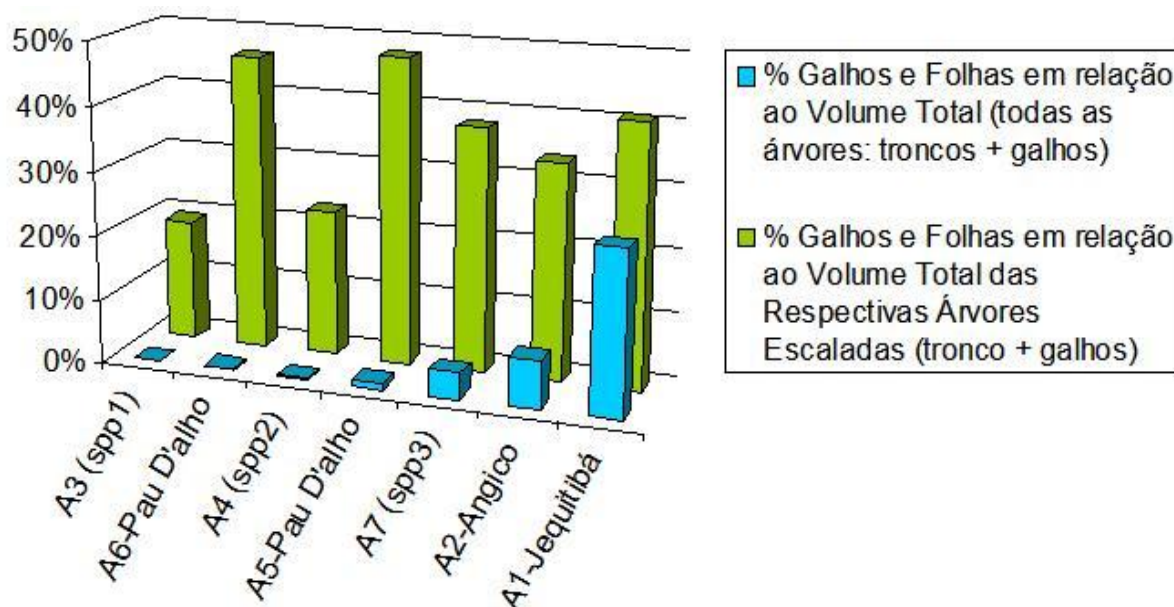


Figura 6.3 – Porcentagem dos compartimentos Galhos e Folhas em relação ao volume total de todas as árvores escaladas (tronco + galhos) e em relação ao volume das respectivas árvores escaladas (tronco + galhos). Em ordem crescente de *DAP* (diâmetro na altura do peito).

6.2. BVAS DAS ÁRVORES ESCALADAS E O CÁLCULO DO FFA

Como mostrado na Tabela 6.2, os valores médios do *DAP* e *H* das árvores escaladas são de 33,1cm (CV = 89%) e 15m (CV = 42%). Sem a inclusão da árvore A1-Jequitibá, os valores médios do *DAP* e *H* baixam para 23,2cm (CV = 62%) e 14,5m (CV = 44%). Os troncos das árvores somam mais de 65% da *BVAS*, e aproximadamente 85% da *BVAS* das árvores escaladas está distribuída nos compartimentos troncos e galhos grossos, 8% nos galhos finos e 7% nas folhas. Os compartimentos galhos grossos, galhos finos e folhas somam 33% da *BVAS*, valor superior aos 23% estimado por Brown et al. (1995) para uma floresta amazônica madura.

A proporção de folhas nas árvores escaladas indica que proporções similares são esperadas para a biomassa foliar total da região de estudo. Para a Mata Atlântica, Burger

(2005) atribui o valor de 7% da *BVAS* às folhas para uma região do estado de São Paulo. Pompéia (1997) atribui o valor de 4,7% e 8,9% da *BVAS* às folhas para duas diferentes localidades do município de Cubatão/SP. Saldarriaga et al. (1988) encontraram valores de 8 a 13% em florestas amazônicas com 30 anos de idade, 5% em florestas com 60 a 80 anos e 2,8 a 3,8% para florestas maduras. Os estudos citados indicam um decréscimo da biomassa foliar com o avanço da sucessão. A proporção de folhas encontrada nas árvores escaladas sugere que a área de estudo esteve sujeita a perturbações.

Tabela 6.2 – Resumo das principais características das árvores escaladas e as contribuições dos diferentes compartimentos para a *BVAS*

Árvore	DAP (cm)	H (m)	BVAS					Densidade (g/cm ³)*	
			Total (kg)	% Tronco	% G. Grosso	% G. Fino	% Folhas	Fresca	Básica
A3	9,0	8	10	85	5	5	6	0,86	0,35
A6	11,2	8	28	58	5	25	13	0,99	0,47
A4	16,0	15	100	84	9	5	3	0,95	0,61
A5	20,9	12	161	55	28	10	8	1,02	0,54
A7	39,0	21	917	62	30	5	4	1,00	0,58
A2	43,0	23	1696	69	18	4	9	0,86	0,55
A1	93,0	23	4843	59	32	3	6	0,90	0,53
Média	33,1	15	-	67	18	8	7	0,94	0,52
CV** (%)	89	42		18	66	100	44	7	17

* densidades dos troncos (amostra de trado); ** Coeficiente de Variação (DesvPadrão/Média); A1-Jequitibá, A2-Angico, A3-Indeterminado (spp1), A4-indeterminado (spp2), A5-Pau D’alho, A6-Pau D’alho, A7-indeterminado (spp3).

Os valores médios das densidades fresca e básica dos troncos são de 0,94 g/cm³ (CV = 7%) e 0,52 g/cm³ (CV = 17%), Tabela 6.2. Na média, a densidade fresca do tronco é 5% abaixo da densidade fresca dos galhos (0,99 g/cm³) e a densidade básica dos troncos é 13% acima da densidade básica dos galhos (0,45 g/cm³, Tabela 6.1). Versiani (2004), em estudos realizados em fragmentos florestais da Mata Atlântica localizados nos municípios de Magé e Friburgo, estado do Rio de Janeiro, encontrou uma densidade básica média do tronco de 0,55 g/cm³ (CV de 14%), valor próximo do obtido no presente trabalho, 0,52 g/cm³ (CV de 17%). Valores de densidade dessa magnitude podem ser consideradas madeiras leves e caracterizam florestas de formação secundária. A umidade média na biomassa das árvores escaladas foi de 50%, considerando apenas as folhas a umidade média ficou um pouco acima, próxima de 60%, valores condizentes com o encontrado por Burger (2005) e Tanizaki (2000).

O modelo linear considerando o volume cilíndrico e o volume “real” (V_r , equação 5.5, volume medido por meio da escalada: troncos, galhos e folhas) das árvores relacionadas na

Tabela 6.2, excluindo a árvore A1-Jequitibá, gerou um *FFA* de 0,65 ($R^2=0,99$), Figura 6.4. Incluindo a árvore A1-Jequitibá, resulta um *FFA* de 0,58 ($R^2=0,998$). Considerando o valor médio dos dois valores, o *FFA* muda para 0,62.

Somando as contribuições de todas as árvores, a *BVAS* total estimada por meio da escalada (tronco+galhos+folhas) foi de 7755 kg. Considerando os dados da Tabela 6.2, as *BVAS* total estimadas por meio da equação $BVAS = FFA * D * AB * H$ e dos *FFAs* de 0,58; 0,62 e 0,65 foram: 6942 kg, 7420 kg e 7779 kg, diferindo de -10,51%; -4,34% e 0,28%, respectivamente, da *BVAS* medida na escalada [% diferença = (*BVAS* estimada – *BVAS* medida) / *BVAS* medida].

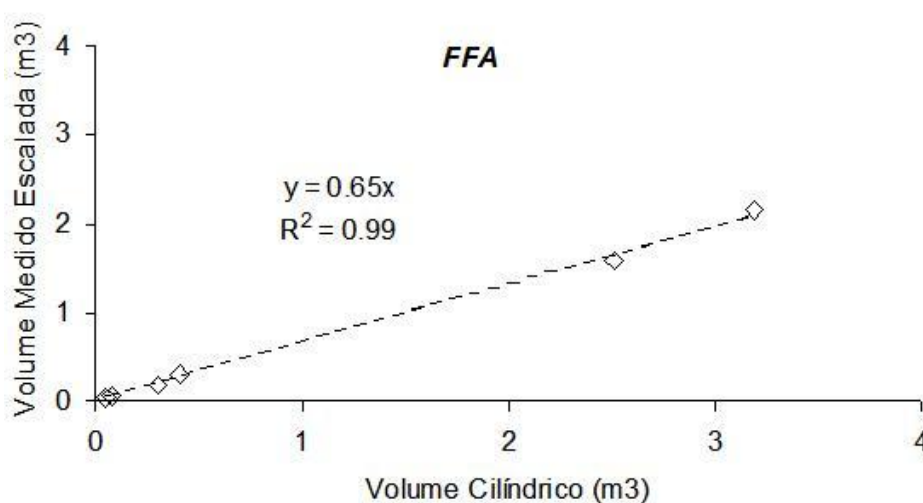


Figura 6.4 – Fator de Forma Arbóreo (*FFA*) das árvores relacionadas na Tabela 6.2, excluindo a árvore A1-Jequitibá.

Segundo Overman et al. (1994), árvores de grande porte (*DAP* superior a 70cm) podem ser excluídas do modelo de previsão de biomassa sem o comprometimento das estimativas. Assim sendo, as relações existentes entre as dimensões (*H*, *DAP*, volume, peso) das árvores de menor porte representariam adequadamente o que ocorre com toda a vegetação. É importante lembrar que as florestas tropicais, no geral, apresentam um grande número de indivíduos de pequeno porte (MANTOVANI, 1990, para a Mata Atlântica; CHAVE et al., 2001, para a Floresta Amazônica). Por outro lado, árvores de grande porte têm grande influência na biomassa total. Chave et al. (2001) verificaram que árvores com *DAP* superior a 30 cm contribuem com aproximadamente 80% da biomassa da floresta tropical úmida da Guiana Francesa. Clark e Clark (2000) verificaram que as árvores de grande porte contribuem com 14 a 30% da biomassa da floresta na Costa Rica. Chave et al. (2003) estimaram a contribuição das árvores de grande porte na floresta tropical do Panamá em aproximadamente 30% da biomassa total. No presente trabalho, a maior árvore, A1-Jequitibá

(Tabela 6.2), com *DAP* de 93 cm, possui mais de 60% do total da *BVAS* medida no processo de escalada.

Baseado nas ponderações acima e na menor diferença entre a *BVAS* medida no processo de escalada e a *BVAS* estimada por meio da equação alométrica ajusta pelo *FFA*, manteve-se o *FFA* de 0,65 como o fator que melhor adéqua as estimativas de *BVAS* na região de estudo do presente trabalho, resultando na equação alométrica 6.1.

$$BVAS = 0,65 * D * AB * H \quad \text{eq. 6.1}$$

6.3. AFERIÇÃO DA EQUAÇÃO ALOMÉTRICA

Como verificado acima, a escolha do *FFA* de 0,65 baseou-se na menor discrepância entre a *BVAS* medida pela escalada e a estimada pela equação alométrica 6.1. Para verificar o ajuste proporcionado pelo fator 0,65, medidas de *BVAS* coletadas em trabalhos pretéritos são confrontadas com estimativas resultantes da aplicação da equação 6.1 às medidas de *DAP*, *H* e *D* resultantes dessas coletas, coletas realizadas em fragmentos florestais da Mata Atlântica e caracterizados como florestas secundárias. Assim como o presente trabalho, as medidas pretéritas de *BVAS* foram realizadas por meio da técnica de escalada, com a ressalva de que as medidas dos galhos considerou apenas o volume cônico do mesmo, sem o fator de correção *FFG* estimado no presente trabalho.

Para efeitos comparativos, estimativas da *BVAS* utilizando o *FFA* = 0,58 (com a inclusão da árvore A1-Jequitibá) e o *FFA* = 0,62 (média dos *FFA*'s 0,65 e 0,58) também são mostradas, além dos valores da *BVAS* estimados por meio do *FFA*=0,74 derivado por Versiani (2004) em estudos de dois fragmentos florestais da Mata Atlântica localizados nos municípios de Magé e Friburgo, RJ.

A Tabela 6.3 mostra as medidas e estimativas de *BVAS* juntamente com as Fontes de onde os dados foram extraídos. A Fonte 1, discrimina os dados das árvores escaladas no presente trabalho. A Fonte 2 (TANIZAKI, comunicação pessoal) discrimina dados de 2 duas árvores medidas na área de estudo do presente trabalho (método destrutivo) e que não foram inclusas na curva de regressão que gerou o *FFA* da equação 6.1. A Fonte 3 (TANIZAKI, 2000) relaciona os dados de 4 árvores medidas pela técnica da escalada no estado do Rio de Janeiro. A Fonte 4 discrimina os dados das árvores escaladas no município de Friburgo/RJ (VERSIANI, 2004). A Fonte 5 discrimina os dados das árvores escaladas no município de

Magé/RJ (VERSIANI, 2004). Os dados das Fontes 4 e 5 geraram o $FFA = 0,74$ (VERSIANI, 2004).

Tabela 6.3 – Aferição das estimativas de *BVAS* utilizando diferentes *FFA*'s e diferentes áreas amostrais.

Origem	Número de Árvores	Média				BVAS Estimada(kg) = FFA*D*AB*H			
		DAP(cm) (g/cm ³)	H (m)	D	BVAS Medida (kg)	FFA=			
						0,58	0,62	0,65	0,74
Fonte 1	7	33,0	15,7	0,52	7758	6942	7421	7780	8977
CV		89%	42%	17%		*-10,5%	-4,34%	0,3%	15,7%
Fonte 2	2	29,3	16,0	0,41	957	808	863	905	1044
CV		52%	44%	26%		-15,7%	-9,84%	-5,48%	9,07%
Fonte 3	4	47,7	15,5	0,53	5570	4931	5271	5526	6376
CV		56%	24%	0%		-11,5%	-5,37%	-0,79%	14,5%
Fonte 4	7	25,3	16,1	0,57	2911	2089	2233	2341	2702
CV		29%	20%	15%		-27,9%	-23,3%	-19,2%	-7,20%
Fonte 5	5	18,8	11,4	0,53	809	759	811	850	981
CV		56%	38%	15%		-6,20%	0,27%	5,12%	21,3%
GERAL	25	30,1	15,0	0,53	18005	15529	16599	17403	20080
CV*		69%	33%	16%		-13,8%	-7,81%	-3,35%	11,5%

CV=coeficiente de Variação; * % desvio da *BVAS* medida=[(*BVAS* estimada – *BVAS* medida)/*BVAS* medida]; Fonte 1: Presente Trabalho(Maricá/RJ); Fonte 2: TANIZAKI comunicação pessoal (Maricá/RJ); Fonte 3: TANIZAKI, 2000(RJ); Fonte 4: VERSIANI, 2004 (Friburgo/RJ); Fonte 5: VERSIANI, 2004 (Magé/RJ).

No total foram avaliados a *BVAS* de 25 árvores escaladas, considerando todas as fontes em conjunto, os valores médios de *DAP*, *H* e *D* são 30,1 cm (CV 69%), 15,0 m (CV 33%) e 0,53 g/cm³ (CV 15,6%), Tabela 6.3. Dentre os coeficientes de variações, o CV do *DAP* é o que apresenta o maior valor. Duas árvores de grande porte estão presentes nas Fontes 1 e 3 (*DAP* superior a 75cm) e incorporam mais de 60% da *BVAS* total medida em cada localidade.

Os resultados apresentados na Tabela 6.3 mostram que o *FFA* de 0,65 estimado no presente trabalho e aceito como o mais adequado para estimativa da *BVAS* na região da Pedra de Itaocaia, consegue incorporar de maneira bastante significativa a variabilidade florística da vegetação secundária da Mata Atlântica das regiões acima mencionadas. De maneira geral, é possível observar, no caso dos *FFA*'s estimados no presente trabalho (*FFA*'s 0,58; 0,62 e 0,65), um decréscimo do desvio entre a *BVAS* medida e a *BVAS* estimada conforme o *FFA*'s vai de 0,58 para 0,65; e que para o *FFA*=0,65 o valor total da *BVAS* estimada (valor GERAL) apresenta o menor desvio (-3,35%) da biomassa medida, agora considerando todos os *FFA*'s relacionados na Tabela 6.3.

Excluindo os valores relacionados à Fonte 1 da Tabela 6.3 (a Fonte 1 representa 43% do valor GERAL da *BVAS* medida e foi utilizada para gerar o $FFA=0,65$), a *BVAS* estimada por meio do $FFA=0,65$ continua apresentado o menor desvio (-6.10%) em relação aos demais *FFA*'s (0,58; 0,62; **0,65**; 0,74; desvios de: -16,2%; -10,4%; **-6.1%**; 8.4%, respectivamente).

Duas árvores de grande porte (*DAP*'s de 93cm e 85cm) estão presentes nas Fontes 1 e 3, respectivamente e embora, a árvore A1-Jequitibá presente na Fonte 1 (Tabela 6.2) tenha sido excluída da curva de regressão que originou o $FFA = 0,65$, as estimativas de *BVAS* utilizando esse fator foram bastante semelhantes às *BVAS* medidas nas fontes 1 e 3, com desvio de 0,28% e -0,79%, respectivamente (Tabela 6.3). Resultado que reforça a afirmação de Overman et al. (1994) de que as árvores de grande porte (diâmetro superior a 70cm) podem ser excluídas do modelo de previsão de biomassa sem o comprometimento das estimativas. Também, deve ser considerado que a árvore A1, Jequitibá, é um indivíduo remanescente dos processos de desmatamento estabelecidos na região e não corresponde à idade de abandono do fragmento florestal ao qual pertence.

Considerando o $FFA = 0,65$, o maior desvio na estimativa de *BVAS* em relação à *BVAS* medida está relacionado à Fonte 4, 19,2%. Os dados da localidade Fonte 4 (Friburgo/RJ) apresentam *DAP*, *H* e *D* médios (25,3cm, 16,1m, 0,57g/cm³) superiores aos de Magé/RJ (18,8cm, 11,4m, 0,53g/cm³) e coeficientes de variação do *DAP* e *H* (CV 29,1% e 20,1%, respectivamente) inferiores às demais localidades (ou fontes) da Tabela 6.3, indicando baixa variabilidade estrutural dos indivíduos arbóreos ou tendências na amostragem, já que o número de árvores amostradas é relativamente grande, 7 árvores.

Versiani (2004) argumenta que a área amostral de Friburgo não sofre os efeitos de borda tanto quanto a área amostral de Magé. O autor salienta que a área amostral de Magé está inserida em um fragmento florestal estreito e comprido, conhecido como Campo dos Escoteiros, acarretando a ação constante do efeito de borda evitando que as árvores adquiram maior biomassa e altura, mesmo possuindo uma estágio de abandono mais avançado do que a região localizada em Friburgo/RJ. De qualquer forma, ambas as matas são classificadas pelo autor como florestas secundárias da Mata Atlântica em estágio intermediário de abandono: 40 anos em Friburgo de 40 a 60 anos em Magé.

Como o *FFA* é um fator de ajuste e busca incorporar a variabilidade da estrutura arbórea florestal é desejável que ele represente na média a *BVAS*. Ou seja, individualmente a *BVAS* de determinados indivíduos arbóreos será superestimada ou subestimada, dependendo das características da árvore (*DAP*, *H* e *D*) e do *FFA*. Se o *FFA* foi determinado a partir de uma amostragem onde só indivíduos arbóreos com as mesmas características estruturais

foram levados em consideração, então ele não representará na média a *BVAS* da localidade amostrada, a menos que essa localidade seja composta de indivíduos arbóreos com baixa variabilidade estrutural, situação pouco provável no caso da Mata Atlântica. Os dados da Tabela 6.4, extraídos aleatoriamente das fontes 1 a 5 (Tabela 6.3), exemplifica o raciocínio. Apesar dos desvios individuais da *BVAS* estimada em relação à *BVAS* medida variar de -9,97% a 16,4%, na média (ou seja, em relação ao Total Geral) o desvio é de 1,6%. Nota-se que nesse caso, os coeficientes de variação do *DAP* e de *H* (de 49,8% e 37,6% respectivamente) não são desprezíveis.

Tabela 6.4 – Exemplos de *BVAS* medida e estimadas para indivíduos arbóreos extraídos dos dados das Fontes 1 a 5

Árvore	DAP (cm)	H (m)	D (g/cm ³)	BVAS (kg, FFA=0,65)		Desvio (%)
				Medida	Estimada	
E1	9,00	8,00	0,35	10	12	13,5
E2	20,9	12,0	0,54	162	145	-10,0
E3	21,4	12,0	0,51	156	143	-8,28
E4	37,0	19,0	0,47	536	624	16,4
E5	40,0	21,0	0,49	873	841	-3,74
Total Geral	-	-	-	1737	1765	1,60
Média	25,7	14,4	0,47	-	-	-
CV (%)	49,8	38,0	15,8	-	-	-

CV=coeficiente de Variação; Desvio = $[(BVAS \text{ estimada} - BVAS \text{ medida})/BVAS \text{ medida}]$;

É importante ressaltar que a *BVAS* medida em Friburgo, 7 árvores escaladas (2911 kg), é aproximadamente três vezes superior a *BVAS* medida em Magé, 5 árvores escaladas (809 kg), e que o baixo coeficiente de variação das variáveis *DAP*, *H* e *D* obtidas na região de Friburgo (Fonte 4) parece ter sido preponderante na definição do *FFA* de 0,74, modificando o fator calculado.

Considerando as estimativas de *BVAS* utilizando o *FFA* de 0,74, e salientando que esse *FFA* foi calculado a partir das medidas de árvores realizadas nas regiões de Friburgo e Magé (Fonte 4 e Fonte 5 respectivamente, Tabela 6.3), nota-se que o CV da *BVAS* estimada relativo à Fonte 4 é de -7,20%, e o CV relativo à Fonte 5 é de 21,3%. Parece que a equação alométrica ajustada com o *FFA* de 0,74 não está representando bem a diversidade encontrada na localidade de Magé (Fonte 5), embora represente bem a diversidade da localidade de Friburgo (Fonte 4) onde a variabilidade estrutural das 7 árvores escaladas é menor.

Ou seja, na média, essa relativa baixa variabilidade estrutural encontrada nas árvores da Fonte 4 (Friburgo) parece não ser capturada pelo *FFA* de 0,65 calculado no presente trabalho, pois é nessa localidade que o desvio do valor estimado pela equação alométrica

($FFA=0,65$) em relação ao valor medido por meio da escalada apresenta seu maior valor (CV de -19,2%), Tabela 6.3.

6.4. ESTIMATIVAS DA *BVAS* A PARTIR DE UM INVENTÁRIO FLORESTAL E O ESTOQUE DE CARBONO ASSOCIADO

A extrapolação da *BVAS* por unidade de área requer o conhecimento do tamanho da área amostral inventariada. O presente estudo utilizou-se de um inventário florestal (área amostral: 60 m x 10 m = 600 m²) efetuado na região de estudo (Pedra de Itaocaia) num período anterior às escaladas das árvores (CARVALHO, 2007). Foram medidos (*DAP* e *H*) de todas as árvores com *DAP* = 10 cm, perfazendo um total de 56 árvores. Embora algumas espécies tenham sido identificadas, a maioria permaneceu indeterminada.

Os valores médios do *DAP* e *H* foram 15,7 cm e 9,25 m (CV de 56,3% e 41,8%, respectivamente). Amostras dos troncos de nove árvores foram utilizadas para estimar a densidade média de 0,55 g/cm³ (CV de 19,1%). Esses valores de *DAP*, *H* e *D* indicam que é uma floresta em estágio intermediário de regeneração. Cavalho (2007) sugere que se trata de uma floresta secundária de 30-40 anos de abandono.

A biomassa total estimada pela equação $BVAS = 0,65 * D_b * AB * H$ foi de 6006 kg, considerando a densidade média de 0,55 g/cm³. Para extrapolar para t/ha (unidades usualmente expressas: tonelada por hectare) a *BVAS* estimada foi dividida por 1000, resultando em 6,01 t, e multiplicada pela razão: área de um hectare / área amostral do inventário (10000 m²/600 m²), resultando em 100,1 t/ha, 10% inferior ao valor estimado por Carvalho (2007) que foi de 111 t/ha (estimado por meio do $FFA = 0,57$ calculado por TANIZAKI, 2000).

Tanizaki (2000) estimou a *BVAS* em diferentes fragmentos florestais do estado do Rio de Janeiro. Para a Floresta da Pedra Branca (bananal abandonado há cerca de 20 anos), com *DAP* e *H* médios de 20 cm e 8 m, respectivamente, a *BVAS* estimada foi de 30 t/ha, valor considerado baixo e explicado pelo manejo da área em função do bananal anteriormente existente. Na região de Magé/RJ, um fragmento conhecido por um histórico de mais de 40 anos de abandono, porém com efeito de borda intenso e presença de algumas áreas de solo alagado ou arenoso, o valor da *BVAS* estimado foi de 60 t/ha. Duas outras florestas de aproximadamente 40 anos de abandono, Mata do Caçador e a Floresta Queimada, apresentaram um estoque de *BVAS* estimado de 150 t/ha e 250 t/ha, embora as médias dos

DAP's sejam semelhantes, a diferença observada é atribuída à maior presença de indivíduos arbóreos mais altos na Floresta Queimada.

Delitti e Burger (1998) estimaram a biomassa de diferentes áreas de Floresta Atlântica. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que essas áreas apresentam máximo de acumulação de biomassa aérea de até 350 t/ha. Florestas secundárias e perturbadas por diferentes fatores apresentam menos de 200 t/ha e em casos mais extremos de perturbação as florestas acumulam menos de 100 t/ha. Estimativas de *BVAS* no Parque Estadual Fontes do Ipiranga/SP e na Ilha do Cardoso/SP ficaram próximas de 70 t/ha e 380 t/ha, respectivamente, refletindo o alto grau de distúrbio no Parque Estadual e valores consistentes para uma floresta tropical em bom estado de preservação, no caso da Ilha do Cardoso (BURGER, 2005).

Na área de proteção ambiental de Guaraqueçaba/Paraná, região localizada no centro de um dos maiores fragmentos florestais da Mata Atlântica, Tiepolo et al. (2002) estimou o estoque de *BVAS* em diferentes áreas amostrais, divididas em setores de florestas de submontanhas: 270 t/ha; floresta baixa: 212 t/ha; florestas alagadas: 130t/ha; floresta secundária em estágio avançado de regeneração: 212 t/ha; floresta secundária em estágio intermediário de regeneração: 200 t/ha; floresta secundária em estágio inicial de regeneração: 86 t/ha.

Pode-se concluir que o valor de *BVAS* de 100 t/ha estimado para o fragmento florestal da Pedra de Itaocaia está num estágio de regeneração que vai do inicial para o intermediário, indicando um período de abandono de aproximadamente 30 a 40 anos e sofre impactos relacionados à ocupação humana irregular.

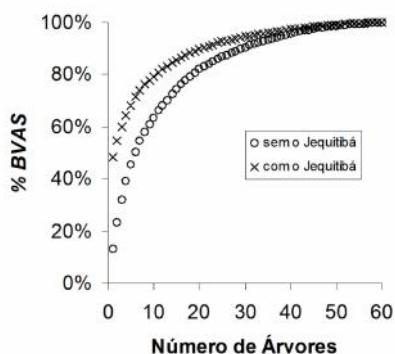


Figura 6.5 – Porcentagem cumulativa de *BVAS* (ordem decrescente de biomassa) das árvores presentes no inventário coletado por Carvalho (2007).

No inventário acima considerado, não consta árvores de grande porte. Como mencionado anteriormente, o Jequitibá, árvore A1 Tabela 6.2, provavelmente é um indivíduo

arbóreo remanescente dos processos de desmatamento estabelecidos na região e não corresponde à idade de abandono do fragmento florestal ao qual pertence. Porém, incluindo a árvore Jequitibá no inventário e estimando-se a *BVAS*/ha com o $FFA = 0,65$, obtém-se praticamente o dobro, 193 t/ha, do valor estimado sem a inclusão do Jequitibá, que foi de 100 t/ha, sugerindo que a mata considerada tem um período de abandono superior ao constatado. Esse resultado mostra como a inclusão de uma árvore de grande porte, e que não corresponda ao estágio de regeneração do sistema ao qual ela pertença, pode interferir nas estimativas, levando a conclusões equivocadas a respeito do estoque de biomassa e do estágio de regeneração da floresta considerada. A Figura 6.5 mostra as porcentagens cumulativas de *BVAS* em função do número de árvores amostradas no inventário (com e sem a árvore Jequitibá), praticamente 50% da *BVAS* total do inventário é devida ao Jequitibá quando este é considerado. No entanto, o tamanho da área amostral do inventário possibilita minimizar tipos de desvios relacionados às amostras vegetativas não representativas do sistema, pois aumentando o volume total da *BVAS* estimada no inventário por meio de uma área amostral maior, minimizam-se as estimativas de *BVAS* tendenciosas (CHAVE et al, 2004).

6.5. ESTOQUE DE CARBONO

A conversão de biomassa seca para carbono é feita usando-se o teor aproximado de 50% da biomassa em peso seco (FEARNSIDE, 1997). Para o presente estudo, o potencial de estoque de carbono da *BVAS* do fragmento florestal do entorno da Pedra de Itaocaia é de 50,5 t/ha. Além da ocupação humana, o fragmento florestal da Pedra de Itaocaia é considerado pequeno, abaixo de 50 ha, e sofre as consequências dos efeitos de borda que minimizam a potencialidade do estoque de *BVAS* e carbono pelas florestas. Nas bordas dos fragmentos florestais chegam mais luz e vento e há maior perturbação externa, como pisoteamento pelo gado, possibilidade de fogo e ocupação humana. As árvores maiores acabam morrendo e são substituídas por espécies que conseguem sobreviver nessas condições. Essas plantas, chamadas pioneiras, absorvem menos carbono, têm menor biomassa e morrem mais rápido. Outra causa da redução da capacidade do estoque de carbono é que as partes centrais dos fragmentos podem ficar isoladas. Nesta condição, a população de plantas de maior porte desaparece mais facilmente com doenças e perturbações naturais (RIBEIRO et al., 2009).

6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estimativas de *BVAS* e carbono em florestas estão sujeitos a erros, pois os métodos utilizados estão sujeitos a incertezas associadas às medidas e variabilidades inerentes à natureza do objeto de estudo (estrutura arbórea, dimensões geométricas, densidade da madeira, área amostral). Dessa forma, ainda que não possamos calcular os erros, as incertezas podem ser estimadas. Chave et al. (2004) apresentam valiosas contribuições para estimativas de incertezas associadas ao estoque de carbono e biomassa.

Na floresta Amazônica, Brown et al. (1995), através de simulações de Monte Carlos, estimaram incertezas de 20% quando as variáveis *DAP*, *H*, *D* e área amostral são consideradas no processo de estimativa de *BVAS*. Baker et al. (2004) demonstraram que a densidade básica da madeira explica de 20 a 30% da variação da biomassa florestal para localidades da Floresta Amazônica. Chave et al. (2005), citam as principais variáveis para estimativas da biomassa, em ordem decrescente de importância: diâmetro, densidade da madeira, altura total e tipo florestal.

Lianas, epífitas, palmeiras e bambus quando avaliados em grupos podem representar até 10% da *BVAS* na Floresta Atlântica (VIEIRA et al., 2008), porém a contribuição do grupo não foi avaliada no presente estudo.

Embora não se tenha calculado as incertezas associadas às estimativas de *BVAS* nesse trabalho, assume-se o valor de 20%, considerando a variável D_b , para o cálculo da *BVAS*.

7. CONCLUSÃO

Baseado em estimativas pretéritas, o uso de técnicas de escala em árvores demonstrou ser uma alternativa viável, embora especializada, para calcular o *FFA* e estimar a *BVAS* sem o comprometimento da floresta.

A contribuição dos compartimentos galhos grossos, finos e folhas somam 33% da *BVAS* total arbórea para fragmentos florestais da Mata Atlântica (em condições similares aos desse estudo) em estágios intermediários de regeneração, restando para o tronco 67% de toda a *BVAS*.

O cálculo do *FFG* permitiu ajustar o *FFA* considerando as porcentagens significativas das contribuições dos galhos para a *BVAS*.

A equação alométrica derivada no presente trabalho incorpora de maneira eficiente a estrutura arbórea dos fragmentos florestais similares ao fragmento da Pedra de Itaocaia.

Através de comparação e análise de diferentes FFAs, pode-se concluir que árvores de grande porte (*DAP* > 70cm) podem ser excluídas dos modelos alométricos sem o comprometimento das estimativas de biomassa.

As estimativas de *BVAS* e carbono no fragmento florestal da Pedra de Itaocaia foram de 100 t/ha e 50,5 tC/ha, respectivamente, e são consistentes com a classificação desse fragmento como em estágio intermediário de regeneração e com idade de abandono de aproximadamente 30 a 40 anos.

8. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um plano diferencial para o Brasil. **Estudos Avançados**. v.4, n.9, p.19-62, 1990.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO, J. A. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 117, n. 1/3, p. 43-52, 1999.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; PATINO, S.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; VASQUEZ MARTINEZ, R. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**. v.10, p.545-562, 2004.

BARBIÈRE, E. B.; COE-NETO, R. Spatial and temporal variation of the east fluminense coast and atlantic Serra do Mar, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOOPERS, B.; BIDONE, E. D.; ABRÃO, J. (Eds). **Environmental Geochemistry of Coastal Systems**, Rio de Janeiro, Brazil. Niterói: EDUFF, 1999. P. 47-56. (Série Geoquímica Ambiental, v. 6).

BARROS, A. A. M. de. **Análise florística e estrutural do Parque Estadual da Serra da Tiririca, Niterói e Maricá, Rio de Janeiro, Brasil**. Rio de Janeiro, 2008. 218 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro/Escola Nacional de Botânica Tropical, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2010.

BROWN, F.; MARTINELLI, L. A.; THOMAS, W. W.; MOREIRA, M. Z.; FERREIRA, C. A. C.; VICTORIA, R. A Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 75, p. 175-189, 1995.

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

BROWN, S. **Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer**. Rome: FAO, United Nations, 1997. (Forestry Paper-134).

BURGER, D. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar**. São Paulo, 2005. 112 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, 2005.

CÂMARA, I. G. Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In: GALINDO-LEAL, C., CÂMARA, I.G. (Eds.). **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. Washington: CABS and Island Press, 2003. P. 31-42.

CARVALHO, M. C. P. **Avaliação do estoque de carbono na biomassa arbórea de uma floresta secundária em Maricá, RJ**. 2007. 30 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Veiga de Almeida, 2007.

CHAVE, J.; RIERA, B.; DUBOIS, M. A. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. **Journal of Tropical Ecology**. v. 17, p. 79–96, 2001.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S.; HERNANDEZ, A.; LAO, S.; PEREZ, R. **Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates**. *Philos Trans Royal Soc B*, v. 359, p. 409–420, 2004.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.; CHAMBERS, J. C.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**. v. 145, p. 87-99, 2005.

CHAVE, J. **Wood density measurement protocol**. Measuring wood density for tropical forest trees: A field manual for the CTFS sites, ano de publicação: 2005. Disponível em: <<http://chave.ups-tlse.fr/chave/wood-density-protocol.pdf>>. Acesso em: 10 abril de 2010.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; STEEGE, H. T.; WEBB, C.O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**. v. 16, n.6, p. 2356-2367, 2006.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**. v. 137, p. 185-198, 2000.

DAWKINS, H. C. Estimating total volume of some Caribbean trees. **Caribb For**. v. 22, p. 62–63, 1961.

DELITTI, W. B. C.; BURGER, D. M.; Atlantic forests biomass estimate, Brazil. In: THE EARTH'S CHANGING LAND GCTE-LUCC. OPEN SCIENCE CONFERENCE ON GLOBAL CHANGE, 1998, Barcelona. **Abstracts...** Barcelona, 1998. p. 341.

FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazônia. **Forest Ecology and Management**. v. 90, p. 59-87, 1997.

FEARNSIDE, P. M. Serviços ambientais da floresta amazônica. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 1998. Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Águas de Lindóia, SP: [s. n.], 1998.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; LEAL, N.; RODRIGUES, F. J. A.; ROBINSON, J. Tropical forest burning in Brazilian Amazônia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 1, p. 65-79, 1999. IMENT

IBGE. **Censo Populacional 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 08 abril de 2010.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal, 2005. 200 p.

LOHMANN, L. The dyson effect: carbon “offset” forestry and the privatization of atmosphere. **Corner House Briefing**, v. 15, 1999.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa – SP: Editora Plantarum Ltda, 1992. 368 p.

LUGO, A. E.; SCATENA, F. N. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet and rain forests. **Biotropica**, v. 28, p. 585–599, 1996.

MANTOVANI, W.; RODRIGUES, R. R.; ROSSI, L.; ROMANIUC-NETO, S.; CATHARINO, E. L. M.; CORDEIRO, I. A vegetação da Serra do Mar em Salesópolis, SP. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: estrutura, função e manejo, 2, 1990, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Águas de Lindóia, SP: Aciensp, 1990, v. 1, p. 348-384.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, p. 853-858, 2000.

OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIAGA, J. G. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon Rainforest. **Journal of Tropical Ecology**. v.10, p.207-218, 1994.

POMPÉIA, S. L. **Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica, Cubatão, SP**. São Paulo, 1997. 203 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELÄ, J.; JOENSUU, E.; SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**. v. 7, p. 385–403, 1998.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**. v. 142, p. 1141-1153, 2009.

SALDARRIAGA, J. G.; WEST, D. C.; THARP, M. L.; UHL, C. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**. v. 76, p. 938-958, 1988.

SILVA, W. G. S.; METZGER, J. P.; SIMÕES, S.; SIMONETTI, C. Relief influence on the spatial distribution of the Atlantic Forest cover at the Ibiúna Plateau, SP. **Brazilian Journal of Biology**. v. 67, p. 403–411, 2007.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. Paraná, 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA/INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica – Relatório técnico 2005-2008, ano publicação: 2009**. Disponível em: <<http://mapas.sosma.org.br/dados/>>. Acesso em: 08 abril de 2010.

TANIZAKI, K. F. **Impacto do uso da terra no estoque e fluxo de carbono na área de domínio da mata atlântica: estudo de caso estado do Rio de Janeiro**. Niterói, 2000. 197 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R.; Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute, 2002, Taiwan. **Abstract...** Taiwan: [s.n.], 2002. v. 153, p. 98-115.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R. R. LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.

VERSIANI, C. M. **Avaliação de equações alométricas da Amazônia para a estimativa de biomassa de vegetação secundária na Mata Atlântica**. Rio de Janeiro, 2004. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2004.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J. L. F.; CAMPOS, M. C.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B. C.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; JOLY, C. A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L. A.; MATTOS, E. A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F. A. M.; SHIMABUKURO, M. T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**. v. 8, n. 2, 2008.