

## 1 INTRODUÇÃO

Recentemente uma das maiores preocupações mundiais é o clima. Os cientistas já alertaram que dentre outros fatores, a mudança no uso do solo e principalmente o uso excessivo de combustíveis fósseis, têm acelerado o processo de Aquecimento Global. Inúmeras conseqüências já podem ser notadas, tais como o efeito El Niño, degelo acelerado das calotas polares, “tsunamis”, aumento de furacões, tufões e ciclones, ampliação de áreas desertificadas e ondas de calor.

Diante dessas evidências é necessário se preocupar com os efeitos futuros que essa mudança no clima exercerá sobre a humanidade. Uma das formas para atenuar os efeitos do Aquecimento Global é por meio das florestas, sendo estas, importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, uma vez que as árvores armazenam o carbono por meio da fotossíntese.

As florestas naturais, sobretudo as matas ciliares, sempre foram e continuam sendo recursos naturais essenciais para todas as sociedades, com importância primordial para proporcionar serviços e produtos imprescindíveis para o bem-estar da população. De acordo com Martins e Dias (2001), as florestas naturais apresentam diversos mecanismos que favorecem a infiltração, como as copas das árvores que produz um microclima (temperatura amena e umidade do ar e do solo satisfatórios para a vida) para a região; a serapilheira que possui uma grande capacidade de acumular água e outras substâncias; o sistema radicial, para aeração e percolação da água.

Apesar do avanço da legislação brasileira visando à proteção das florestas, estas continuam a desaparecer devido à expansão da fronteira agrícola, do desenvolvimento do setor agropecuário, e ao avanço dos grandes centros urbanos.

Com a redução das áreas de florestas devido ao processo de desmatamento, a restauração florestal aparece como uma ótima alternativa para a manutenção e recuperação desses ambientes.

Observa-se um aumento considerável de pesquisas e empreendimentos visando à recuperação de matas ciliares. A restauração florestal de áreas de matas ciliares degradadas, decorrentes de atividades antrópicas, com espécies arbóreas nativas, fundamenta-se no emprego do método que visa assegurar a harmonia e

dinâmica de sucessão, e conseqüentemente, a perenização do ecossistema (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Diante deste contexto, as matas ciliares exercem um papel estratégico na conservação da biodiversidade, e mais recentemente, como um atenuador para os problemas do Aquecimento Global, devido à capacidade das árvores enquanto sumidouros de carbono.

O carbono é elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas, e compõe quatro dos principais gases de efeito estufa, o metano ( $\text{CH}_4$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs). As florestas de restauração possuem uma enorme capacidade em fixar carbono em sua biomassa por meio da fotossíntese, no entanto, pouco se sabe a respeito do estoque de carbono nesse ecossistema. Por isso, cresce a cada dia que passa o interesse pelos estudos acerca da biomassa e do conteúdo de carbono estocado nas mais diferentes tipologias florestais, motivando assim muitos pesquisadores e instituições a desenvolver estudos sobre o tema.

Uma das maneiras de se conhecer o estoque de carbono das florestas é por meio da determinação da biomassa e desenvolvimento de modelos matemáticos para sua estimativa. Os modelos matemáticos, neste caso, devem estimar a biomassa e o carbono das árvores utilizando variáveis de fácil obtenção como DAP e altura, sem que haja a necessidade de se recorrer a métodos diretos como o corte e pesagem total das árvores.

No desenvolvimento e ajuste de modelos para estimativa de biomassa e carbono, muitos são os esforços para estimar essas variáveis com a maior aproximação possível dos valores reais. Uma variedade de modelos de regressão tem sido utilizada para essas estimativas, ou por componente de uma árvore (tronco, galhos, folhas).

As experiências com modelagem em florestas nativas, têm se restringido aos modelos de volume e, de forma mais limitada, aos modelos para estimativa da biomassa. No caso dos plantios de restauração, muito poucos são os trabalhos envolvendo modelagem da biomassa e do carbono, deixando assim uma lacuna de informações a respeito do potencial que esse ecossistema pode gerar como sumidouros de carbono.

Diante das muitas fitofisionomias florestais ocorrentes no Brasil, e a da grande variabilidade nos fatores edáficos-climáticos, pesquisas sobre quantificações de carbono ainda estão restritas para tipologias nas quais se tem um interesse específico. Entretanto, é fundamental o desenvolvimento de trabalhos onde não se tem informações como é o caso das florestas de restauração, as quais também exercem um importante papel para a amenização dos efeitos do Aquecimento Global.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo foi quantificar e modelar a biomassa florestal e determinar o teor de carbono orgânico das principais espécies nativas plantadas em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista, gerando assim, informações precisas do estoque de carbono em áreas reflorestadas.

### 1.1.1 Objetivos específicos:

a) determinar os teores de biomassa seca e os teores de carbono orgânico para cada parte distinta das árvores;

b) testar, selecionar e recomendar modelos matemáticos para quantificação de biomassa seca e carbono orgânico com algumas das principais espécies nativas usadas em restauração da mata ciliar no oeste paulista, as quais possuem diferentes ritmos de crescimento das espécies;

c) estimar a biomassa seca estocada e o carbono fixado em reflorestamentos mistos com espécies nativas usados para fins de restauração no sudoeste paulista.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MATAS CILIARES

Para Catharino (1989) e Crestana *et al.* (1993), as matas ciliares podem ser entendidas, de maneira genérica, como as formações vegetais florestais que acompanham os veios ou cursos d'água. Estas formações ribeirinhas (ocorrentes no entorno de nascentes e ao longo de cursos d'água) apresentam grande heterogeneidade fisionômica em função da diversidade do mosaico de condições ecológicas distintas (REZENDE, 1998; RODRIGUES ; NAVE, 2000; DURIGAN *et al.*, 2000 ; BROWN JR., 2000).

A conservação e a restauração das matas ciliares têm se caracterizado, nos últimos 30 anos, por serem temas de grande importância no contexto da qualidade ambiental. Os benefícios das matas ciliares para suporte à fauna, aumento da conectividade da paisagem (MARINHO FILHO; GASTAL, 2000), manutenção dos habitats aquáticos (BARRELA *et al.*, 2000) e da qualidade da água (CRESTANA *et al.*, 1993; LIMA; ZAKIA, 2000) têm sido os argumentos mais fortes para sua conservação.

Recentemente o conceito de uso múltiplo das florestas nativas plantadas ressurgiu como um objetivo básico, com propósitos recreacionais, de proteção do solo e dos recursos hídricos e de conservação genética animal e vegetal (KAGEYAMA; CASTRO, 1986).

De acordo com Martins e Dias (2001), as florestas nativas apresentam diversos mecanismos que favorecem a infiltração, como as copas das árvores que produzem um microclima (temperatura amena e umidade do ar e do solo satisfatórios para a vida) para a região; a serapilheira que possui uma grande capacidade de acumular água e outras substâncias; o sistema radicular, para aeração e percolação da água. Diversas vantagens ecológicas, como a fixação de carbono, a retenção de água estrutural e o melhor aproveitamento da radiação solar, são proporcionadas pelas florestas nativas.

Apesar de sua inegável importância ambiental, as florestas nativas assim como as matas ciliares vêm se aproximando de uma virtual erradicação em várias partes do Brasil. Entre os inúmeros fatores que têm contribuído para isso, destacam-se, pela gravidade: as derrubadas, os incêndios, os represamentos e o assoreamento dos rios devido à erosão (GIBBS; LEITÃO FILHO; ABBOT, 1980). Para Oliveira-Filho *et al.* (1994), as matas ciliares são sistemas frágeis face aos impactos promovidos pelo homem, pois, além de conviverem com a dinâmica erosiva e de sedimentação dos cursos d'água, alojam-se no fundo dos vales, onde naturalmente recebem os impactos da interferência humana sobre a bacia hidrográfica como um todo. Além disso, como o fundo dos vales comumente corresponde aos solos mais férteis de uma bacia, as matas ciliares são as mais propensas a serem derrubadas para fins agrícolas.

## 2.2 RESTAURAÇÃO FLORESTAL

A recuperação de ecossistemas degradados é uma atividade muito antiga, podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões. No entanto, até recentemente, ela se caracterizava como uma atividade sem vínculos estreitos com concepções teóricas, sendo executada normalmente como uma prática de plantio de mudas, com objetivos muito específicos (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Só recentemente a recuperação de áreas degradadas adquiriu o caráter de uma área de conhecimento, sendo denominada por alguns autores como Restauração Ecológica (PALMER, 1997).

A princípio, as técnicas utilizadas para a restauração de matas ciliares basearam-se nos conhecimentos empregados para a reabilitação de áreas degradadas na maioria por atividades de mineração. Inúmeras vezes, também, os trabalhos são feitos com pouca ou nenhuma fundamentação técnica. Resultados pouco satisfatórios do ponto de vista ambiental e dispendiosos economicamente, forçam a elaboração de estudos mais minuciosos dos ambientes que encerram as

matas ciliares. Os levantamentos florísticos, estruturais, edáficos, faunísticos e de adequações silviculturais passam a ganhar maior importância para nortear as ações de restauração.

A restauração vegetal de áreas de matas ciliares degradadas, decorrentes de atividades antrópicas, com espécies arbóreas nativas, fundamenta-se no emprego do método que visa a assegurar a harmonia e dinâmica de sucessão, conseqüentemente assegurando também a perenização do ecossistema. Para que um processo de sucessão se desenvolva, é necessário que exista uma área aberta onde espécies vegetais possam se estabelecer e sobreviver, que novas espécies possam chegar ao longo do tempo, ou que sementes pré-existentes no solo germinem introduzindo novas espécies com comportamentos ecológicos distintos, de forma que ocorra uma gradual modificação da comunidade (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Hoje em dia, há um aumento considerável de pesquisas e empreendimentos visando à recuperação de matas ciliares. Segundo Kageyama e Gandara (2000) essas iniciativas se multiplicaram a partir da década de 90, em conseqüência da conscientização da sociedade e de exigências legais. Melo (2004) denota a importância dos projetos de restauração para matas ciliares e afirma que foram criados instrumentos coercitivos e de incentivo aos plantios para os quais têm sido destinados montantes significativos de recursos públicos e privados.

Com a redução das áreas florestais, a recuperação de ecossistemas degradados vem se tornando uma atividade crescente (RODRIGUES; GANDOLFI 1996), uma vez que o processo de desmatamento, com conseqüente fragmentação florestal, tem levado à extinção de muitas espécies vegetais e animais, apesar dos avanços da legislação brasileira com relação à ação antrópica nas florestas protegidas (BARBOSA, 2000). Programas dessa natureza visam garantir a regularização de recursos hídricos, a conservação de espécies vegetais e animais, bem como a manutenção da diversidade genética nas áreas de influências dos corpos d'água (CESP, 1992).

Não é de hoje que se percebeu a importância que as florestas naturais, sobretudo as matas ciliares exercem sobre o ecossistema. O papel da floresta, na produção dos recursos hídricos e edáficos, na recuperação de bacias degradadas e

na estabilização de encostas, serviu de justificativa fundamental para a elaboração, desde o século XVII, de um conjunto de leis visando a proteção e a recomposição das florestas nativas brasileiras, conforme se depreende de Andrada e Silva (1925). Sem dúvida a lei mais importante para assegurar a restauração e preservação desses ecossistemas foi o código florestal brasileiro, instituído pela Lei Federal nº 4.771, de 15/09/65, alterado pelas Leis Federais nº 7.511/86 e 7.803/89, dá o seguinte tratamento à vegetação localizada à margem dos cursos d'água:

*Art. 2º - Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:*

*a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:*

- 1) de 30 (trinta) metros para cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*
- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*
- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*
- 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*
- 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos metros);*

*b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;*

*c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;*

## 2.3 RITMOS DE CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES

Há uma tendência de que os projetos de restauração florestal contemplem a proteção e a recuperação da diversidade biológica. Partindo dessa premissa se fez necessário o conhecimento das espécies a serem utilizadas nesses projetos. Há inclusive, normas que estabelecem número mínimo de espécies a ser utilizadas e outras indicações visando aumentar as chances de êxito dos plantios. No entanto, poucas são as informações sobre as características ecológicas das espécies, e no caso do ritmo de crescimento não é diferente.

O crescimento de uma ou mais árvores pode ser definido como o aumento de suas dimensões (diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa e outros), em um dado período de tempo. Se a análise se restringir às partes da planta (células, galhos, folhas ou raízes), o crescimento pode ser expresso pelo aumento da sua extensão (POORTER; BONGERS)<sup>1</sup> citados por Chagas *et al.* (2004).

Para Chagas *et al.* (2004), existem grandes variações entre as espécies, entre árvores da mesma espécie, constituições genéticas, ou ainda estabelecidas em diferentes habitats, sendo assim, a taxa de crescimento de árvores é altamente variável. Dessa forma, pode-se afirmar que o que caracteriza a espécie como sendo de crescimento rápido, médio ou lento é a taxa de crescimento dessas espécies.

Os fenômenos periódicos em plantas tropicais são frequentemente atribuídos a ritmos internos, ou ritmos inerentes, isto é, mudanças que se processariam na planta, independente dos fatores externos. Sem dúvida, este ritmo interno é facilmente reconhecido quando a periodicidade do crescimento é predominantemente controlada pelos estágios de desenvolvimento ou idade da planta (ALVIM, 1964).

O ritmo de crescimento das árvores depende, de forma isolada ou conjunta, de fatores como a disponibilidade de recursos ambientais (por exemplo, luz, água e nutrientes), espaço físico (por exemplo: espaçamentos ou impedimentos por cipós), tamanho e constituição genética da árvore, bem como sua história de desenvolvimento. (POORTER; BONGERS, 1993)<sup>1</sup> citados por Chagas *et al.* (2004).

---

<sup>1</sup> Poorter, L. ; Bongers, F. **Ecology of tropical forests**. [S.l.] Wageningen Agricultural University, 1993, 223p.

## 2.4 O PAPEL DAS FLORESTAS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Até recentemente, os principais agentes modificadores da superfície terrestre eram agentes naturais, tais como o vento, a chuva, a radiação solar, os vulcões e os terremotos (DEMILLO, 1998). Hoje em dia uma das grandes preocupações frente aos olhos dos cientistas no mundo todo são as mudanças climáticas.

Muito se fala a respeito das mudanças climáticas, e segundo Chang (2004), são processos naturais, considerados as escalas de tempo de milhares de anos de eras geológicas. No entanto a velocidade e intensidade com que estão ocorrendo mudanças no sistema climático da Terra, a partir da Revolução Industrial, é que tem sido objeto de preocupação de cientistas e líderes mundiais, principalmente nas duas últimas décadas.

O fenômeno do Aquecimento Global, causado pelo acúmulo excessivo de gases chamados de efeito estufa, notadamente o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), e o CH<sub>4</sub> (metano) em uma camada ao redor do planeta, impedindo a radiação de raios infravermelhos de volta ao espaço e aumentando assim o calor retido na atmosfera, é um problema global que já faz sentir seus efeitos. Mudanças climáticas, acentuação do efeito do El Niño, catástrofes de grandes proporções, ondas de calor com milhares de mortos na Europa, desequilíbrio na distribuição das chuvas, grandes enchentes e frio intenso em regiões onde o clima era mais ameno são efeitos já visíveis da grande modificação que o planeta está sofrendo (CONRADO *et al.*, 2006).

As florestas naturais, sobretudo as florestas ciliares, sempre foram e continuam sendo recursos naturais essenciais para todas as sociedades com importância primordial para proporcionar serviços e produtos imprescindíveis para o bem-estar da população. Hoje também são vistas como um atenuador para o problema do Aquecimento Global. Mediante as ameaças de aquecimento global pelo efeito estufa e as conseqüências nefastas previstas em decorrência das mudanças climáticas, Sanquetta e Balbinot (2004) relataram o importante papel que as árvores exercem como sumidouros de carbono. Esses mesmos autores também

comentaram que, a cada dia que passa, o futuro da humanidade será mais e mais dependente das florestas, uma vez que além de serem uma fonte alternativa de energia, pois se trata de um recurso natural renovável, também podem contribuir decisivamente para reduzir os impactos ambientais do chamado efeito estufa e das suas implicações nas mudanças climáticas.

Em ambos os casos, as florestas cumprem papel decisivo, pois servem como fonte energética mais racional e também por acumular, em sua estrutura carbônica, poluentes nocivos à qualidade de vida no planeta. Por isso, cresce a cada dia que passa o interesse pelos estudos de biomassa e conteúdo de carbono das florestas, motivando muitos cientistas e instituições a ampliar os estudos sobre o tema (SANQUETTA, 2002).

Segundo Nutto *et al.* (2002), o aumento do efeito estufa terá como possíveis conseqüências o aumento da temperatura média global, e essa temperatura poderá acarretar mudanças na precipitação, umidade e fertilidade do solo, e conseqüentemente, no desenvolvimento e crescimento das florestas.

Segundo Conrado *et al.* (2006), a biodiversidade será afetada caso as florestas não sejam poupadas. As espécies vegetais e os animais terão que se adaptar a novos regimes climáticos, usarão da migração para procurar locais mais adequados ou mesmo se extinguirão. Esses mesmos autores ainda relatam que com a extinção de espécies, tanto vegetais como animais, as conseqüências serão graves para o equilíbrio natural trazendo a possibilidade da perda dos serviços ecossistêmicos, do patrimônio genético e dos conhecimentos valiosos para as indústrias farmacêutica e química. Junto com esse patrimônio da humanidade, desaparecerá a possível cura de tantas doenças para as quais os cientistas procuram princípios ativos em plantas e animais.

Contudo, o efeito das mudanças climáticas sobre os mais diferentes ecossistemas florestais pode ocorrer de maneira diferenciada. Confalonieri (2002) afirma que no caso de precipitações muito intensas, na floresta tropical existirá um escoamento superficial, sendo as larvas de mosquito arrastadas, levando a uma diminuição da malária. Já no semi-árido, as mesmas precipitações levarão à formação de poças d'água, que servirão como criadouro para os vetores, aumentando assim a incidência da doença. O aumento da faixa de clima tropical no

planeta ocorrerá um recrudescimento dos vetores de doenças mais comuns, causando pandemias com as quais os sistemas de saúde, se não tiverem uma visão de longo prazo e pró-ativa, serão pegos de surpresa por doenças com as quais não estão acostumados.

Dumanski e Pieri (2000), discorrendo sobre os impactos das intervenções humanas nos recursos naturais, afirmaram que pela primeira vez a humanidade enfrenta uma situação onde o manejo sustentado dos recursos naturais é mais importante que o suprimento em produtos para o desenvolvimento, tendo em vista que a sobrevivência humana e inclusive o próprio processo de desenvolvimento dependem dos recursos naturais.

Apesar das controvérsias envolvendo as causas do Aquecimento Global, as informações coletadas ao longo deste século e, principalmente, na última década, demonstraram que as atividades humanas foram capazes de introduzir modificações globais que poderão ter conseqüências sérias o bastante para afetar os ecossistemas naturais (BECKER *et al.*, 2001).

É fato consolidado que as mudanças climáticas estão ocorrendo em nosso planeta e que o avanço tecnológico está contribuindo para o aceleração dessas mudanças. Visando atenuar essa problemática, desde 1995, as Partes (COP) têm se reunido para discutir esse problema, dispendo-se a encontrar soluções. Até o presente momento, foram realizados treze encontros, denominados Conferências das Partes (COP).

A Conferência das Partes realizada em Quioto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido um acordo onde se encontram definidas metas de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) para os países compromissados em reduzir essas emissões, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto (UNFCCC, 2001) e estabeleceu que os países industrializados deverão reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990 entre 2008-2012 (primeiro período de compromisso).

Segundo Hosokawa *et al.* (1998), a atenuação do efeito estufa provocado pela emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), poderia se realizar por medida de implementação de megareflorestamentos. Os autores citam as seguintes razões

para tal: a) seria provavelmente o procedimento mais barato; b) permite monitoramento e otimização da produtividade na assimilação do CO<sub>2</sub>; c) trata-se de um processo de ciclagem bio-energético, não apresentando efeitos colaterais; d) seria um dos poucos, senão único, mecanismo significativo de reversão da entropia positiva que a natureza nos concede; e) possibilitaria a estocagem de carbono e também a produção contínua, o que é definido como sendo a manutenção de uma superfície florestal quali-quantitativa, adequada à demanda de benefícios diretos e indiretos, de forma contínua, ao longo do tempo.

Dentro dessa lógica os reflorestamentos da mata ciliar poderiam contribuir de forma significativa para o aumento dos estoques de carbono.

## 2.5 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal, conforme definição apresentada por Alemdag (1980), é a quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa.

Segundo Caldeira (2003a), o termo biomassa representa a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes presentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar e também possibilita tirar conclusões para uma exploração racional dos ecossistemas.

Martinelli *et al.* (1994) e Teixeira (2003) definiram a biomassa como a quantidade de material vegetal contida por unidade de área numa floresta e expressa em unidade de massa. Em geral, os componentes utilizados na medição da biomassa são biomassa vertical acima do solo, composição das árvores e arbustos, composição da serapilheira e troncos caídos (fitomassa morta acima do solo) e composição de raízes (biomassa abaixo do solo). A biomassa média por hectare varia entre os tipos florestais e dentro de um mesmo tipo de floresta (URBANO, 2007).

Brigadão (1992) utilizou o termo fitomassa para descrever o material seco na planta, que juntamente com a zoomassa corresponde ao termo biomassa. Embora nesta definição não seja feita menção sobre a unidade de medida do material vegetal seco, o autor deixa subentendido que o termo fitomassa, corresponde à medida em termos de massa, obtida em plantas individuais, sejam estas florestais ou não.

Considerando a biomassa florestal como sendo a quantidade em termos de massa, constituída por organismos em um ecossistema florestal, Alemdag (1980), forneceu uma definição mais ampla para esse termo em relação Martinelli *et al.* (1994), Teixeira (2003) e Brigadão (1992). De acordo com a literatura consultada, os termos fitomassa ou biomassa descrevem o mesmo atributo, e para efeito deste trabalho, será empregado o termo biomassa conforme Martinelli *et al.* (1994) e Teixeira (2003).

Os tecidos vegetais são constituídos por carboidratos, celulose, lignina, entre outros compostos. Entretanto ao dessecar parte de um tecido vegetal vivo, percebe-se que em relação ao seu peso total, existe uma alta concentração de água, e segundo Caldeira (2003a) essa concentração dependerá do componente arbóreo, da espécie, das condições edafoclimáticas e da estação do ano, e o acúmulo da biomassa será afetada por todos os fatores que afetam a fotossíntese e a respiração.

Avery e Burkhart (1983)<sup>2</sup> citados por Wendling (1998), relatam que com a ênfase crescente sobre a utilização completa da árvore e uso de madeira como recurso de energia, tabelas e equações foram desenvolvidas para apresentar os pesos totais de árvores e de seus componentes (troncos, ramos e folhas). Estas tabelas, são geralmente expressas em termos de peso seco e podem incluir somente a porção acima do solo, ou a árvore inteira, inclusive raízes. Expressar a biomassa em matéria seca é vantajoso na aplicação em determinados mercados madeireiros, para a necessidade de explicar a produtividade biológica dos ecossistemas e pela facilidade em comparações e cálculos (PARDÉ, 1980).

---

<sup>2</sup> Avery, E. T. ; Burkhart, E. H. **Forest measurements**. New York: MacGraw-Hill, 1983. 331p.

## 2.6 FIXAÇÃO DE CARBONO FLORESTAL

O carbono é o elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas, e compõe quatro dos principais gases de efeito estufa: o metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). O carbono utilizado primariamente pelos seres vivos está presente no ambiente, combinado ao oxigênio e formando as moléculas de gás carbônico presentes na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos, e passa a fazer parte da biomassa através da fotossíntese.

De acordo com Chang (2004), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás causador do efeito estufa e circula entre quatro principais estoques de carbono: a atmosfera, os oceanos, os depósitos de combustível fóssil e a biomassa terrestre e solo.

As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, pois armazenam dentro de suas árvores e no solo mais carbono do que existe atualmente na atmosfera. Para Houghton (1994) se as florestas fossem cortadas a maior parte do carbono guardado nas árvores seria liberada para a atmosfera rapidamente pelas queimadas ou mais lentamente por meio da decomposição.

No balanço global de carbono na atmosfera de nosso planeta, dos 6,3 Gt C/ano emitidos no período de 1989 a 1998, 3,3 Gt C permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa, e o restante é reabsorvido pelos oceanos e pela biota terrestre, aproximadamente em partes iguais (CHANG, 2004). A absorção líquida da troca entre o ecossistema terrestre e a atmosfera refere-se à mitigação biológica (IPCC, 2000). Dessa forma é cada vez maior o interesse pela fixação de carbono em florestas naturais e plantadas, principalmente devido à sua capacidade de remover dióxido de carbono da atmosfera.

Para Simpson e Botkin (1992)<sup>3</sup> citados por Caldeira (2003b), a remoção do dióxido de carbono da atmosfera ocorre por meio da fotossíntese nos vegetais, e sua liberação pela respiração, sendo que parte deste carbono removido é armazenado na madeira. A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é menor durante o

---

<sup>3</sup> SIMPSON, L.G.; BOTTKIN, D.B. Vegetation, the global carbon cycle, and global measures. In: Dunette, D.A.; O'Brien, R.J., (eds). **The science of global change**. [S.L.], 1992.

verão, quando ocorre maior atividade da fotossíntese, com maior crescimento dos vegetais, e maiores concentrações de CO<sub>2</sub> são registradas no inverno, devido a menor fotossíntese realizada pelas plantas, com conseqüente redução do crescimento.

A conservação e ampliação das florestas naturais e plantadas, segundo Rochadelli (2001), têm sido aceita como de importância primordial no propósito de reduzir os níveis de gás carbônico na atmosfera. Todas as plantas absorvem gás carbônico e convertem em carboidratos na forma de tecidos da madeira, folhas, sementes e frutos.

A absorção de dióxido de carbono se dá, em parte, pelo período de tempo existente entre o crescimento acelerado das plantas e a morte e decomposição delas. Deste modo, as florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono em função dos estágios de sucessão, da idade, do regime de manejo e da composição de espécies (WATZLAWICK *et al.*, 2004).

A fixação de carbono florestal se dá pelo acúmulo do carbono na fitomassa florestal e no solo, entretanto, os valores de carbono fixado pelas florestas podem variar enormemente de região para região, de acordo com a tipologia florestal, solos e manejos florestais.

## 2.7 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E DO TEOR DE CARBONO

Para a determinação do peso de carbono em florestas, primeiramente se faz necessário quantificar a biomassa. Segundo Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os métodos para a obtenção da biomassa podem tanto ser diretos como indiretos. Métodos diretos implicam em determinações, enquanto que métodos indiretos geram estimativas. Determinações não são possíveis em grandes extensões, cabendo em áreas pequenas e amostras tomadas na população para ajustar e calibrar os modelos empregados nas estimativas de biomassa (SANQUETTA, 2002).

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas, sem sombra de dúvidas, é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002). Esse mesmo autor relata que, as determinações de biomassa em florestas vêm sendo feitas desde o longínquo passado, das mais diferentes maneiras, sem reflexão ou questionamento sério sobre a representatividade e validade das amostragens realizadas.

Péllico Netto e Brena (1997), especialistas em inventário florestal que mais utilizam e se preocupam com o emprego correto dos procedimentos de amostragem, foram muito felizes em fazer uma nítida separação terminológica entre o método e processo de amostragem. Processo se refere à configuração da unidade amostral de uma área predeterminada (100m<sup>2</sup>, 400m<sup>2</sup>, etc.), um número predefinido de árvores, uma linha ou outro arranjo qualquer. Já o termo método de amostragem se refere à forma de locação ou distribuição da amostra na população (aleatoriamente, sistematicamente, etc.).

Seguramente a escolha da unidade amostral a ser empregada nos trabalhos de campo, depende em cada caso das vantagens e desvantagens. Wendling (1998) faz um exame da literatura e apresentou uma discussão interessante sobre algumas opções que vêm sendo utilizadas em termos de definição da unidade amostral em estudos de biomassa florestal. De forma geral, os métodos de amostragem podem ser enquadrados em duas grandes categorias: método da parcela, o qual utiliza uma determinada unidade de área onde toda a biomassa é determinada, e o método da árvore individual, escolhido para este trabalho, o qual árvores-amostras são eleitas para determinações diretas (corte e pesagem).

Pardé (1980) recomenda que a determinação de biomassa de árvores individuais seja efetuada mediante a seleção de uma árvore média (*Mean tree method*). Para se conhecer a árvore média, é preciso realizar um inventário florestal prévio e calcular o diâmetro médio ou a área seccional ou transversal desta árvore. Este autor citou que é muito comum o emprego da árvore de área seccional média (também conhecida como árvore "dg") nesse caso. Após a definição da árvore média procede-se à derrubada e à determinação de biomassa de um determinado

número de indivíduos médios que se constituem na amostra. Uma variação bastante empregada, especialmente para florestas de estrutura mais complexa, é a adoção de árvores representativas por classes diamétricas ao invés de uma única dimensão (árvore média), o que significa dizer que será derrubado e pesado um determinado número de árvores para cada amplitude diamétrica, abrangendo toda a distribuição de classes existentes na floresta. Para isso também é preciso conhecer previamente a distribuição diamétrica da floresta, por meio da realização de inventário florestal.

Do ponto de vista prático, a determinação da quantidade de carbono a ser seqüestrada depende da variável biomassa, a qual segundo vários autores, precisa ser estimada de forma fidedigna onde as frações raiz, tronco, galhos e folhas se revestem de grande importância, pois estudos recentes já mostraram que estas frações podem resultar em teores de carbono diferentes entre si. Inúmeros estudos do conteúdo de carbono em florestas vêm sendo desenvolvidos recentemente e a maioria versa sobre amostragem destrutiva da biomassa seguida do ajuste de modelos alométricos para sua estimativa.

## 2.8 RELAÇÕES ALOMÉTRICAS

Define-se alometria como o estudo das proporções dos organismos em relação ao seu tamanho. Em outras palavras, é a mudança na proporção de várias partes de um organismo como consequência do crescimento (WEBER, 2007).

Para Kira e Shidei (1967), alometria é um método que consiste em aplicar uma análise dimensional. A base desse método é o estabelecimento de parâmetros que indiquem ou expressem, em forma alométrica, o estado atual de uma planta. Para isso alguns autores propõem um número variado de equações baseado em medidas diretas como altura, diâmetro, comprimento e número de estruturas (perfilhos, ramificações, entre outros) que possam estimar, com suficiente precisão, a massa ou o desenvolvimento da planta como um todo (VEGA *et al.*, 2004).

Não obstante, deve ser ressaltado que para o estabelecimento dessas relações alométricas há necessidade de serem efetuadas análises destrutivas. No

entanto, essas são feitas em amostragem, de preferência em algumas plantas do próprio experimento, ou pelo menos em plantas da mesma origem genética, em estádios ontogenéticos semelhantes, e cultivadas nas mesmas condições agrobioclimáticas (VEGA *et al.*, 2004).

Relações alométricas são empiricamente determinadas estabelecendo a forma e a significância da relação funcional entre duas ou mais variáveis biológicas. O método mais comum de descrição das relações alométricas tem sido a análise de regressão, a qual estima a relação funcional entre Y (variável dependente) e X (variável independente), estabelecendo uma média esperada para os valores de Y em função de um valor específico de X (NIKLAS, 1994).

Uma das principais relações alométricas utilizadas na ciência florestal é a relação entre o diâmetro do fuste e a altura da árvore. Esta relação embasa três modelos teóricos de estabilidade mecânica: (1) o modelo de similaridade elástica, que considera os troncos das árvores como colunas auto-sustentáveis, nas quais o diâmetro do tronco deve ser proporcional à altura elevada a 3/2 para evitar que os indivíduos cedam ao seu próprio peso (MCMAHON, 1973); (2) o modelo de estresse constante, baseado na pressuposição de que os troncos aumentam em diâmetro proporcionalmente em relação à altura elevada ao quadrado para que o estresse produzido pelo vento sobre o caule seja igualado (DEAN; LONG, 1986); e (3) o modelo de similaridade geométrica, que assume que o expoente é igual a 1,0 ou que o diâmetro do tronco aumenta de maneira diretamente proporcional à altura (NORBERG, 1988).

Aplicando relações alométricas em seu estudo com *Pinus taeda*, Rosot (1980) verificou que as variáveis que apresentavam maior correlação simples com a variável peso de madeira seca em ordem decrescente foram o DAP com casca, a altura comercial e a altura total. Silva (1996) destacou a alta correlação que o DAP apresentou com o peso dos componentes das árvores de *Eucalyptus grandis* Hill (ex. Maiden), atingindo um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior do que 0,95 e distribuição de resíduos aceitáveis para os modelos ajustados.

Urbano (2007) utilizou relações alométricas para estimar biomassa e carbono da espécie *Mimosa scabrella* Benth., sendo encontrado alto grau de correlação entre a variável dependente (biomassa) e as variáveis independentes,

(diâmetro à altura do peito, altura total, altura de copa, diâmetro de copa, altura do fuste) testadas para os ajustes de equações. O melhor resultado foi obtido na relação entre peso do fuste e diâmetro à altura do peito ( $R^2=0,95$ ). Em estudo semelhante para a espécie *Bactris gasipaes* Kunth., Vega *et al.* (2004), encontraram alta correlação entre a biomassa e a área foliar, chegando a ( $R^2=0,99$ ).

Em uma vegetação secundária de Mata Atlântica, Fontes (1999) testou o padrão alométrico (circunferência, altura, profundidade e volume de copa) de cinco espécies arbóreas pioneiras tropicais e encontrou correlações ( $R^2$ ) entre 0,68 e 0,95 para a variável circunferência à altura do peito e altura total.

Rezende *et al.* (2006), comparando equações para estimativa de biomassa e estoque de carbono no cerrado, encontraram valores de  $R^2$  entre 0,948 e 0,980. Ainda no cerrado, para a espécie *Lychnophora ericoides* (Mart.), Andrade e Hay (2007) encontraram uma correlação ( $R^2$ ) de 0,92.

## 2.9 ESTIMATIVAS DA BIOMASSA E DO CARBONO

Uma das maneiras de se estimar a biomassa e o carbono florestal é usando modelos matemáticos. Conforme Sanquetta (1996), um modelo é a representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais, como por exemplo: equações matemáticas de processos fisiológicos, figuras ou estátuas. Segundo esse mesmo autor, os modelos possuem limitações. Um modelo biológico, por exemplo, não pode ser perfeito (certo ou errado), pode apenas ser uma representação bem feita ou não da realidade. Portanto, os modelos não são perfeitos, são apenas uma aproximação da realidade, mas exercem um papel muito importante no ramo das ciências exatas e naturais pois permitem realizar predições presentes e futuras da situação de um elemento ou grupo de elementos mensuráveis.

No caso dos modelos para estimativa de biomassa e carbono em árvores, muitos são os esforços para estimar essas variáveis com a maior aproximação possível dos valores reais. Uma variedade de modelos de regressão vem sendo

utilizada para essas estimativas, seja para árvores, seja para seus componentes separadamente.

Crow e Schlaegel (1988) afirmaram que equações de biomassa podem ter muitas formas, sendo que as mais comumente utilizadas são as do tipo linear e não linear. A escolha de uma destas formas ocorre em função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou pela recomendação da literatura.

Existem inúmeros modelos consagrados na literatura. Santos *et al.* (2001), testaram com base nas variáveis DAP, ht, h, hcop, testaram os seguintes modelos para a estimativa da biomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia Central:

Modelos Lineares:

$$P = b_0 + b_1 d + Ei;$$

$$P = b_0 + b_1 d^2 + Ei;$$

$$P = b_0 + b_1 d^2 h + Ei;$$

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 h + Ei;$$

$$P/d^2 h = b_0 + b_1 * 1/d^2 h + Ei;$$

Modelos Log-lineares

$$\ln P = b_0 + b_1 \ln d + \ln Ei;$$

$$\ln P = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h + \ln Ei;$$

$$\ln P = b_0 + b_1 \ln(d^2 h) + \ln Ei;$$

$$\ln P = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln\left(\frac{hcop}{ht}\right) + \ln Ei;$$

Modelos Não-lineares

$$P = b_0 * d^{b1};$$

$$P = b_0 * d^{b1} * h^{b2} + Ei;$$

$$P = b_0 * (d^2 h)^{b1} + Ei;$$

$$P = b_0 * d^{b1} * \left(\frac{hcop}{ht}\right)^{b2} + Ei;$$

$$P = b_0 * d^{b1} * h^{b2} * \left(\frac{hcop}{ht}\right) + Ei;$$

$$P = b_0 * (d^2 h)^{b_1} * \left( \frac{hcop}{ht} \right)^{b_2} + Ei ;$$

onde:

DAP = diâmetro à altura do peito;

ht = altura total, em metros;

h = altura comercial, em metros;

hc = altura de copa, em metros;

P = biomassa, peso verde ou peso seco, em toneladas;

d = DAP, em centímetros;

ln = logaritmo natural;

$b_0, b_1, \dots, b_n$  = parâmetros a serem estimados;

Ei = erro casual.

Na avaliação desses dezessete modelos, Santos *et al.* (2001) escolheram os melhores modelos nos critérios clássicos de análise de regressão, como menor erro padrão da estimativa (Syx), maior coeficiente de determinação e distribuição gráfica dos resíduos. Assim, chegaram à conclusão que para a estimativa da biomassa acima do solo da floresta tropical úmida da Amazônia Central, os melhores modelos foram log-lineares, sendo dentre eles, selecionado o modelo de Schumacher e Hall para as três variáveis dependentes (peso total, peso do tronco e peso da copa). Os modelos apresentaram bons resultados para os indicadores de ajustes, com coeficiente de determinação ajustado de 0,8875, 0,9751 e 0,9842 para o peso da copa, peso total e peso do tronco, respectivamente.

Sanquetta *et al.* (2001), testaram os seguintes modelos para *Pinus taeda* L. e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, em povoamentos florestais no sul do Estado do Paraná, Brasil:

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 h$$

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 (d^2 h)$$

$$P = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h$$

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 h$$

$$P = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

$$P = b_0 * d^{b_1} * h^{b_2}$$

onde:

P = peso seco dos componentes (kg);

d = diâmetro à altura do peito (cm);

h = altura total (m);

$b_0, b_1, \dots, b_n$  = coeficientes estimados por regressão.

Nesses ajustes, os autores encontraram erro padrão da estimativa na maioria das vezes, inferiores a 15% e coeficientes de determinação acima de 0,9.

Rezende (2006), em um estudo no Cerrado *Sensu Stricto*, ajustou os seguintes modelos para estimar a biomassa e o estoque de carbono:

$$y = b_0 + b_1(d_b^2 h_t) \quad (1)$$

$$y = b_1 * d_b^2 + b_2 * d_b^2 h_t + b_3 * d_b h_t^2 + b_4 * h_t^2 \quad (2)$$

$$y = d_b^2 * (b_0 + b_1 h_t) \quad (3)$$

$$y = b_1 * d_b^2 h_t \quad (4)$$

$$y = b_0 * d_b^{b_1} * h_t^{b_2} \quad (5)$$

$$y = b_0 * (d_b^2 h_t)^{b_1} \quad (6)$$

Método de seleção “Stepwise” (7)

onde:

y = Biomassa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) ou estoque de carbono ( $\text{ton ha}^{-1}$ );

$d_b$  = Diâmetro da base (cm);

$h_t$  = Altura total (m);

$b_0, b_1, \dots, b_n$  = Coeficientes dos modelos.

Para esse trabalho de ajuste, foram derrubadas e pesadas 174 árvores e considerado um teor médio de carbono de 50%. O modelo testado que apresentou o melhor ajuste foi o modelo número quatro, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,98 e erro padrão da estimativa ( $S_{yx}\%$ ) de 26,01, tanto para biomassa quanto para estoque de carbono.

Urbano (2007), em seu estudo para estimativa da biomassa e carbono para *Mimosa scabrella* Benth., testou 20 modelos para cada componente da árvore (fuste, galhos e folhas), sendo dois obtidos pelo processo de seleção *stepwise*, 12 aritméticos e 8 logarítmicos. Em seus ajustes, o autor utilizou como variáveis

independentes o diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura do fuste (hf), altura de copa (hc), diâmetro de copa (dc) e a combinação destas variáveis. Para o peso seco total, a melhor equação ajustada foi  $p_s = - 5,1520002 + 0,204139*d^2 + 0,760338*d_c h_c + 0,010010*d^2 h + 0,010306*d^2 d_c$  com  $R^2 = 0,960$  e  $Syx\% = 22,736$ , e para a estimativa do peso de carbono a melhor equação ajustada foi  $p_c = - 2,03972 + 0,065289*d^2 + 0,210136*d d_c + 0,00397179*d^2 h + 0,00348487*d^2 h_c$  com  $R^2 = 0,962$  e  $Syx\% = 22,145$ .

Brown *et al.* (1989) reuniram dados de levantamentos de biomassa de nove trabalhos e, a partir deles, desenvolveram equações para três zonas em florestas tropicais (seca, úmida e chuvosa), usando como variáveis independentes o diâmetro, altura e a densidade da madeira. Na análise de regressão simples utilizou  $\ln(d^2 h)$  ou  $\ln(d^2 h * \text{dens})$  como variáveis independentes do  $\ln$  do peso seco e na regressão múltipla utilizou as variáveis d e  $d^2$ , sem transformação logarítmica.

Martinelli *et al.* (1994), usando equações alométricas, estimaram a biomassa viva acima do solo em  $284 \text{ t.ha}^{-1}$  para uma área de um hectare na Reserva Ecológica da Usina Hidrelétrica de Samuel, em Porto Velho – Rondônia. Para essa mesma região, Alves *et al.* (1997) estimaram a biomassa de uma floresta tropical em estágio primário e secundário com diferentes idades. Utilizando-se de várias equações alométricas, esses autores estimaram a biomassa da floresta primária entre  $290$  e  $495 \text{ t.ha}^{-1}$ , e a floresta secundária com idade entre 3 e 8 anos teve sua biomassa estimada entre  $7$  e  $9 \text{ t.ha}^{-1}$ .

Laurence *et al.* (1999) estimaram a biomassa da floresta tropical úmida na região de Manaus. Em 65 unidades amostrais de 1 ha, foram medidos os diâmetros de todas as árvores com diâmetros (DAP) acima de 10 cm. A biomassa estimada, com o uso de uma equação, variou de  $231$  e  $492 \text{ t.ha}^{-1}$ , com uma média de  $356 \pm 47 \text{ t.ha}^{-1}$ . Ainda na região de Manaus, Klinge e Rodrigues (1973) estimaram valores muito semelhantes para a biomassa acima do nível do solo em  $400 \text{ t.ha}^{-1}$ , com base em uma parcela de 0,2 ha.

Delitti e Burger (1998) estimaram a fitomassa de diferentes áreas de florestas atlânticas, testando 25 modelos para florestas tropicais em dados de levantamentos fitossociológicos. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que as florestas atlânticas apresentam máximos de acumulação de

biomassa aérea de até 350 t.ha<sup>-1</sup>. Florestas secundárias e perturbadas por diferentes fatores apresentam menos de 200 t.ha<sup>-1</sup> e em casos mais extremos de perturbação as florestas acumulam menos de 100 t.ha<sup>-1</sup>.

Na Floresta Ombrófila Mista, Caldeira (2003) constatou que a biomassa apresentou um total de 280,73 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que, da biomassa acima do solo, 75% era representado por árvores com DAP maior do que 10 cm, e 7,8% pelas árvores abaixo de 10 cm, 14,4% eram representados pelas raízes, e 2,8% pela biomassa acumulada na serapilheira. As maiores produções de biomassa de madeira e de fuste foram encontradas em *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa*, e a distribuição relativa da biomassa foi superior nos galhos, seguida de madeira do fuste, casca, folhas e miscelânea.

Rezende *et al.* (2006), em um estudo comparando modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e carbono no Cerrado *sensu stricto*, encontraram, para essa tipologia florestal, 9,85 t.ha<sup>-1</sup> de biomassa seca. Valores similares, 12,4 t.ha<sup>-1</sup> foram revelados por Vale e Felfili (2005) para essa mesma tipologia florestal.

Melo e Durigan (2006) estudando reflorestamentos ciliares no sudoeste paulista, com idades entre 1 e 28 anos em diferentes tipos de solos, encontraram estoques de carbono na parte aérea das árvores variando entre 0,6 e 149,0 tC.ha<sup>-1</sup>.

Na Floresta Amazônica, Fearnside (1994) encontrou valores para o estoque de carbono de 147 tC.ha<sup>-1</sup>. Santos (2004), em sistemas agroflorestais, encontrou valores parecidos 134 tC.ha<sup>-1</sup> em um estudo realizado em uma área de várzea do rio Juba no município de Cametá – Pará.

Estudos realizados por Higuchi *et al.* (1998), por exemplo, mostraram que em diferentes simulações com várias intensidades de amostragem, os quatro modelos estatísticos testados no experimento estimaram eficientemente a biomassa, com variação de apenas 5%, concluindo que do peso total de uma árvore, 65,6% e 34,4% correspondem ao tronco e à copa, respectivamente, e a contribuição de cada compartimento da árvore em seu peso total é de 65,6% para o tronco, 17,8% para galho grosso, 14,5% para galho fino, 2,03% para folhas e 0,01% para flores/frutos.

Soares e Oliveira (2002), ao analisarem as estimativas médias de carbono presentes nos fustes, nos galhos e nas folhas de árvores de eucalipto, concluíram

que em seu estudo o fuste sem a casca representava a parte aérea da árvore com maior quantidade de carbono (83,24%), seguido dos galhos (6,87%), da casca (6,62%) e das folhas (2,48%). Adicionalmente, verificaram uma nítida tendência no aumento da quantidade de carbono, em todas as partes das árvores, com o aumento do tamanho das árvores.

Para plantações de *Acacia mearnsii* com 6 anos, foram encontrados os seguintes resultados quanto ao carbono acumulado dos compartimentos folhas, galhos mortos, galhos vivos, casca, madeira e raízes, 3,43; 1,38; 6,29; 3,01; 36,63 e 5,02 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CALDEIRA b, *et al.*, 2003).

Em linhas gerais, estudos para estimativa da biomassa acumulada pelas florestas vêm despertando interesse de muitos autores, já que esta prerrogativa interfere diretamente no armazenamento de CO<sub>2</sub> estocado. Porém muitas determinações de biomassa e carbono em florestas vêm sendo realizadas sem reflexão, o que interfere diretamente nas estimativas e, segundo Sanquetta (2002), deve haver um questionamento sério para a validade das estimativas de biomassa e carbono.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE COLETA DOS DADOS

As áreas de coleta de dados para este estudo estão localizadas na região do Médio Paranapanema, situada na porção sudoeste do Estado de São Paulo especialmente nos municípios de Assis e Tarumã. Caracteriza-se por apresentar solos profundos, argilosos ou de textura média, relevo suave ondulado, com uso predominante para culturas anuais e de cana-de-açúcar (MELO, 2006).

Segundo o sistema da classificação de Köppen, em toda a área de estudo o clima da região é do tipo Cfa, ou seja, mesotérmico com temperaturas inferiores a 18°C nos meses mais frios e de 22°C nos meses mais quentes, sujeito a geadas esporádicas. A precipitação média anual é de 1350 mm (SILVEIRA, 2001).

A vegetação original da região, segundo Veloso *et al.* (1991) é classificada como Floresta Estacional Semidecidual caracterizada pela perda parcial das folhas durante a estação seca. Ocasionalmente há presença de manchas de Cerrado na região de estudo.

Para este estudo, os locais escolhidos para a obtenção dos dados são provenientes de plantios de restauração florestal, principalmente ao longo dos trechos de rios, de propriedade do Instituto Florestal de São Paulo e proprietários particulares da região. Esses plantios tiveram como objetivo recuperar áreas degradadas, para isso, foi proposto diversos arranjos espaciais que contaram com inúmeras espécies vegetais nativas da região. A localização dos plantios florestais é apresentada na FIGURA 1 e a descrição de cada área onde foram coletados os dados é apresentada no QUADRO 1.



FIGURA 1 – MAPA DA REGIÃO DE ESTUDO – ESTADO DE SÃO PAULO, COM A LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ONDE OS DADOS DE BIOMASSA E INVENTÁRIO FLORESTAL FORAM COLETADOS

FONTE: Adaptado IBGE (2008)

Área	Tipologia florestal	Localização UTM	Município	Idade (anos)	ÁREA APROXIMADA (ha)	SOLO	V% <sup>(1)</sup>
Obara	Floresta Estacional	538317 7478478	Tarumã (SP)	6	0,5	Associação Latossolo Roxo + Terra Roxa Estruturada, ambos Eutróficos.	76
FEA - Palmitalzinho	Cerrado	-----	Assis (SP)	6	1,1	Latossolo Vermelho-escuro Álico	39
FEA – Talhão	Cerrado	-----	Assis (SP)	5	1,3	Latossolo Vermelho-escuro Álico	39
Canaã	Floresta Estacional	538043 7477166	Tarumã (SP)	7	1,0	-----	---
Canaçu	Floresta Estacional	542591 7478941	Tarumã (SP)	17	0,6	Latossolo Roxo Eutrófico	68
Canatuba	Floresta Estacional	545117 7486632	Tarumã (SP)	8	2,3	Associação Latossolo Roxo + Terra Roxa Estruturada, ambos Eutróficos	76
Novo Destino A	Floresta Estacional	548601 7483790	Tarumã (SP)	12	1,0	Podzólico Vermelho Escuro Distrófico	69
Novo Destino B	Floresta Estacional	548143 7482526	Tarumã (SP)	14	1,0	Associação Latossolo Roxo + Terra Roxa Estruturada, ambos Eutróficos	76
Santa Águeda	Floresta Estacional	538562 7474116	Tarumã (SP)	17	0,8	Associação Latossolo Roxo + Terra Roxa Estruturada, ambos Eutróficos	76

(1) Valor médio de saturação de bases obtido na camada superficial dos solos (BOGNOLA *et al.*, 2003)

QUADRO 1 – DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE REFLORESTAMENTOS CILIARES AMOSTRADAS NO MÉDIO VALE DO PARANAPANEMA PELO INVENTÁRIO FLORESTAL, EM 2007

### 3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS – UNIDADES AMOSTRAIS

A FIGURA 2 ilustra as etapas para a obtenção dos dados, as quais serão detalhadas posteriormente.



FIGURA 2 – ETAPAS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE BIOMASSA E CARBONO

#### 3.2.1 Amostragem da biomassa

Os dados para os ajustes das equações para estimar a biomassa e o carbono florestal vieram de uma amostragem aleatória levando em consideração a variação de espécies e o diâmetro, sendo constituída de 107 árvores de 44 espécies encontradas em plantios de restauração localizados em áreas de Floresta Estacional Semidecidual e de Cerrado. As espécies amostradas nesse estudo foram: *Acacia polyphyla* D.C., *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg., *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Astronium graveolens* Jacq., *Bauhfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl., *Calophyllum brasiliense* Cambess., *Casearia sylvestris* Sw., *Cecropia pachystachia* Trécul, *Cedrela fissilis* Vell., *Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth.,

*Chorisia speciosa* St.-Hill., *Colubrina glandulosa* Perkins, *Copaifera langsdorfii* Desf., *Cordia ecalyculata* Vell., *Croton floribundus* (L.) Spreng., *Croton urucurana* Baill., *Cupania vernalis* Camb., *Cyclobium vecchi* A. Samp. Ex Hoehne., *Cytharexylum myrianthum* Cham., *Dipteryx alata* Vogel, *Enteroplobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Ficus guaranitica* Chodat, *Genipa americana* L. *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabeira, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Helietta apiculata* Benth., *Heliocarpus popayanensis* Kunth., *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang., *Inga uruguensis* Hook. e Arn., *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Myroxylon peruiferum* L. F., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Plathymenia reticulata* Benth., *Platypodium elegans* Vogel, *Psidium guajava* L., *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake, *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo, *Tabebuia ochraceae* (Cham.) Standl., *Tapirira guianensis* Aubl., *Terminalia glabrescens* Mart., *Triplaris brasiliensis* Cham., *Vitex montevidensis* Cham., *Zanthoxylum rhoifolium* Lam.

Com 44 espécies selecionadas, amplitude diamétrica da amostragem de 5 a 60 cm de diâmetro e idades variando entre 5 e 36 anos, foi contemplado variações de espécies, ritmos de crescimento e idades.

Para obtenção da biomassa seca, e do peso de carbono de cada componente os trabalhos foram divididos em duas etapas distintas apresentadas a seguir:

### CAMPO

Todas as árvores amostradas foram selecionadas levando em consideração a qualidade e vitalidade das mesmas, de modo a identificar o indivíduo que representasse as características médias das espécies. As árvores selecionadas como amostra sempre deveriam estar distantes uma das outras em pelo menos 100m, e não estar danificada por fator físico ou patológico. Enfim, as árvores eleitas deveriam sempre ter o padrão típico florestal representativo de sua população.

#### - *Mensuração das variáveis de interesse*

Depois de eleito o indivíduo, o primeiro passo foi realizar a mensuração das circunferências a 1,30 cm a partir do solo (FIGURA 3).

Para facilitar o posterior processo de escavação das raízes (FIGURA 3) foi realizada a limpeza do solo na base de cada indivíduo dentro de uma área de marcação previamente especificada.

As derrubadas das árvores foram realizadas com o auxílio de um trator, sendo amarrado um cabo de aço na parte de cima do fuste e puxado pelo trator. Após a derrubada mediu-se a altura total com uma trena de fibra.

- *Separação e pesagem dos compartimentos*

O processo de separação dos compartimentos iniciou-se logo após a derrubada das árvores. No corte, separação e pesagem das diferentes frações das árvores utilizaram-se a técnica de dissecação completa. Assim, a biomassa foi segmentada nos seguintes compartimentos: folhagem, galhos, fuste, casca e raízes.

Na separação dos compartimentos foi considerado como fuste, o tronco principal até o início da formação dos galhos; para a folhagem considerou-se um diâmetro mínimo de 1 cm; e as raízes escavadas até um diâmetro mínimo de 1 cm.

O peso verde dos compartimentos foi utilizado com um dinamômetro com precisão de 50g. Em cada árvore-amostra recolheram-se e pesaram-se amostras de cada compartimento (FIGURA 4);

- 1 amostra a 50 cm acima da base da árvore;
- 1 amostra a 50 cm abaixo do Ponto de Inversão Morfológica;
- 1 amostra na metade do fuste (50% da altura do fuste);
- 1 amostra dos galhos;
- 1 amostra da folhagem;
- 1 amostra de raízes.

Para as amostras 50 cm acima da base da árvore, 50 cm abaixo do Ponto de Inversão Morfológica e na metade do fuste, foram retirados discos de aproximadamente 10 centímetros de espessura. Como se pode observar na FIGURA 5, de cada disco foi removido uma porção de aproximadamente 1.000 gramas.

A amostra constituída dos galhos continha fragmentos de galhos grossos médios e finos, assim como a amostra constituída de raízes, continha fragmentos de

raízes grossas, médias e finas num total de aproximadamente 500 gramas para cada amostra.

A amostragem da folhagem continha folhas do terço inferior, médio e superior da copa das árvores num total de aproximadamente 300 gramas.

Logo após a coleta das amostras, todas foram pesadas em balança digital com precisão de 0,1 grama, a fim de obter o peso da mesma com sua umidade natural (FIGURA 5). Este procedimento é parte fundamental da metodologia para **determinação da biomassa**, pois pela diferença entre o peso seco e o peso verde pode ser calculado o teor de matéria seca de cada compartimento.

$$\text{Teor de matéria seca} = (\text{Peso seco} / \text{Peso verde}) * 100.$$

Para maior confiabilidade dos resultados, os respectivos pesos das amostras foram sempre tomados no mesmo período (manhã/tarde) em que as árvores foram cortadas.



FIGURA 3 - MEDIÇÃO DOS DIÂMETROS E ESCAVAÇÃO DAS RAÍZES



FIGURA 4 - SEPARAÇÃO E PESAGEM DOS COMPARTIMENTOS



FIGURA 5 - RETIRADA E PESAGEM DE AMOSTRA

### LABORATÓRIO

#### *- Preparação e secagem do material*

O material procedente de campo foi preparado de modo a satisfazer normas pré-estabelecidas para secagem, ou seja, primeiro as amostras de campo foram identificadas e acondicionadas em sacos de papel para que fosse extraída toda a umidade existente na amostra. A seguir o material foi secado em estufa com circulação de ar forçada a uma temperatura média de 75°C até peso constante, o que indicou que a amostra estava satisfatoriamente seca (FIGURA 6).

Após o material atingir o peso constante, foi realizado a pesagem dessas amostras para se obter o teor de umidade e a quantidade de matéria seca existente nas amostras. As amostras secas foram picadas manualmente com auxílio de um formão e triturado em moinho de facas, de tal modo que no final do processo fossem obtidas amostras secas e moídas, na quantidade de aproximadamente 10 gramas para análise do carbono (FIGURA 7).

#### *- Determinação do teor de carbono*

As determinações de carbono orgânico de tecido vegetal foram realizadas no analisador de carbono da marca LECO, modelo C-144, específico para tal finalidade. A metodologia empregada pelo equipamento é o de combustão, onde a amostra (100 mg) é submetida à temperatura de 1.000°C por cerca de 60 segundos, tempo suficiente para que o aparelho realize a análise e registre, automaticamente, o resultado do teor de carbono do material analisado.

A transformação da biomassa seca em carbono orgânico foi realizada pelo resultado da multiplicação do peso da biomassa seca pelo teor de carbono contido em cada compartimento. E a transformação do carbono orgânico para  $\text{CO}_2$  foi realizada por estequiometria.



FIGURA 6: FRACIONAMENTO E SECAGEM DAS AMOSTRAS



FIGURA 7: AMOSTRAS PRONTAS PARA ANÁLISE E O ANALISADOR DE CARBONO LECO C-144

### 3.2.2 Inventário florestal

Conforme definido por Péllico Netto e Brena (1997), “Inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada”. Desse modo, o inventário florestal foi realizado nos mesmos plantios florestais onde se desempenhou a amostragem de biomassa e carbono a fim de se conhecer quais são os estoques de biomassa e carbono existentes naquelas florestas.

Para o inventário florestal, foram instaladas 53 parcelas em formato linear sendo 6 parcelas na Fazenda Palmitalzinho, 7 na Fazenda Talhão, 6 na Fazenda Canaã, 6 na Fazenda Canaçu, 7 na Fazenda Canatuba, 5 na Fazenda Obara, 6 na Fazenda Sta Ágüida e 10 na Fazenda Nova Destino. Em cada parcela eram medidas as primeiras 25 árvores levando-se em consideração a mortalidade. A intensidade de amostragem foi de aproximadamente 8,28%, ou 5,5 parcelas por ha. Em todas as fazendas os espaçamentos eram de 2 x 3 m ou 2 x 1,5 m. Dessa forma obteve-se uma área de 150 m<sup>2</sup> ou de 112,5 m<sup>2</sup> para cada parcela amostrada. Todas as árvores tiveram seu DAP (diâmetro à altura do peito) e altura total mensurada e anotada em ficha de campo para subsequente processamento dos cálculos dendrométricos. Todos os cálculos foram realizados no programa Excel da empresa Microsoft.

### 3.2.3 Estratificação dos dados

Na expectativa de se alcançar melhores resultados foi realizada a estratificação dos dados. A estratificação consistiu em separar os dados de todas as espécies amostradas em: espécies de crescimento rápido, espécies de crescimento médio e espécies de crescimento lento. Após iniciarem-se os ajustes, adicionalmente, optou-se em realizar ajustes para árvores com diâmetro menor que 10 cm devido à ocorrência de valores negativos para estimativa de biomassa e carbono nesses diâmetros. Com isso obtiveram-se novos bancos de dados sendo, 107 observações compondo um banco de dados total, 41 observações compondo as espécies de rápido crescimento, 43 observações compondo as espécies de médio crescimento, 23 observações compondo as espécies de lento crescimento, e 22 observações com árvores de até 10 cm de diâmetro.

Para classificar a grande maioria das espécies em ritmo de crescimento, foi adotada a classificação realizada por Durigan (2004) em trabalhos realizados para a região. As demais espécies que não foram encontradas nesse trabalho tiveram sua classificação tomada de outras fontes.

### 3.2.4 Análise exploratória dos dados – Detecção de dados discrepantes

Sobre a base de dados final foi realizada uma análise exploratória dos dados para detectar a presença de dados discrepantes (*outliers*). Levando em consideração que os dados são advindos de um plantio com múltiplas espécies, e que, estas têm comportamentos muito diferentes entre si no que se refere aos aspectos ecológicos, para este trabalho, apenas seria rejeitado dados cujos valores fossem muito superior ou inferior ao restante das observações. Sendo assim, para a rejeição dos dados discrepantes foi considerado apenas um critério apontado por Regazzi e Leite (1993). Rejeitar quando for possível afirmar que houve erro de medição. Sendo assim, nenhum dado foi eliminado.

### 3.2.5 Variáveis dependentes e independentes

Foram estabelecidas quatorze variáveis dependentes, sendo que, sete decorrem de transformação logarítmica (QUADRO 2). Para as variáveis independentes procedeu-se em uma combinação entre 5 variáveis puras gerando no total 90 variáveis independentes combinadas e utilizadas para os ajustes dos modelos de regressão (QUADRO 3).

Variáveis dependentes Puras para biomassa e carbono		Variáveis dependentes Transformadas para biomassa e carbono	
$BS_{total}$	$PC_{total}$	$\ln BS_{total}$	$\ln PC_{total}$
$BS_{folhagem}$	$PC_{folhagem}$	$\ln BS_{folhagem}$	$\ln PC_{folhagem}$
$BS_{galhos}$	$PC_{galhos}$	$\ln BS_{galhos}$	$\ln PC_{galhos}$
$BS_{fuste}$	$PC_{fuste}$	$\ln BS_{fuste}$	$\ln PC_{fuste}$
$BS_{casca}$	$PC_{casca}$	$\ln BS_{casca}$	$\ln PC_{casca}$
$BS_{raízes}$	$PC_{raízes}$	$\ln BS_{raízes}$	$\ln PC_{raízes}$
$BS_{p.aérea}$	$PC_{p.aérea}$	$\ln BS_{p.aérea}$	$\ln PC_{p.aérea}$

BS = biomassa seca; PC = peso carbono; ln = logaritmo neperiano;

QUADRO 2 – VARIÁVEIS DEPENDENTES PURAS E TRANSFORMADAS UTILIZADAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO

<b>VARIÁVEIS INDEPENDENTES</b>					
Variáveis puras	Inversos e potências	Variáveis puras logaritmizadas	Inversos e potências logaritmizadas	Produtos cruzados	Produtos cruzados logaritmizados
<i>Dq</i>	$1/Dq$	$\ln Dq$	$\ln 1/Dq$	<i>Dq Dm</i>	$\ln DqDm$
<i>Dm</i>	$1/Dm$	$\ln Dm$	$\ln 1/Dm$	<i>Dq G</i>	$\ln DqG$
<i>G</i>	$1/G$	$\ln G$	$\ln 1/G$	<i>Dq Id</i>	$\ln DqId$
<i>Id</i>	$1/Id$	$\ln Id$	$\ln 1/Id$	<i>Dq h</i>	$\ln Dqh$
<i>h</i>	$1/h$	$\ln h$	$\ln 1/h$	<i>Dm G</i>	$\ln DmG$
	$Dq^2$		$\ln Dq^2$	<i>Dm Id</i>	$\ln DmId$
	$Dm^2$		$\ln Dm^2$	<i>Dm h</i>	$\ln Dmh$
	$G^2$		$\ln G^2$	<i>G Id</i>	$\ln GId$
	$Id^2$		$\ln Id^2$	<i>G h</i>	$\ln Gh$
	$h^2$		$\ln h^2$	<i>Id h</i>	$\ln Idh$
				$Dq^2 Dm$	$\ln Dq^2 Dm$
				$Dq^2 G$	$\ln Dq^2 G$
				$Dq^2 Id$	$\ln Dq^2 Id$
				$Dq^2 h$	$\ln Dq^2 h$
				$Dm^2 Dq$	$\ln Dm^2 Dq$
				$Dm^2 G$	$\ln Dm^2 G$
				$Dm^2 Id$	$\ln Dm^2 Id$
				$Dm^2 h$	$\ln Dm^2 h$
				$G^2 Dq$	$\ln G^2 Dq$
				$G^2 Dm$	$\ln G^2 Dm$
				$G^2 Id$	$\ln G^2 Id$
				$G^2 h$	$\ln G^2 h$
				$Id^2 Dq$	$\ln Id^2 Dq$
				$Id^2 Dm$	$\ln Id^2 Dm$
				$Id^2 G$	$\ln Id^2 G$
				$Id^2 h$	$\ln Id^2 h$
				$h^2 Dq$	$\ln h^2 Dq$
				$h^2 Dm$	$\ln h^2 Dm$
				$h^2 G$	$\ln h^2 G$
				$h^2 Id$	$\ln h^2 Id$

*Dq* = Diâmetro médio quadrático; *Dm* = Maior diâmetro; *G* = Soma das áreas transversais de uma árvore com mais de um fuste; *Id* = Idade; *h* = Altura total da árvore.

QUADRO 3 – VARIÁVEIS INDEPENDENTES PURAS, TRANSFORMADAS E COMBINADAS UTILIZADAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO

### 3.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

#### 3.3.1 Construção da matriz

Com o banco de dados constituído por 107 árvores, gerou-se um conjunto de variáveis que a partir das combinações e transformação das variáveis originais, resultou um total de 90 variáveis independentes que foram correlacionadas com as variáveis dependentes de peso seco da biomassa e peso de carbono fixado.

Com o objetivo de verificar a correlação entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes, foi construída a matriz de correlação linear simples entre as mesmas. Também conhecido como coeficiente de Pearson, o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) mede a intensidade da relação linear entre duas variáveis. O valor de  $r$  deve estar sempre entre -1 e +1, inclusive, e quanto mais próximo de +1 ou -1, mais alta é a correlação entre as variáveis e melhor poderá ser a qualidade de ajuste dos modelos matemáticos.

#### 3.3.2 Seleção das variáveis independentes

O conjunto de dados utilizados para os ajustes totalizou 107 repetições, ou seja, cada árvore foi considerada como sendo uma repetição. As variáveis a serem estimadas (variáveis dependentes) foram: Biomassa Seca total ( $BS_{total}$ ), Biomassa Seca da folhagem ( $BS_{folhagem}$ ), Biomassa Seca dos galhos ( $BS_{galhos}$ ), Biomassa Seca do fuste ( $BS_{fuste}$ ), Biomassa Seca da casca ( $BS_{casca}$ ), Biomassa Seca das raízes ( $BS_{raízes}$ ), e Biomassa Seca da parte aérea ( $BS_{p.aérea}$ ), e as variáveis independentes foram: Diâmetro quadrático (Dq), Diâmetro maior (Dm), Área basal (G), altura (h) e idade (Id).

Sendo:

BS = Biomassa seca medida em kg dos compartimentos referentes;

$Dq = \sqrt{d1^2 + d2^2 + d3^2 + \dots + dn^2}$ , conforme por Macdicken *et al.* (1991)<sup>4</sup>, citados por Lima (1994), onde d = número de fustes de cada árvore.

G = Soma das áreas transversais dos fustes de uma mesma árvore com base no DAP;

Dm = Maior diâmetro a 1,3m encontrado em uma mesma árvore, em cm;

h = Altura total da árvore medido com trena em m;

Id = Idade do plantio em anos.

Para a seleção das variáveis independentes foi adotado o resultado da matriz de correlação linear simples. Dessa forma todas as variáveis independentes que obtiveram maior correlação linear (sempre maior que 0,90) foram tomadas para os ajustes dos modelos. Posteriormente, essas variáveis foram utilizadas para ajustes de regressão linear por meio do processo *stepwise* utilizando-se o método de seleção “*forward*”.

### 3.4 ESTIMATIVA DO PESO SECO DA BIOMASSA E PESO DE CARBONO

Realizado as determinações de biomassa verde e seca, foram testados diversos modelos matemáticos capazes de realizar estimativas dessas variáveis a partir das outras variáveis de fácil obtenção.

A regressão linear simples e múltipla foi utilizada para o ajuste das equações. Para ajustar os modelos que utilizam mais de uma variável independente, foram realizadas regressões lineares múltiplas, que expressam a relação linear entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes. Adicionalmente foi utilizado o processo *Stepwise* para seleção das variáveis a serem incluídas no modelo, procedimento realizado automaticamente pelo programa estatístico.

---

<sup>4</sup> MACDICKEN, K. G.; WOLF, G. V.; BRISCOE, C. B. **Standard research methods for multipurpose tree and shrubs**. Arlington: Winrock International Institute for Agricultural Development/ICRAF, 1991, 92p.

### 3.4.1 Equações ajustadas

Inicialmente, para o banco de dados que continha todas as árvores, foram testados 22 modelos (ANEXO 7) contando com regressões lineares simples e múltiplas. A partir da estratificação dos dados, optou-se em escolher os dez melhores modelos para os demais ajustes, com base nos resultados de  $R^2$ , Syx% e análise gráfica dos resíduos. Dessa forma, todas as variáveis dependentes contaram com o ajuste dos 10 melhores modelos de regressão linear, sendo dois deles, obtidos pelo processo *stepwise*. Todas as equações foram ajustadas no programa STATGRAPHICS Plus 4.1, totalizando 580 ajustes de equações.

Para melhor visualização do procedimento dos ajustes, foi elaborado um organograma com a seqüência dos 580 ajustes de equações (FIGURA 8).



Nos QUADROS 4 e 5 constam os modelos selecionados para os ajustes de equações. São modelos tradicionais, em geral largamente testados para estimar volume e biomassa florestal. Os modelos gerados pelo processo *Stepwise* utilizando o método de seleção *Forward* são apresentados com seus respectivos coeficientes no item “Resultados”.

Nº	Utilizados por:	Equação
1	Schumacher - Hall	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln Dq + b_2 \ln h$
2	Spurr	$Y = b_0 + b_1 (Dq^2 h)$
3	Meyer	$Y = b_0 + b_1 Dq + b_2 Dq^2 + b_3 h + b_4 Dq^2 h$
4	Stoate	$Y = b_0 + b_1 Dq^2 + b_2 h^2 + b_3 Dq^2 h$
5	Higuchi & Carvalho Jr (1994)	$Y = b_0 + b_1 Dq + b_2 Dq^2 h$
6	Higuchi & Carvalho Jr (1994)	$Y = b_0 + b_1 Dq + b_2 Dq^2 + b_3 Dq^2 h$
7	Sanquetta et al. (2001)	$Y = b_0 + b_1 Dq^2 + b_2 Dq^2 h$
8	Naslund	$Y = b_0 + b_1 Dq^2 + b_2 Dq^2 h + b_3 Dqh^2 + b_4 h^2$
9	Forward (Stepwise)	
10	Forward (Stepwise) (log.)	

Y = BST (Biomassa Seca Total) ou CT (Carbono Total); ln= logaritmo neperiano

QUADRO 4 – MODELOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA SECA TOTAL E CARBONO TOTAL, POR RITMO DE CRESCIMENTO E PARA CADA COMPARTIMENTO

### 3.5 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS MELHORES EQUAÇÕES

Para a seleção das melhores equações ajustadas para fins de quantificação de biomassa e carbono, foram utilizados três critérios de verificação da qualidade dos ajustes: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em percentagem ( $Sy_x\%$ ), ambos recalculados para as equações onde a variável dependente sofreu transformação, e análise gráfica dos resíduos.

### 3.5.1 Coeficiente de Determinação Ajustado

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Este coeficiente é produto do coeficiente de correlação ( $r$ ), elevado ao quadrado, e pode variar entre  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Uma correlação perfeita entre as variáveis dependentes e independentes resultaria em  $R^2 = 1$ , e uma correlação muito boa resulta em um valor próximo de 1. Uma correlação muito baixa resulta em um valor de  $R^2$  próximo de 0.

O coeficiente de determinação é dado pela expressão

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

onde:

$y_i$  = valor real de cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;

$\bar{y}$  = média aritmética real;

$n$  = número de observações.

Diante da necessidade de comparar equações com diferentes números de parâmetros utilizou-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o qual pondera o  $R^2$  pelos graus de liberdade da regressão (numerador) e dos graus de liberdade totais (denominador).

O  $R^2$  ajustado é calculado pela seguinte expressão matemática:

$$R^2_{aj} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) * \left( \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \right)$$

onde:

$R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;

$n$  = número de observações;

$p$  = número de coeficientes do modelo;

SQres = Soma de quadrados dos resíduos, calculados com a variável depende pura dos valores observados e estimados;

SQtot = Soma de quadrados total, calculados com a variável depende pura dos valores observados e estimados.

Nos modelos em que a variável dependente sofreu transformação logarítmica, fez-se necessário realizar o recálculo do coeficiente de determinação utilizando na fórmula a soma de quadrados dos resíduos recalculados, a fim de corrigir sua estimativa, uma vez que o mesmo não foi calculado a partir da variável pura. Nesses modelos o  $R^2$  recalculado foi realizado após fazer a correção da discrepância logarítmica.

### 3.5.2 Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ e $S_{yx}\%$ )

O erro padrão da estimativa é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, quanto menor o valor maior a precisão da equação, portanto na comparação entre equações segundo esse critério, aquela que apresenta o menor valor é considerada a melhor equação (SCHNEIDER, 1998). O erro padrão da estimativa foi obtido a partir da raiz entre a soma do quadrado médio do erro e a diferença entre o número de observações e o número de parâmetros de cada equação:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)}}$$

onde:

$y_i$  = valor real de cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;

$n$  = número de observações;

$p$  = número de coeficientes de cada equação, incluindo  $b_0$ .

Posteriormente o erro padrão da estimativa em percentagem, foi obtido pela fórmula:

$$Syx\% = \frac{Syx}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde:

$S_{yx}$  = erro padrão da estimativa;

$\bar{y}$  = média aritmética real da variável dependente.

Ao obter o erro padrão da estimativa em percentagem, também foi possível comparar equações com valores absolutos diferentes, pois ao estratificar os dados os valores absolutos também sofreram mudanças nos ajustes, no entanto, com Syx% é possível comparar essas equações e saber se a estratificação se faz necessário para melhorar a qualidade dos ajustes. Conseqüentemente essa estatística foi fundamental no momento onde se desejava comparar equações e atribuir o maior nível de qualidade para ajustes de biomassa e carbono, pois quanto mais baixo o valor de Syx% menor terá sido a dispersão dos pontos ao longo da linha de regressão, o que significa melhor qualidade do ajuste.

De acordo com Machado *et al.* (2002), para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação deve-se recalculer para a variável de interesse o erro padrão residual fornecido pelo programa estatístico, para que se possam comparar estatisticamente as equações.

Antes de se refazer o cálculo do Syx e Syx% para as equações onde a variável dependente sofreu transformação logarítmica, foi realizada a correção da discrepância logarítmica multiplicando o peso estimado de cada árvore pelo fator de correção de Meyer:

$$Fator\ de\ Meyer = e^{0,5Syx^2}$$

onde:

$e = 2,718281828$ ;

Syx = erro padrão da estimativa.

Por fim calculou-se o erro padrão percentual por meio da seguinte fórmula:

$$Syx\% = \frac{Syx}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde:

$Syx$  = erro padrão da estimativa (recalcado onde foi necessário);

$\bar{y}$  = média aritmética real da variável dependente.

### 3.5.3 Análise gráfica dos resíduos

Em uma regressão linear, a análise gráfica dos resíduos tem um papel muito importante para a apreciação da qualidade dos ajustes, pois com a utilização dessa ferramenta é possível visualizar possíveis tendências de sub-estimativas ou super-estimativas, tornando-se assim um instrumento fundamental na escolha da melhor equação.

A fim de se verificar possível existência de tendências realizou-se a análise gráfica de resíduos em percentagem. Segundo Draper e Smith (1980), a análise gráfica dos resíduos em sua forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada é a maneira mais adequada de se verificar possíveis tendências (super ou subestimativas) das estimativas em relação ao valor real ao longo da linha de regressão.

Espera-se como adequado que a equação produza resíduos independentes, média igual a zero e variância constante (DRAPER; SMITH, 1980). Os resíduos foram calculados a partir da seguinte expressão:

$$resíduo_i\% = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \cdot 100$$

onde:

$y_i$  = valor real para cada observação;

$\hat{y}_i$  = valor estimado para cada observação.

### 3.6 APLICAÇÃO DA MODELAGEM EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Um modelo, segundo a definição adotada por Sanquetta (1996), é uma representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais, como por exemplo: equações matemáticas de processos fisiológicos, figuras ou estátuas.

A aplicação de equações matemáticas de processos fisiológicos, neste caso, para as estimativas de biomassa e carbono, permitiram o conhecimento acerca dos estoques de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no oeste paulista. Para estimar a biomassa e o carbono nos reflorestamentos de restauração, foram utilizadas as equações com os melhores índices de ajuste estatísticos, ou seja, coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%), e análise gráfica dos resíduos.

Para a execução dos cálculos levou-se em consideração a área das parcelas e as características do plantio como o número de árvores e espaçamento. Para a escolha do melhor modelo levou-se em consideração a estratificação das espécies em ritmos de crescimento obedecendo aos critérios para a seleção das melhores equações. Atendendo a estas premissas, os cálculos foram realizados no programa Excel.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PERCENTAGENS DE BIOMASSA

#### 4.1.1 Percentuais de biomassa seca para o total das árvores, e para as espécies de crescimento rápido, médio e lento

O percentual médio de biomassa seca em cada compartimento para todas as árvores, e por ritmo de crescimento, é apresentado no GRÁFICO 1. Esses valores revelam diferenças em termos percentuais da biomassa seca contido em cada compartimento das árvores.

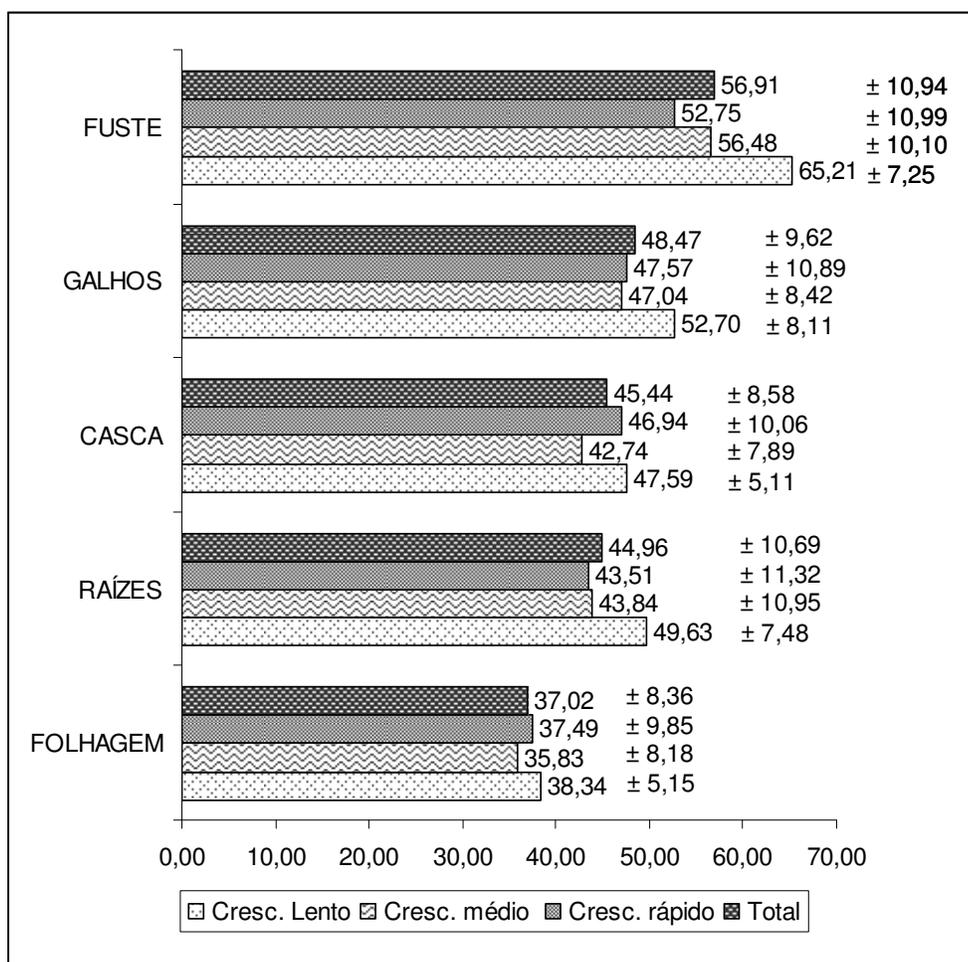


GRÁFICO 1 - PERCENTAGEM DE BIOMASSA SECA (%) EM CADA COMPARTIMENTO PARA O TOTAL DOS DADOS, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO (MÉDIA ± DESVIO PADRÃO).

Os resultados dos teores de biomassa seca para o total dos dados obedeceram a seguinte ordem decrescente: fuste (56,91%) > galhos (48,47%) > casca (45,44%) > raízes (44,96) > folhagem (37,02%). Após a estratificação dos dados em ritmos de crescimento, as determinações para biomassa seca mostraram extremos entre 52,75 e 65,21% para o fuste, 47,04 e 52,70% para os galhos, 42,74 e 47,59% para a casca, 43,51 e 49,63% para as raízes e 37,02 a 38,34% para a folhagem.

Alves (2007), ao quantificar a biomassa em clones de eucaliptos com aproximadamente 4 anos, encontrou para os compartimentos os seguintes percentuais: galhos (55,16%) > folhagem (54,33%) > casca (53,11%) > fuste (48,79%). Em *Araucaria angustifolia*, Watzlawick *et al.* (2003) encontraram, para biomassa seca, os seguintes percentuais: raízes (48,8%) > fuste (44,1%), ramos aciculados (44,0%), galhos (41,7%), casca (40,0%). Quando comparados esses resultados aos obtidos no presente estudo, percebeu-se que os compartimentos não seguem uma lógica, ou seja, que a percentagem de biomassa seca em cada compartimento pode ser variável em decorrência das características locais e da própria árvore. Valeri (1989) complementa, dizendo que a quantidade de biomassa varia em função das condições do povoamento, tais como: qualidade do sítio, altitude, fatores ambientais e silviculturais.

O compartimento com maior teor de biomassa seca foi o fuste com 65,21%, para as espécies de crescimento lento, o que pode ser atribuído dentre outras, a maior densidade que a madeira dessas espécies possui em relação às demais. O menor teor de biomassa seca foi encontrado no compartimento folhagem com 35,83% para as espécies de crescimento médio.

Conforme Bezerra Neto e Barreto (2004), o teor de umidade das plantas geralmente varia de uma espécie para outra e, dentro da mesma espécie, e de um compartimento para outro, bem como o estágio de desenvolvimento da planta, o caule (fuste) de plantas lenhosas apresenta cerca de 50% de umidade, sendo similar ao encontrado no presente estudo com 56,91%.

Para todos os compartimentos, as espécies de crescimento lento se mostraram mais eficientes para concentrar massa seca em sua biomassa, sendo mais evidente para o compartimento fuste. Já para os demais ritmos de crescimento não se observou qualquer tipo de tendência.

As análises dos resultados revelaram haver diferenças entre os teores de biomassa seca entre os grupos de espécies (ritmos de crescimento), sendo mais expressivas nos compartimentos fuste e galhos, com diferenças que chegaram até 12,46 pontos percentuais na comparação do fuste das espécies de crescimento lento com as de crescimento rápido. Para os demais compartimentos essas diferenças foram bem menos expressivas, sendo que no compartimento folhagem, por exemplo, essa diferença foi de apenas 2,51 pontos percentuais entre as espécies de crescimento médio e lento.

A estratificação dos dados em ritmos de crescimento se mostrou um artifício importante para se conhecer com mais exatidão o teor de biomassa seca nos diferentes compartimentos das árvores, sendo mais evidente para o fuste e para os galhos.

#### 4.1.2 Percentagem da biomassa seca em cada compartimento em relação ao total das árvores e para as espécies de crescimento rápido, médio e lento

A FIGURA 9 mostra o quanto a biomassa seca de cada compartimento do total das árvores, das espécies de crescimento rápido, médio e lento, representa em relação à sua biomassa total. Estes valores foram obtidos para cada compartimento individualmente por ritmo de crescimento, tomando-se como referência o peso total de cada árvore e fazendo a proporção por compartimento para todas as árvores amostradas.

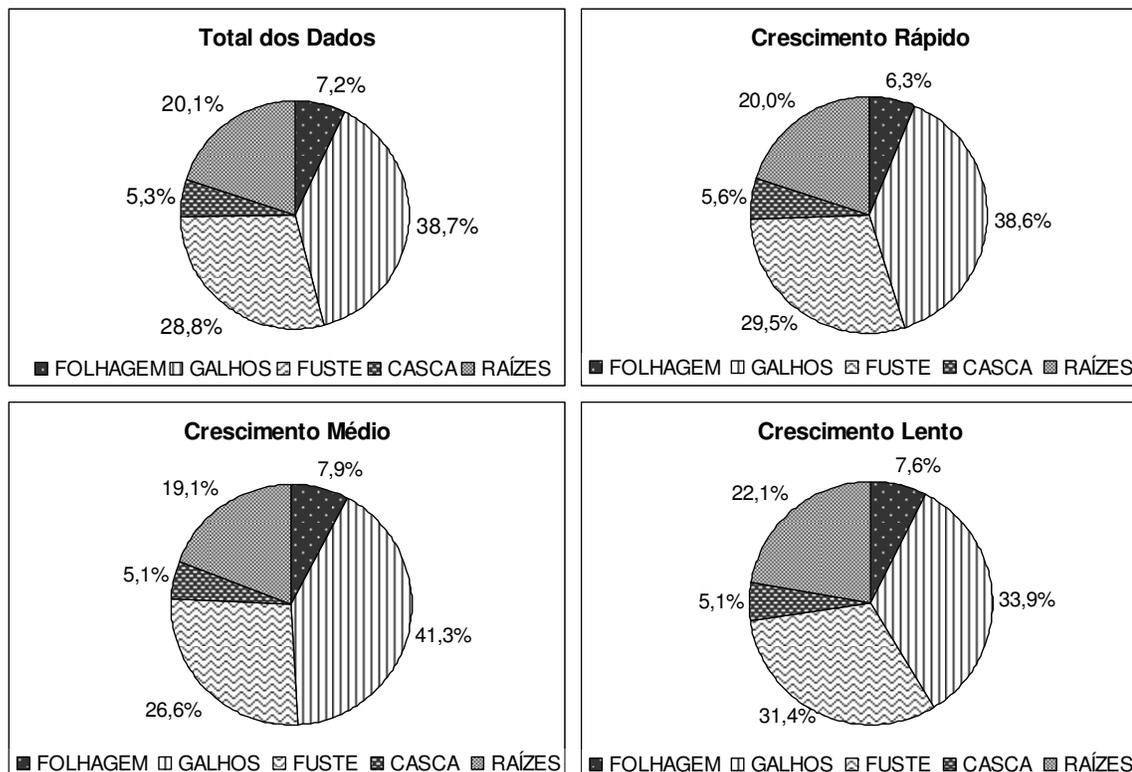


FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA BIOMASSA SECA DE CADA COMPARTIMENTO EM RELAÇÃO A SUA BIOMASSA TOTAL PARA O TOTAL DOS DADOS, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

Para o total dos dados, os resultados revelaram que, cerca de 67,5% da biomassa total das árvores estão concentradas nos compartimentos fuste e galhos, e que os demais 32,5% estão distribuídos entre os compartimentos raízes, folhagem e casca. O compartimento que mais contribuiu para alocação da biomassa nas árvores foram os galhos com 38,7%, seguido do fuste com 28,8%, raízes com 20,1%, folhagem com 7,2% e casca com 5,3%.

Os resultados deste estudo mostraram que 20,1% da biomassa das árvores está alocada nas raízes, revelando a importância desse compartimento na quantificação da biomassa florestal. Em trabalho de revisão realizado por Cairns *et al.* (1997), o compartimento raízes corresponde de 20 a 30% da biomassa de uma floresta.

Geralmente, segundo Curlin (1970)<sup>5</sup> citado por Watzlawick (2003), a biomassa acima do solo é distribuída na seguinte ordem: madeira do fuste > galhos > casca > folhas. No entanto, como se pode observar na Figura 9, para o total dos dados, os conteúdos de biomassa seca obedeceram a seguinte ordem decrescente: galhos (38,7%) > (28,8%) fuste > (20,1%) raízes > (7,2%) folhagem > (5,3%) casca. Esta diferença na alocação da biomassa entre os compartimentos em relação aos resultados se deve em parte, às características intrínsecas das espécies, como por exemplo, o ponto de inversão morfológica.

No entanto, Watzlawick (2003) encontrou valores semelhantes no Estado do Paraná, em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, onde a biomassa acima do solo em ordem decrescente foi: galhos vivos (45,01%) > madeira do fuste (40,53%) > casca do fuste (9,99%) > folhagem (2,40%) > galhos mortos (1,16%) > miscelânea (0,97%), não sendo quantificada a porção raízes.

Urbano (2007), estudando bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, encontrou valores para biomassa seca de 69,82% para o fuste, 11,51% para galhos > 4cm de diâmetro, 9,28% para galhos < 4cm, 5,57% para as folhas, 3,83% para os galhos mortos.

Com a estratificação dos dados em ritmos de crescimento os valores sofreram variações de 33,9 a 41,3% para os galhos, de 26,6 a 31,4% para o fuste, de 19,1 a 22,1% para as raízes, de 6,3 a 7,9% para as folhas e de 5,1 a 5,6% para a casca.

As análises dos resultados revelaram haver uma ligeira tendência das espécies de crescimento rápido e médio em acumular mais biomassa nos galhos em relação às espécies de crescimento lento. Uma das explicações para isso, é porque as espécies de crescimento lento alocam mais biomassa em outras partes da árvore como o fuste e as raízes. Devido ao maior teor de massa seca do fuste, somado ao sistema radicial mais desenvolvido, as espécies de crescimento lento possuem uma maior representatividade na biomassa total das árvores em relação aos demais ritmos de crescimento para esses compartimentos.

Embora a estratificação dos dados possibilite maior exatidão nas determinações de biomassa seca em diferentes ritmos de crescimento, os resultados

---

<sup>5</sup> CURLIN, J.W. Nutrient cycling as a factor in site productive and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T.; C.T.; DAVERY T. (Eds.) **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p.313-326

revelaram poucas diferenças no teor médio de biomassa seca em cada compartimento, sendo que a maior diferença foi detectada para os galhos entre as espécies de crescimento médio e lento com 41,3 e 33,9% respectivamente.

## 4.2 TEORES DE CARBONO

### 4.2.1 Teores de carbono para cada espécie

O Quadro 6 apresenta os teores de carbono orgânico encontrados para cada compartimento em cada espécie analisada. São apresentados os valores médios de cada espécie, e o desvio padrão da análise estatística das 107 árvores analisadas no total.

Espécie	n	Ritmo	Folhagem	Casca	Raízes	Fuste	Galhos	Total
<i>Acacia polyphyla</i> D.C.	1	M	44,76	39,10	38,88	41,39	41,49	41,29
<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg.	8	M	48,33 ± 1,28	46,87 ± 1,75	41,98 ± 0,95	41,72 ± 1,25	43,47 ± 0,55	44,03 ± 0,77
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan	5	M	44,98 ± 0,88	43,15 ± 2,08	41,81 ± 1,28	41,88 ± 0,99	41,59 ± 0,76	42,25 ± 0,66
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	1	M	42,55	39,17	39,87	38,70	40,14	39,38
<i>Baulfourdendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	3	M	42,19 ± 0,51	37,76 ± 5,12	40,22 ± 3,87	42,17 ± 0,35	41,82 ± 0,56	40,31 ± 1,33
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	2	M	45,13 ± 1,33	41,23 ± 2,92	41,26 ± 0,28	41,37 ± 0,31	43,09 ± 0,83	42,64 ± 1,51
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	1	M	41,89	37,05	40,86	42,10	41,05	40,32
<i>Cecropia pachystachia</i> Trécul	1	R	36,10	37,58	37,65	41,75	43,14	38,58
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	R	42,02	39,58	41,06	39,80	41,64	40,31
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. ex Benth.	1	L	41,54	39,22	40,93	41,63	41,22	40,44
<i>Chorisia speciosa</i> St. Hill.	3	M	38,23 ± 0,84	38,18 ± 1,41	37,62 ± 1,03	38,20 ± 1,05	40,48 ± 0,35	38,52 ± 0,34
<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	3	R	42,51 ± 1,10	40,33 ± 0,97	41,69 ± 0,89	41,70 ± 0,43	42,58 ± 0,48	41,18 ± 0,52
<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf	1	L	45,55	45,74	40,30	40,32	42,16	42,21
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	1	M	39,27	38,08	38,92	40,09	40,13	39,12
<i>Croton floribundus</i> (L.) Spreng.	2	R	42,55 ± 1,8	41,04 ± 1,44	41,14 ± 0,82	40,27 ± 0,66	42,82 ± 0,20	41,11 ± 1,02
<i>Croton urucurana</i> Baill.	3	R	41,81 ± 0,29	37,26 ± 0,65	40,00 ± 0,62	39,62 ± 1,2	40,90 ± 0,50	39,10 ± 0,55
<i>Cupania vernalis</i> Camb.	1	M	43,73	42,13	39,88	41,32	42,48	41,06
<i>Cyclobium vecchi</i> A. Samp. Ex Hoehne.	4	M	44,57 ± 0,39	42,84 ± 1,43	43,40 ± 0,49	42,08 ± 0,60	42,90 ± 0,27	42,98 ± 0,56
<i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham.	5	L	41,17 ± 0,40	40,58 ± 0,79	41,30 ± 0,70	40,33 ± 1,12	42,12 ± 0,75	40,74 ± 0,29
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	3	R	45,49 ± 0,19	41,77 ± 1,07	40,71 ± 0,57	43,09 ± 0,06	43,07 ± 0,65	41,82 ± 0,31
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	2	R	44,76 ± 0,76	41,26 ± 0,7	39,00 ± 3,17	41,22 ± 1,43	41,74 ± 1,59	40,61 ± 1,74
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	1	R	36,96	38,79	39,54	40,09	42,45	39,43
<i>Genipa americana</i> L.	1	M	40,75	36,68	39,65	38,93	39,01	38,21

QUADRO 5 – TEORES DE CARBONO NA MATÉRIA SECA DE 44 ESPÉCIES NATIVAS, PLANTADAS EM REFLORESTAMENTOS DE RESTAURAÇÃO NO MÉDIO VALE DO PARANAPANEMA, SP (MÉDIA ± DESVIO PADRÃO).

## Conclusão

Espécie	n	Ritmo	Folhagem	Casca	Raízes	Fuste	Galhos	Total
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabeira	2	L	42,13 ± 0,05	43,49 ± 1,74	41,26 ± 0,03	43,00 ± 0,12	42,80 ± 0,55	42,36 ± 0,62
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1	M	39,75	37,66	40,56	40,71	41,50	39,97
<i>Helietta apiculata</i> Benth.	1	L	40,39	36,43	41,10	41,73	41,66	39,65
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth.	3	R	40,08 ± 1,70	38,44 ± 0,67	37,49 ± 1,08	38,48 ± 0,05	41,50 ± 0,41	38,46 ± 0,36
<i>Hymenaea courbaril</i> var. <i>stilbocarpa</i> (Hayne) Lee et Lang.	1	L	45,21	40,86	38,67	38,40	42,28	40,56
<i>Inga uruguensis</i> Hook. e Arn.	3	M	42,73 ± 0,82	39,97 ± 0,81	40,18 ± 1,14	42,06 ± 0,79	42,23 ± 0,63	40,51 ± 1,08
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemao	5	M	41,74 ± 1,80	37,41 ± 4,76	37,86 ± 2,71	40,93 ± 1,41	41,50 ± 0,51	39,61 ± 1,13
<i>Myroxylon peruiferum</i> L. f.	2	M	43,32 ± 0,54	39,47 ± 0,87	40,50 ± 1,18	40,57 ± 1,45	41,70 ± 0,52	40,47 ± 0,46
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	2	L	43,84 ± 0,25	40,55 ± 1,23	41,68 ± 0,23	42,59 ± 0,31	42,83 ± 0,11	42,09 ± 0,23
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	5	M	45,00 ± 0,67	41,47 ± 0,93	41,03 ± 0,54	40,15 ± 0,24	42,27 ± 0,29	41,31 ± 0,53
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	5	L	46,25 ± 0,25	43,92 ± 1,18	41,65 ± 0,45	43,72 ± 0,85	42,98 ± 0,71	42,67 ± 0,52
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	4	R	45,42 ± 1,15	45,60 ± 0,75	41,42 ± 2,06	41,88 ± 0,61	42,93 ± 0,48	43,34 ± 0,54
<i>Psidium guajava</i> L.	1	L	41,29	36,17	39,98	38,49	42,26	39,58
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S. F. Blake	2	R	43,95 ± 0,54	40,80 ± 1,22	40,23 ± 0,18	39,59 ± 0,54	41,41 ± 0,44	40,71 ± 0,69
<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Toledo	4	R	42,85 ± 0,76	38,24 ± 1,44	40,72 ± 1,08	41,47 ± 1,76	41,66 ± 0,44	40,35 ± 0,9
<i>Tabebuia ochraceae</i> (Cham.) Standl.	1	R	39,85	41,47	42,31	39,64	42,41	41,32
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	3	M	42,04 ± 0,58	39,96 ± 1,29	40,11 ± 0,88	41,03 ± 1,42	41,77 ± 1,07	40,52 ± 0,48
<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	2	R	43,59 ± 0,55	40,38 ± 0,02	40,65 ± 0,14	40,83 ± 0,74	42,73 ± 0,13	41,36 ± 0,33
<i>Triplaris brasiliiana</i> Cham.	1	L	40,71	38,19	35,93	40,46	40,97	37,49
<i>Vitex montevidensis</i> Cham.	2	M	43,01 ± 0,70	37,59 ± 2,23	39,26 ± 3,77	41,31 ± 0,26	41,73 ± 0,86	39,01 ± 0,29
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	3	M	39,44 ± 0,75	38,93 ± 0,81	40,21 ± 0,49	39,39 ± 0,45	41,91 ± 0,32	39,62 ± 0,46

QUADRO 5 – TEORES DE CARBONO NA MATÉRIA SECA DE 44 ESPÉCIES NATIVAS, PLANTADAS EM REFLORESTAMENTOS DE RESTAURAÇÃO NO MÉDIO VALE DO PARANAPANEMA, SP (MÉDIA ± DESVIO PADRÃO)

Os teores médios de carbono para as espécies analisadas foram: 42,50% para a folhagem, 40,09% para a casca, 39,98% para as raízes, 40,82% para o fuste e 41,92% para os galhos:

O compartimento que contém maior teor de carbono foi a folhagem com 48,33% na espécie *Anadenanthera falcata* e com menor teor de carbono foi as raízes com 35,93% na espécie *Triplaris brasiliana*.

De uma forma geral não foram encontradas grandes diferenças nos teores de carbono entre as espécies dentro de um mesmo compartimento. Os resultados revelaram também que o ritmo de crescimento não afetou diretamente os teores de carbono, e que, as maiores diferenças são detectadas entre os compartimentos.

Os resultados de uma média ponderada, onde é levado em consideração o peso de cada compartimento em relação ao total da árvore, mostrou que para este estudo, os teores médios totais de carbono das árvores variaram entre 37,49% para a espécie *Triplaris brasiliana* e 44,03% para *Anadenanthera falcata*. Analisando seis espécies da Floresta Ombrofila Mista, Weber *et al.* (2006) encontraram os seguintes teores médios de carbono: 42,2% para *Myrsine ferruginea*, 41,8% em *Ocotea porosa*, 41,3% em *Ilex paraguariensis*, 41,0% em *Mimosa scabrella*, 40,7% em *Symplocos uniflora*, e 39,9% em *Styrax leprosus*.

A média geral do teor de carbono para as espécies analisadas neste estudo foi de 41,18%.

Rochadelli (2001), estudando a estrutura atômica de fixação de carbono em reflorestamentos de *Mimosa scabrella* (bracatinga), em idades de 1 a 7 anos de idade, concluiu que a espécie apresenta uma concentração de carbono que varia entre 40 a 45% da biomassa total de madeira com casca, valores semelhantes ao encontrados por Balbinot *et al.* (2003), sendo 40,0% para a casca e 45,7% para a madeira em *Pinus taeda*.

Para *Mimosa scabrella*, Urbano (2007) encontrou valores para os teores de carbono de 45,46% para as folhas, 44,69% para a casca, 44,13% para galhos < 4cm de diâmetro, 43,94% para galhos > 4cm de diâmetro e 43,68% para o fuste. Valores muito similares foram encontrados para o presente estudo, principalmente para *Plathymenia reticulata* com 46,25% para as folhas, 43,92% para a casca, 43,72% para o fuste e 42,98 para os galhos. Em *Araucaria angustifolia* também não foi muito diferente, segundo Weber *et al.* (2003) encontraram teores médios para o fuste

(44,1%), folhagem (44,0%), galho morto (42,9%), galho vivo (41,7%), raiz (40,5%) e casca (40,1%).

Em um estudo com *Pinus taeda*, espécie exótica de rápido crescimento, Balbinot *et al.* (2003) encontraram valores para o teor de carbono em 47% para as acículas, 45,7% para a madeira, 43,0% para os galhos e 40,0% para a casca. Em plantios com *Gmelina arborea* localizados na região litorânea do Estado do Paraná o teor de carbono para o fuste foi de 40,47%, segundo estudo realizado por Marcene *et al.* (2006). Para *Eucalyptus* sp., Alves (2007) encontrou 46,97% para o fuste, 38,95% para as folhas, 35,64% para a casca e 34,74% para os galhos.

Segundo a bibliografia consultada, em ambos os casos, tanto para espécies nativas como para espécies exóticas de rápido crescimento, os valores dos teores médios de carbono não tiveram grandes divergências do encontrado no presente estudo, embora cada espécie tenha suas distintas potencialidades para fixar carbono.

#### 4.2.2 Teores de carbono para o total das árvores, e para as espécies de crescimento rápido, médio e lento

O teor médio de carbono em cada compartimento para todas as árvores, e por ritmo de crescimento, é apresentado no GRÁFICO 2. Esses valores foram obtidos individualmente e revelam diferenças em termos percentuais do teor de carbono em cada compartimento das árvores.

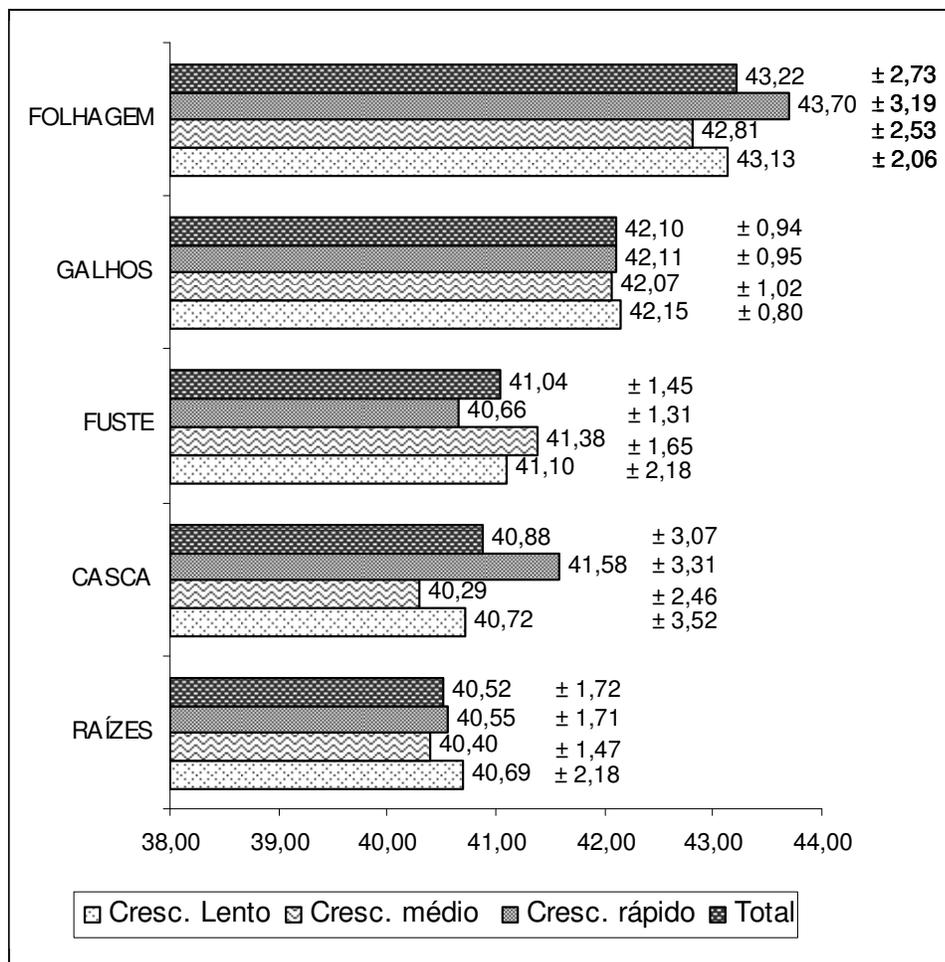


GRÁFICO 2 - TEOR DE CARBONO (%) EM CADA COMPARTIMENTO PARA O TOTAL DOS DADOS, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO (MÉDIA ± DESVIO PADRÃO).

Para o total dos dados, os teores de carbono variaram de um mínimo de 40,52% nas raízes a um máximo de 43,22% na folhagem para os demais compartimentos os valores foram de 40,88, 41,04 e 42,10% para a casca, fuste e galhos respectivamente. Entre todos os compartimentos, o que apresentou a maior concentração de carbono foi a folhagem, entretanto a capacidade de fixação de carbono também está diretamente ligada à quantidade de biomassa estocada em cada parte distinta da árvore.

Após a estratificação dos dados, os resultados das determinações de carbono apresentaram extremos entre 40,40 e 40,69% para a raiz, 40,29 e 41,58% para a casca, 40,66 e 41,38% para o fuste, 42,07 e 42,15% para os galhos e 42,81 a 43,70% para a folhagem.

Os resultados dos teores de carbono nos compartimentos para os diferentes ritmos de crescimento revelaram que a estratificação não se fez necessário, pois dentro de cada compartimento os teores de carbono foram pouco afetados pelos ritmos de crescimento. Dessa forma, as maiores diferenças foram detectadas entre os compartimentos.

#### 4.2.3 Percentagem de carbono em cada compartimento em relação ao total das árvores e para as espécies de crescimento rápido, médio e lento

A FIGURA 10 mostra a quantidade de carbono em cada compartimento para o total das árvores, para as espécies de crescimento rápido, médio e lento, em relação a quantidade total de carbono existente nas árvores. Da mesma forma que a biomassa seca, esses valores foram obtidos para cada compartimento individualmente por ritmo de crescimento, tomando-se como referência o peso total de carbono de cada árvore e fazendo a proporção por compartimento para todas as árvores amostradas.

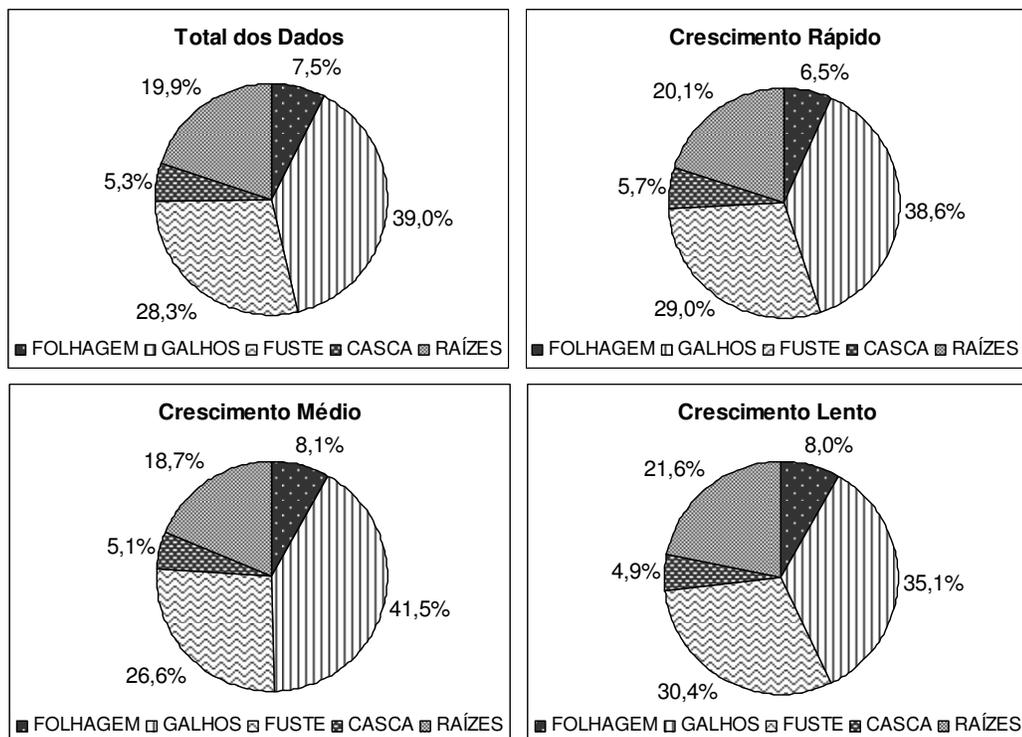


FIGURA 10 – ANÁLISE GRÁFICA DO PERCENTUAL DE CARBONO DE CADA COMPARTIMENTO EM RELAÇÃO AO TOTAL DO PESO DE CARBONO PARA O TOTAL DOS DADOS, ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

A fixação de carbono total acumulado nos compartimentos das árvores é o resultado da multiplicação do peso da biomassa pelo teor de carbono contido em cada compartimento.

Para o total dos dados, os resultados revelaram que, cerca de 67,3% do carbono total das árvores estão concentradas nos compartimentos fuste e galhos, e que os demais 32,7% estão distribuídos entre os compartimentos raízes, folhagem e casca. O compartimento que mais contribuiu para fixação de carbono nas árvores foi os galhos com 41,5%, isso porque os fustes das árvores eram relativamente baixos, o que favoreceu a concentração da biomassa nesse compartimento. Os demais compartimentos participaram com 26,6% de fuste, 18,7% de raízes, 8,1% de folhagem e 5,1% de casca.

Balbinot *et al.* (2003) verificaram que o fuste da espécie *Pinus taeda* é o compartimento que apresenta maior quantidade de carbono fixado com cerca de 44% do total seguido de 19% raízes, 17,5% acículas, 13,1% galhos e 5,6% casca. Esta diferença na alocação do carbono entre os compartimentos em relação aos resultados obtidos no presente estudo se deve a características intrínsecas da espécie *Pinus taeda*, isto é, para esta espécie, o fuste possui uma forma mais cilíndrica com pouca formação de galhos. O mesmo ocorreu com *Araucaria angustifolia*, conforme Watzlawick *et al.* (2003), onde a biomassa seca obedeceu aos seguintes percentuais: fuste (41,11%), casca (21,84%), ramo aciculado (6,93%), galho vivo (11,14%) e galho morto (1,13%), restando 17,62% para a biomassa subterrânea (raízes). Já em *Hevea brasiliensis* (seringueira), Carmo *et al.* (2003) encontraram para o carbono fixado a seguinte ordem decrescente: galho grosso (44%), > galho fino (25%) > fuste (22%) > folhagem (8,5%)

Dessa forma, pode-se afirmar que, a quantidade de carbono estocado nas diferentes partes das árvores, varia entre outros, principalmente em função da morfologia de cada planta.

A partir da estratificação dos dados em ritmos de crescimento, os valores dos teores de carbono tiveram variações entre 35,1 e 41,5% para os galhos, de 26,6 e 30,4% para o fuste, de 18,7 e 21,6% para as raízes, de 6,5 e 8,1% para a folhagem e de 4,9 e 5,7% para a casca.

Os resultados revelaram não haver grandes diferenças no estoque de carbono entre os ritmos de crescimento dentro e entre os compartimentos das árvores. Entretanto, assim como para a biomassa, os resultados detectaram

diferenças numéricas para uma ligeira tendência das espécies de crescimento rápido e médio em acumular mais carbono no compartimento galhos do que as espécies de crescimento lento.

Ainda que a estratificação dos dados permita um maior refinamento para as determinações de carbono em diferentes ritmos de crescimento, os resultados revelaram poucas diferenças no teor médio de carbono em cada compartimento, sendo que a maior diferença foi detectada para os galhos entre as espécies de crescimento médio e lento com 41,5 e 35,1% respectivamente.

#### 4.3 CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE AS VARIÁVEIS PURAS

A correlação linear simples entre as variáveis foi realizada com base nos dados obtidos das árvores em campo e das amostras em laboratório (biomassa seca e carbono). Após a análise exploratória dos dados para eliminação de possíveis valores discrepantes, procedeu-se a análise de correlação entre as variáveis de biomassa seca e carbono com as variáveis Diâmetro quadrático (Dq), Diâmetro maior (Dm), área basal da árvore (G), Idade (Id) e altura total (h).

Os resultados contaram com duas matrizes de correlação, uma para biomassa seca e outra para carbono. Cada matriz foi composta por 102 variáveis. Nos QUADROS 7 e 8, são apresentados os resultados da correlação linear simples entre as variáveis puras, ou seja, sem passarem pelo processo de transformação e de combinação.

VARIÁVEIS DEPENDENTES	VARIÁVEIS INDEPENDENTES				
	Dq	Dm	G	Id	h
BST TOTAL	0,840	0,852	0,913	0,554	0,797
BST FOLHAGEM	0,731	0,680	0,784	0,390	0,614
BST GALHOS	0,809	0,827	0,890	0,500	0,754
BST FUSTE	0,775	0,801	0,850	0,569	0,778
BST CASCA	0,771	0,785	0,833	0,570	0,758
BST RAÍZES	0,822	0,781	0,831	0,552	0,750
BST P. AÉREA	0,826	0,845	0,907	0,543	0,788

BST = Biomassa Seca Total

QUADRO 6 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES DE BIOMASSA SECA E AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

VARIÁVEIS DEPENDENTES	VARIÁVEIS INDEPENDENTES				
	Dq	Dm	G	Id	h
CT TOTAL	0,835	0,848	0,911	0,553	0,790
CT FOLHAGEM	0,726	0,678	0,786	0,395	0,612
CT GALHOS	0,807	0,825	0,890	0,501	0,750
CT FUSTE	0,772	0,800	0,849	0,572	0,773
CT CASCA	0,754	0,775	0,832	0,547	0,731
CT RAÍZES	0,822	0,786	0,834	0,557	0,751
CT P. AÉREA	0,820	0,840	0,904	0,542	0,780

CT = Carbono Total

QUADRO 7 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES DE CARBONO TOTAL E AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Os resultados da correlação linear para as variáveis na sua forma pura, revelaram que as variáveis dependentes e independentes apresentaram correlações entre 0,390 e 0,913. A maior correlação entre as variáveis dependentes e independentes foi obtida, entre a variável biomassa seca total e área basal da árvore, e a menor obtida entre a variável biomassa seca da folhagem e idade (QUADRO 7).

Profumo Aguiar (2006), ao utilizar as variáveis na sua forma pura em povoamentos de bracatingais nativos na região metropolitana de Curitiba, encontrou uma correlação de 0,837 para as variáveis área basal e volume. Spurr (1952)<sup>6</sup> citado por Profumo Aguiar (2006) também detectou tal associação para a espécie *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) com uma correlação de 0,949.

Para o fuste a maior correlação encontrada foi 0,850 utilizando a área basal da árvore. Urbano (2007) encontrou valores de 0,95 na correlação entre fuste e diâmetro a altura do peito em povoamentos de bracatingais nativos. Ainda utilizando o diâmetro, esse mesmo autor encontrou resultados de 0,82 para a folhagem e superiores a 0,80 para os galhos.

A variável idade apresentou uma correlação muito baixa com a variável dependente, razão que levou a buscar várias transformações com o objetivo de melhorar essas correlações. As demais variáveis também sofreram tais transformações.

---

<sup>6</sup> SPURR, S.H. **Forest Inventory**. New York: The Ronald Press Company. 1952, 476 p.

#### 4.4 AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA E DO PESO DE CARBONO (C) FIXADO

O conjunto de dados utilizados para os ajustes totalizou 107 repetições, ou seja, cada árvore foi considerada uma repetição. As variáveis a serem estimadas (variáveis dependentes) foram: Biomassa Seca total ( $BS_{total}$ ), Biomassa Seca da folhagem ( $BS_{folhagem}$ ), Biomassa Seca dos galhos ( $BS_{galhos}$ ), Biomassa Seca do fuste ( $BS_{fuste}$ ), Biomassa Seca da casca ( $BS_{casca}$ ), Biomassa Seca das raízes ( $BS_{raízes}$ ), e Biomassa Seca da parte aérea ( $BS_{p.aérea}$ ), e as variáveis independentes foram: Diâmetro quadrático (Dq), Diâmetro maior (Dm), Área basal (G), altura (h), idade (Id) e suas combinações. Dessa forma, foram ajustados 10 modelos para cada uma das variáveis dependentes. Como os modelos 9 e 10 não possuem uma variável independente fixa devido ao processo de seleção de variáveis (*stepwise*), para esses modelos, além dos coeficientes são apresentadas logo abaixo das tabelas, as respectivas variáveis independentes que compõem esses modelos.

##### 4.4.1 Ajustes para estimativa do total da biomassa e carbono para os dados totais, espécies de crescimento rápido, médio, lento e árvores <10cm de diâmetro

Para a estimativa da biomassa seca e carbono, a estratificação em ritmos de crescimento foi adequada, pois os ajustes com os dados estratificados melhoraram o desempenho dos modelos diminuindo o erro padrão da estimativa e aumentando o coeficiente de determinação, sendo assim, para se estimar a biomassa e carbono das árvores com maior qualidade de ajuste, a estratificação se mostrou eficiente.

Higuchi *et al.* (2004) também utilizaram uma estratificação em seus dados para a estimativa da biomassa na vegetação primária da Amazônia Central, onde os autores em sua metodologia separa as árvores em dois grupos sendo: árvores de 10 a 20 cm de diâmetro e árvores acima de 20 cm de diâmetro. Como uma forma de estratificação dos dados, Burger (2005) utilizou, para a realização da modelagem, os seguintes procedimentos: o primeiro utilizando a modelagem com todas as árvores (41), o segundo removendo um outlier (40), o terceiro com árvores abaixo de 6,0 cm

de diâmetro e o quarto com árvores acima de 20 cm de diâmetro. Assim como no presente trabalho, em ambos os casos os resultados foram satisfatórios.

De uma maneira geral, tanto os modelos para estimativa de biomassa como os de carbono obtiveram resultados muito semelhantes em relação aos índices de ajustes (Syx%,  $R^2$  e análise gráfica dos resíduos).

Nas TABELAS 1 a 10, são apresentados os coeficientes ajustados para cada equação para estimativa da biomassa seca e carbono para o total dos dados e por ritmos de crescimento, assim como fator de correção de Meyer para as logarítmicas e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono utilizando variáveis combinadas de diâmetro, idade e altura foram os modelos 10 ( $R^2=0,9541$  e Syx= 31,72%) e 9 ( $R^2= 0,9571$  Syx= 31,19%) respectivamente. Os resultados dos ajustes mostraram que houve uma variação no Syx% entre 30,06 e 71,37% e no  $R^2$  de 0,7778 e 0,9571.

Os ajustes deste estudo foram realizados com 44 espécies, no entanto a qualidade dos ajustes não destoou dos encontrados em trabalhos com uma única espécie, como é o caso do estudo realizado por Urbano (2007) em árvores de bracingais da região metropolitana de Curitiba – PR onde o autor ajustou 20 modelos sendo dois, obtidos pelo processo de seleção *stepwise*. Em seus ajustes, esse autor encontrou para a melhor equação de biomassa seca  $R^2= 0,960$  e Syx%= 22,736% e para as estimativas de carbono  $R^2= 0,962$  e Syx%= 22,14%, ambos utilizando variáveis combinadas de diâmetro e altura. Em plantios de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*, Sanquetta *et al.* (2003) também utilizaram a combinação das variáveis diâmetro e altura para estimar a biomassa e carbono, encontrando coeficiente de determinação acima de 0,90 e o erro padrão da estimativa abaixo de 10%.

Como é o caso do presente estudo, vários autores têm utilizado modelos matemáticos para estimativa da biomassa e do carbono em florestas que envolvem uma ampla variedade de espécies. Rezende (2006) encontrou resultados semelhantes para um estudo onde foram amostradas 174 árvores em uma área com vegetação típica do Cerrado *Senso Stricto*, e ao compararem modelos para estimativa de biomassa e carbono nessa vegetação, encontraram coeficientes de determinação acima de 0,93 e erro padrão da estimativa entre 25,03 e 28,09%.

Na floresta Amazônica, Higuchi *et al.* (1998) testaram 14 modelos para estimar a biomassa verde, tendo como resultados coeficiente de determinação entre 0,874 e 0,99. Ainda na Amazônia, Santos *et al.* (2001) testaram 17 modelos para estimativa da biomassa total, sendo que o melhor deles apresentou  $R^2 = 0,9751$ . Burger (2005) ao testar e desenvolver modelos com objetivo de estimar a biomassa da Mata Atlântica, encontrou valores para o coeficiente de determinação de 0,82 a 0,92 para os melhores modelos. Nos dois tipos de florestas, os valores para o coeficiente de determinação estão muito próximos dos encontrados para áreas de restauração florestal analisadas no presente estudo.

Analisando o gráfico de dispersão dos resíduos (FIGURAS 11 e 12), os modelos escolhidos no presente estudo apresentaram menores tendências que os demais, porém devem ser utilizados com cautela em árvores com diâmetros inferiores a 10 cm devido às baixas estimativas que, em alguns casos, podem resultar em valores negativos tanto para biomassa seca quanto para carbono. Nestes casos, onde os plantios possuem muitas árvores com pequenos diâmetros, sugere-se a aplicação dos modelos para árvores com diâmetros inferiores a 10 cm. Para esses modelos os índices de ajuste foram  $R^2 = 0,4127$  e  $Syx\% = 45,95\%$  para biomassa e  $R^2 = 0,3913$  e  $Syx\% = 47,09\%$ .

Após a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono para as espécies de crescimento rápido obtiveram para  $Syx\%$  e  $R^2$  resultados que variam entre 28,00 e 58,42% e 0,8785 e 0,9710, respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados revelaram valores entre 20,04 e 45,84% para  $Syx\%$  e 0,8562 e 0,9878 para  $R^2$ . Para as espécies de crescimento lento os valores foram de 12,46 e 23,19% para o  $Syx\%$  e de 0,9683 e 0,9909 para o  $R^2$ .

Os melhores modelos para estimativa do total da biomassa seca e carbono para as espécies de crescimento rápido, médio e lento foram respectivamente os modelos 9, 9 e 2 para a biomassa seca e 9, 10 e 10 para o carbono total. Sempre quando houve tendências muito fortes em super ou sub-estimativas por parte do modelo com os melhores indicadores estatísticos ( $Syx\%$  e  $R^2$ ), foi analisado e escolhido o modelo em que melhor os dados se ajustavam, de acordo com a análise gráfica dos resíduos. Portanto, no caso do modelo para estimativa de biomassa seca das espécies de crescimento lento, esse foi escolhido em função da análise gráfica

dos resíduos, assim como os modelos para carbono total das espécies de crescimento médio e lento.

As análises gráficas dos resíduos mostraram que a dispersão dos pontos manteve-se, em sua grande maioria, na faixa residual dos 100%, porém houve em alguns casos, pontos isolados que chegaram até 400%, revelando super ou sub-estimativas (FIGURAS 11 a 20).

TABELA 1 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA TOTAL PARA O TOTAL DOS DADOS E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	B <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-2,70205	1,63841	1,20481	-	-	1,077	0,9094	44,59
2	5,43567	0,0359465	-	-	-	-	0,9177	42,49
3	-34,1623	4,92889	0,218692	0,970921	0,0421405	-	0,9173	42,59
4	5,2114	-0,069118	0,174175	0,037933	-	-	0,9174	42,56
5	17,7008	-0,869451	0,0366757	-	-	-	0,9170	42,66
6	-32,6945	5,64542	-0,238179	0,042765	-	-	0,9181	42,39
7	19,2349	-0,079182	0,0397874	-	-	-	0,9178	42,46
8	-6,6554	-0,12526	0,0478919	-0,02611	0,636861	-	0,9169	42,71
9	-10,9293	-0,009982	0,0159518	511,77	0,0049168	-	0,9375	30,06
10	-2,07402	-0,0000094	0,000942267	1,27013	-	1,060	0,9541	31,72

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow BST = b_0 + b_1 Dq^2 Dm + b_2 Dq^2 Id + b_3 Gh + b_4 Id^2 Dm$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln BST = b_0 + b_1 Dm^2 Id + b_2 Dq Id + b_3 \ln Dqh$$

TABELA 2 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL PARA O TOTAL DOS DADOS E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-3,59289	1,65173	1,19272	-	-	1,083	0,9047	46,51
2	0,107543	0,0153481	-	-	-	-	0,9178	43,19
3	-7,38398	2,1792	-0,103731	-0,613959	0,0187293	-	0,9174	43,30
4	5,83112	-0,0415504	0,0215424	0,0171946	-	-	0,9176	43,23
5	11,0288	-0,774188	0,0159974	-	-	-	0,9175	43,28
6	-8,3121	1,72611	-0,091409	0,0183343	-	-	0,9182	43,09
7	7,56558	-0,042795	0,0174239	-	-	-	0,9184	43,03
8	-0,91018	-0,0734437	0,022852	-0,014833	0,284385	-	0,9173	43,32
9	-9,06007	214,017	-0,003428	0,00440131	-	-	0,9571	31,19
10	4,73936	0,000628125	0,780894	-	-	1,065	0,9102	45,31

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow CT = b_0 + b_1 Gh + b_2 Dq^2 Dm + b_3 Dq^2 Id$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln CT = b_0 + b_1 Dq Id + b_2 \ln Gh$$

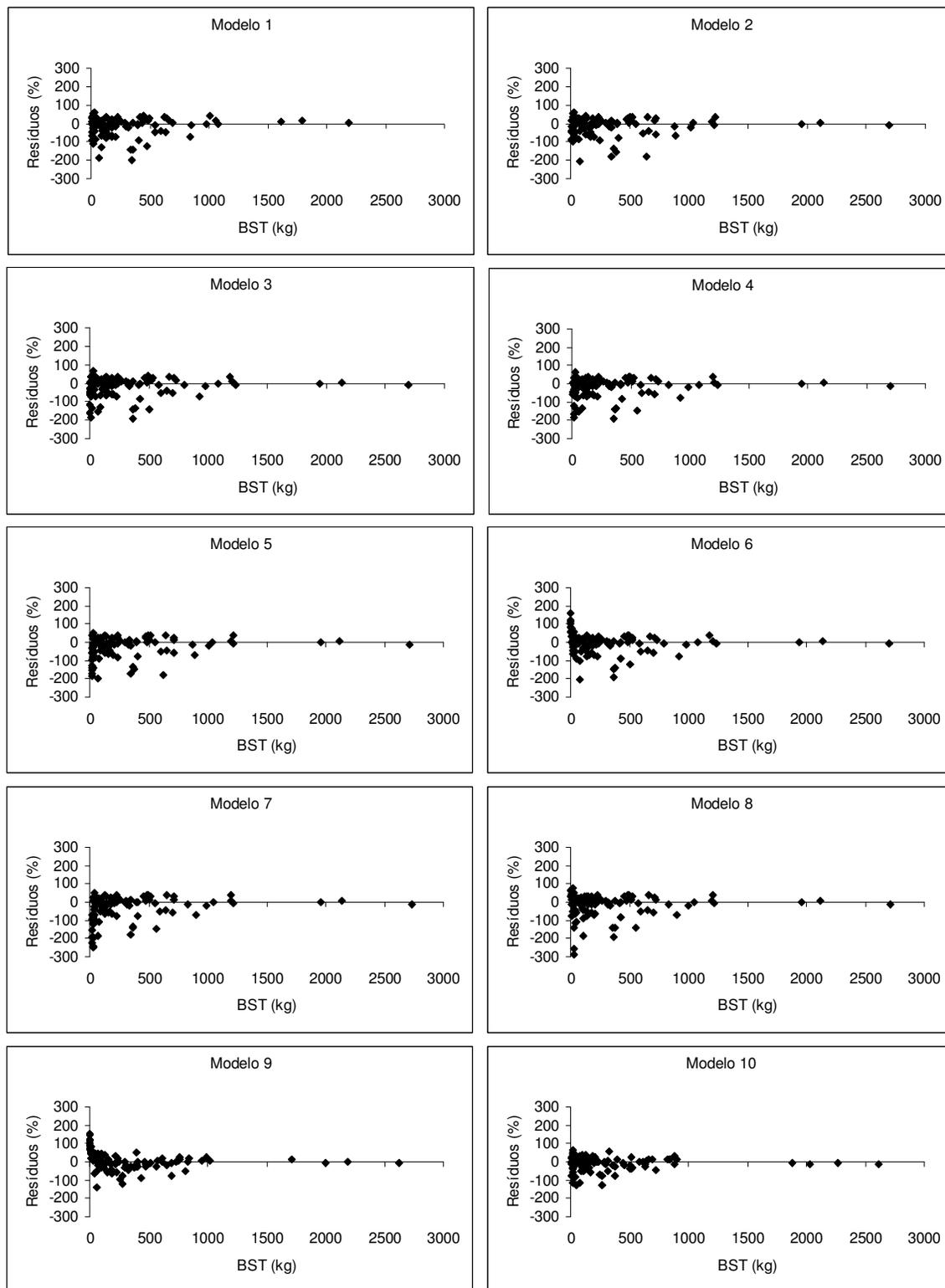


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA BIOMASSA SECA TOTAL PARA OS DADOS TOTAIS ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

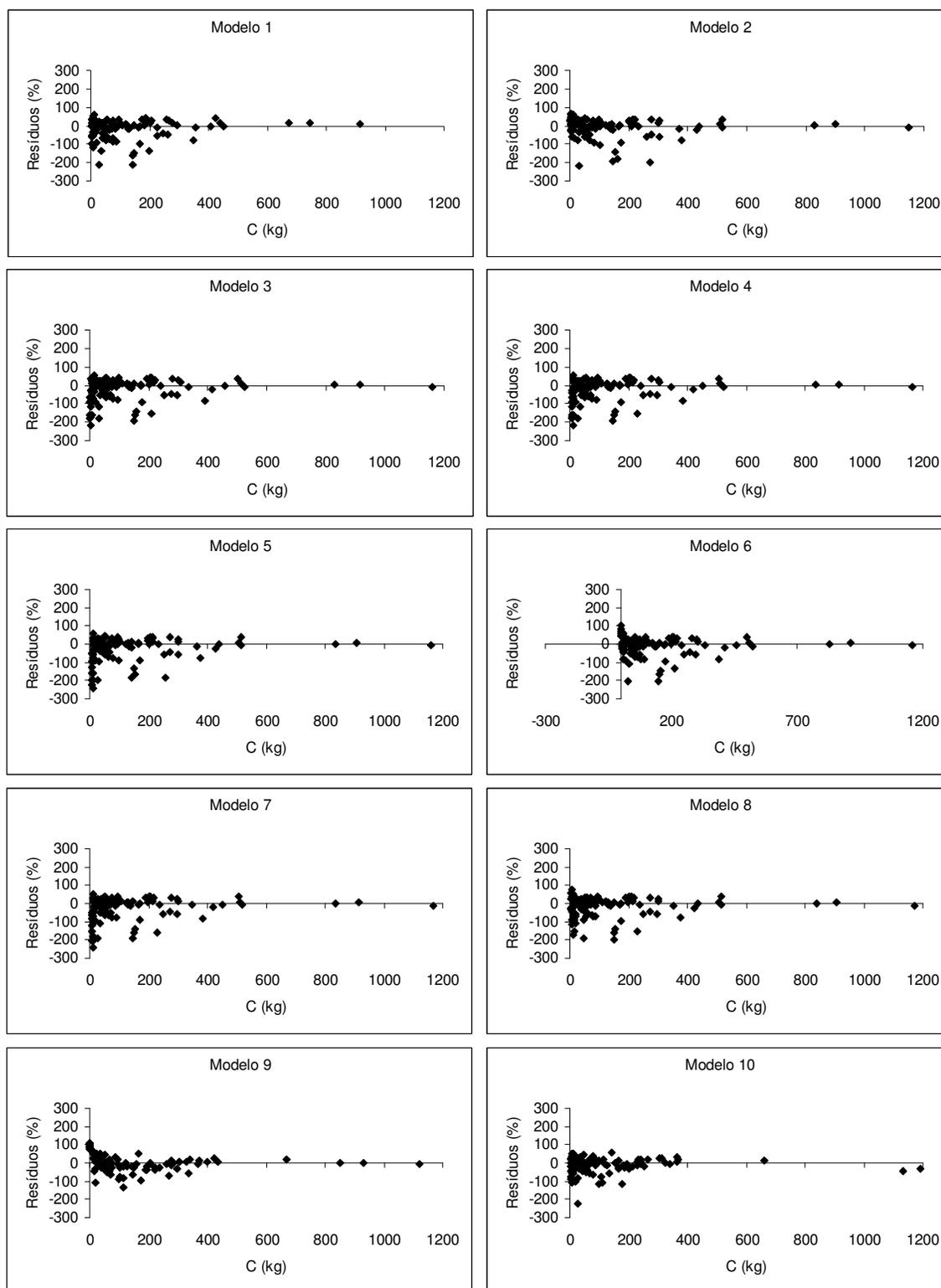


FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA CARBONO TOTAL PARA OS DADOS TOTAIS ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

TABELA 3 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-2,63354	1,64301	1,11309	-	-	1,072	0,9337	42,24
2	-26,4403	0,0343808	-	-	-	-	0,9641	31,07
3	86,5176	3,98218	- 0,244609	- 14,698	0,0462921	-	0,9662	30,18
4	45,6741	- 0,17908	- 0,523568	0,0462864	-	-	0,9671	29,77
5	61,9501	- 5,93977	0,0386163	-	-	-	0,9665	30,05
6	77,8717	- 8,03966	0,0793322	0,036553	-	-	0,9657	30,40
7	4,66253	- 0,16099	0,0416064	-	-	-	0,9653	30,56
8	68,2123	- 0,07215	0,0291017	0,045483	-1,4047	-	0,9668	29,89
9	-3,99732	353,976	0,0168609	-	-	-	0,9709	28,00
10	-1,03747	0,00286391	1,83393	-	-	1,068	0,9631	31,50

fc = fator de correção de Meyer

Modelo 9 Stepwise →  $BST = b_0 + b_1 Gh + b_2 ld^2 h$

Modelo 10 Stepwise →  $\ln BST = b_0 + b_1 G + b_2 \ln Dq^2 h$

TABELA 4 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-3,4906	1,65279	1,09078	-	-	1,079	0,8785	58,42
2	-14,425	0,014797	-	-	-	-	0,9613	32,97
3	47,4789	1,29583	- 0,099759	- 7,28272	0,0202191	-	0,9653	31,22
4	23,5975	- 0,088642	- 0,29164	0,0209299	-	-	0,9666	30,64
5	31,0008	- 3,05258	0,0169737	-	-	-	0,9650	31,36
6	43,1949	- 4,66086	0,0607596	0,0153934	-	-	0,9644	31,63
7	0,753086	- 0,078561	0,0183231	-	-	-	0,9630	32,22
8	30,5752	- 0,055535	0,0156097	0,0140813	0,564433	-	0,9660	30,91
9	-3,02985	145,866	0,00856095	-	-	-	0,9710	28,54
10	-1,51691	0,0014982	1,68616	-	-	1,070	0,8897	55,65

fc = fator de correção de Meyer

Modelo 9 Stepwise →  $CT = b_0 + b_1 Gh + b_2 ld^2 h$

Modelo 10 Stepwise →  $\ln CT = b_0 + b_1 Dqh + b_2 \ln Dq$

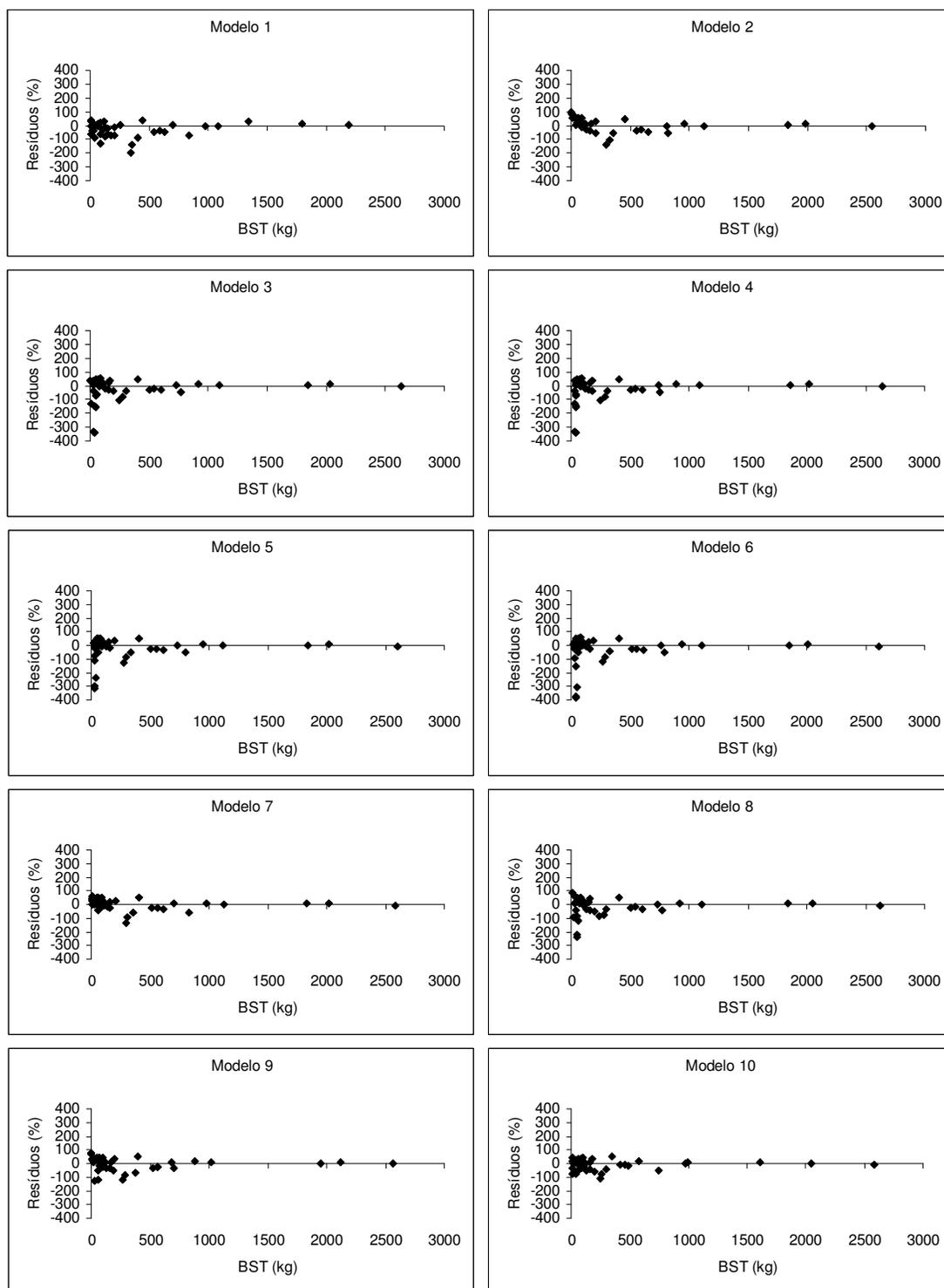


FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA BIOMASSA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

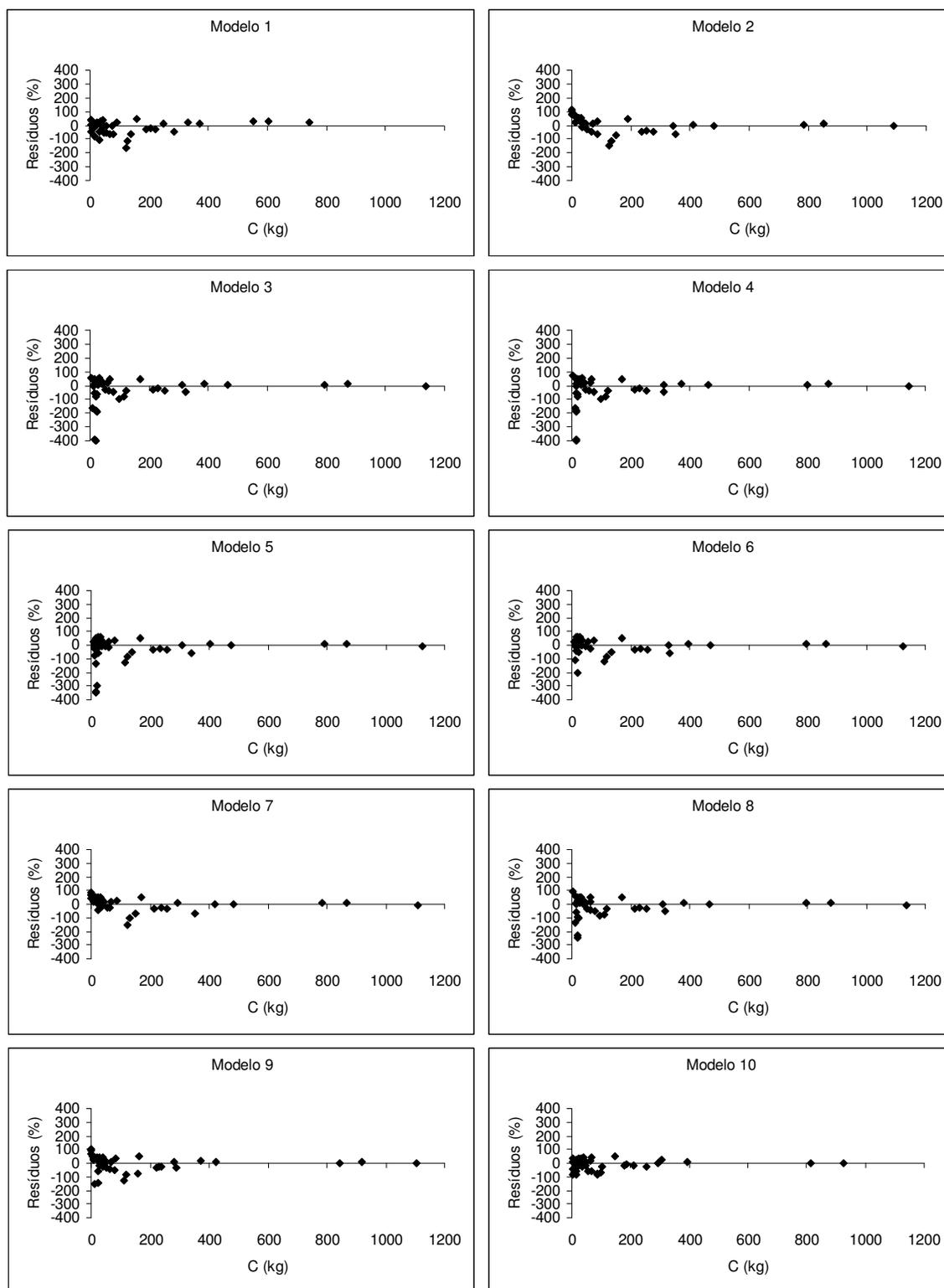


FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

TABELA 5 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MÉDIO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-3,2199	1,6085	1,46474	-	-	1,076	0,8562	45,82
2	-29,548	0,0430519	-	-	-	-	0,8615	44,98
3	58,9394	10,8132	- 0,757142	- 15,7804	0,0809173	-	0,8912	42,63
4	63,1015	- 0,51075	- 0,415946	0,0769179	-	-	0,8928	42,05
5	133,883	- 12,9123	0,0581054	-	-	-	0,8797	44,54
6	15,1774	0,850032	- 0,446473	0,0684823	-	-	0,8903	42,55
7	23,7081	- 0,42854	0,068412	-	-	-	0,8930	39,53
8	40,048	- 0,61591	0,0962903	- 0,05095	0,461124	-	0,8909	42,43
9	30,1977	-494,53	1346,73	24,563	-	-	0,9735	19,64
10	-0,3556	0,00385906	0,000651916	1,51608	-	1,062	0,9483	27,46

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow BST = b_0 + b_1 G^2 Dm + b_2 G^2 Id + b_3 h^2 G$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln BST = b_0 + b_1 h^2 + b_2 DqId + b_3 \ln Dq$$

TABELA 6 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MÉDIO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					f	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-4,14452	1,61745	1,47207	-	-	1,083	0,8512	46,83
2	-12,5502	0,0180347	-	-	-	-	0,8552	46,21
3	26,1041	4,97797	- 0,330652	- 7,28189	0,034413	-	0,8848	41,22
4	27,9515	- 0,217299	- 0,192417	0,0325782	-	-	0,8864	40,93
5	55,7067	- 5,3928	0,0243218	-	-	-	0,8730	43,27
6	5,91005	0,380447	- 0,187293	0,0286748	-	-	0,8833	41,47
7	9,72811	- 0,179269	0,0286435	-	-	-	0,8866	40,96
8	18,2	- 0,26178	0,0407726	- 0,021551	0,178579	-	0,8843	41,30
9	12,5279	- 214,646	584,089	10,1808	-	-	0,9727	20,04
10	-1,23797	0,0037757	0,000695783	1,51343	-	1,068	0,9444	28,63

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow CT = b_0 + b_1 G^2 Dm + b_2 G^2 Id + b_3 h^2 G$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln CT = b_0 + b_1 h^2 + b_2 DqId + b_3 \ln Dq$$

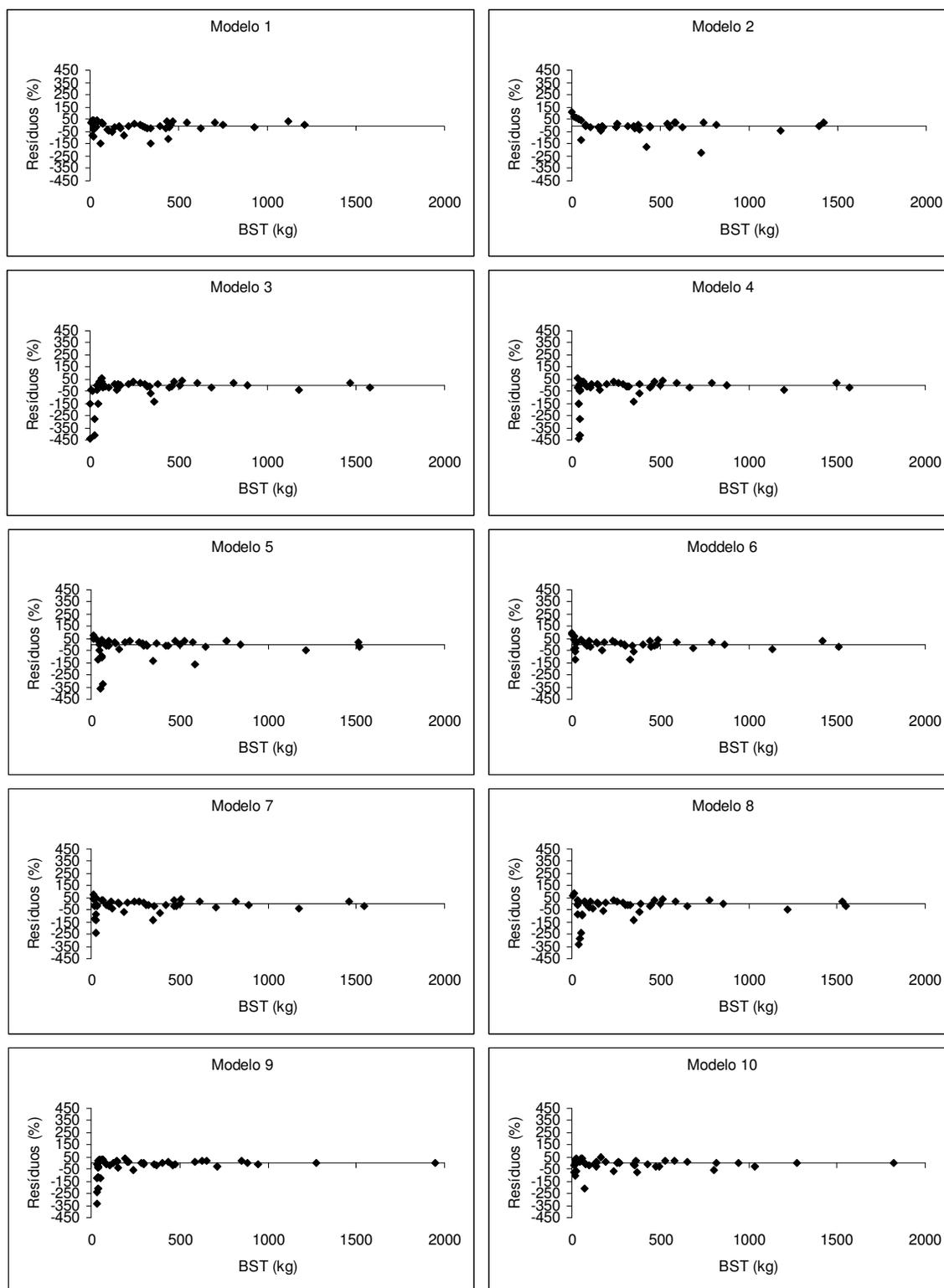


FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA BIOMASSA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MÉDIO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

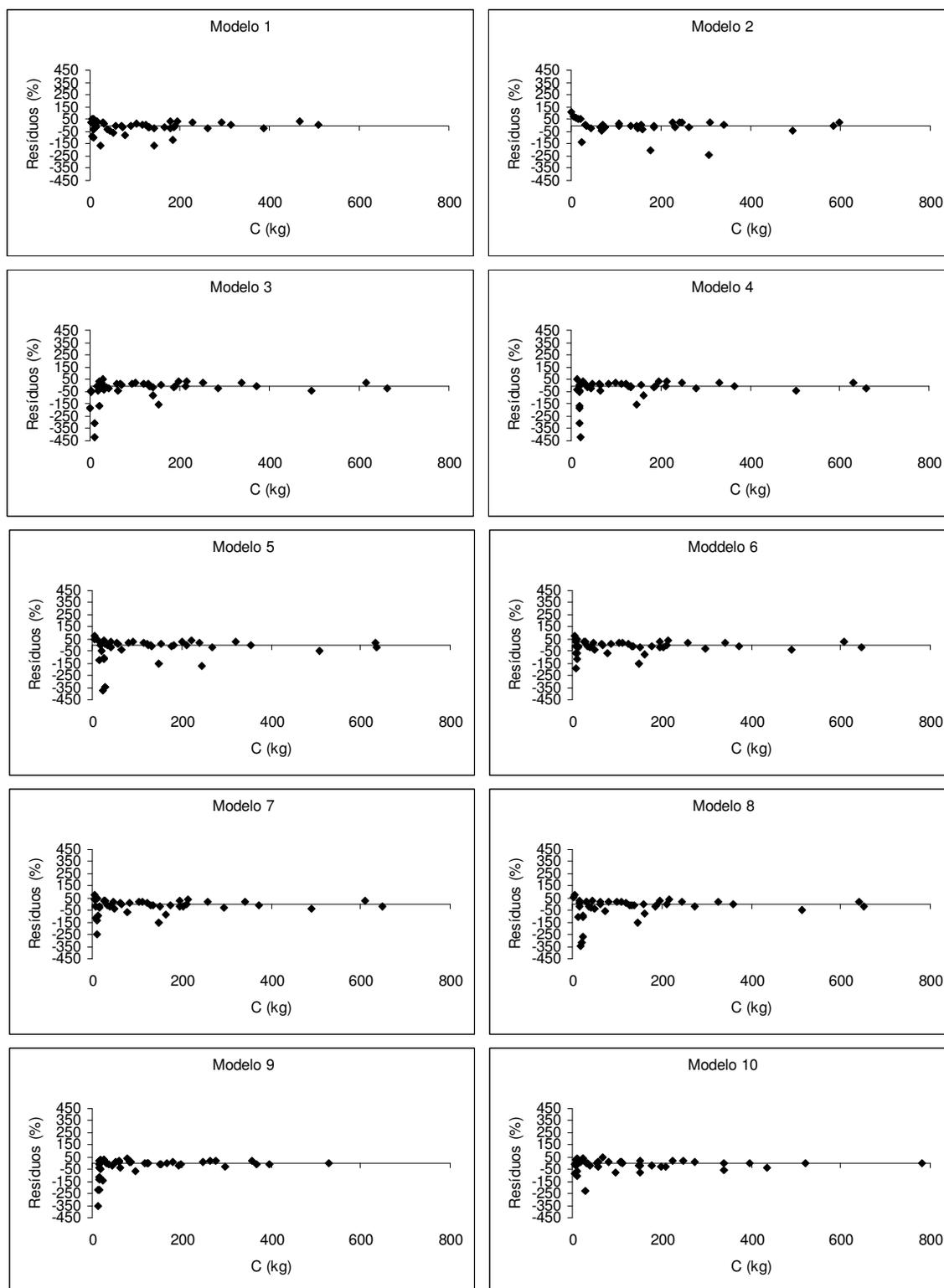


FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO MÉDIO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

TABELA 7 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO LENTO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-2,79474	1,85892	1,08036			1,049	0,9817	17,81
2	3,78824	0,0474763					0,9847	16,15
3	17,6174	-4,69787	0,195967	2,47815	0,0409674		0,9826	17,20
4	7,15968	-0,03743	-0,003905	0,0498773			0,9831	16,93
5	13,6018	-0,96208	0,0489453				0,9841	16,46
6	21,4902	-2,43738	0,0842513	0,045897			0,9833	16,85
7	6,93897	-0,03707	0,0498089				0,9840	16,50
8	-11,572	-0,16044	0,0888397	-0,09468	1,00576		0,9850	15,95
9	26,2097	-0,22735	0,0711221	-0,01933			0,9909	12,46
10	-2,46958	1,26379	-0,318736	0,490108		1,031	0,9683	23,19

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow BST = b_0 + b_1 Dm^2 + b_2 Dq^2 h + b_3 h^2 l d$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln BST = b_0 + b_1 \ln Dq^2 + b_2 \ln l d^2 + b_3 \ln h^2$$

TABELA 8 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO LENTO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-3,71971	1,89002	1,06358			1,048	0,9791	18,80
2	1,80768	0,0197598					0,9834	16,74
3	7,19668	-2,0882	0,0963576	1,09755	0,0162867		0,9811	17,87
4	2,63461	-0,0075764	-0,003759	0,0202805			0,9827	17,12
5	4,52261	-0,26616	0,0201661				0,9827	17,12
6	8,91194	-1,08706	0,0468799	0,01847			0,9818	17,51
7	2,42216	-0,0072303	0,0202147				0,9826	17,15
8	-5,58064	-0,0615244	0,0373684	-0,041523			0,9838	13,06
9	5,54962	-0,0826953	316,458				0,9878	14,35
10	-3,71971	1,89002	1,06358			1,048	0,9791	18,80

fc = fator de correção de Meyer

$$\text{Modelo 9 Stepwise} \rightarrow CT = b_0 + b_1 Dm^2 + b_2 Gh$$

$$\text{Modelo 10 Stepwise} \rightarrow \ln CT = b_0 + b_1 \ln Dq + b_2 \ln h$$

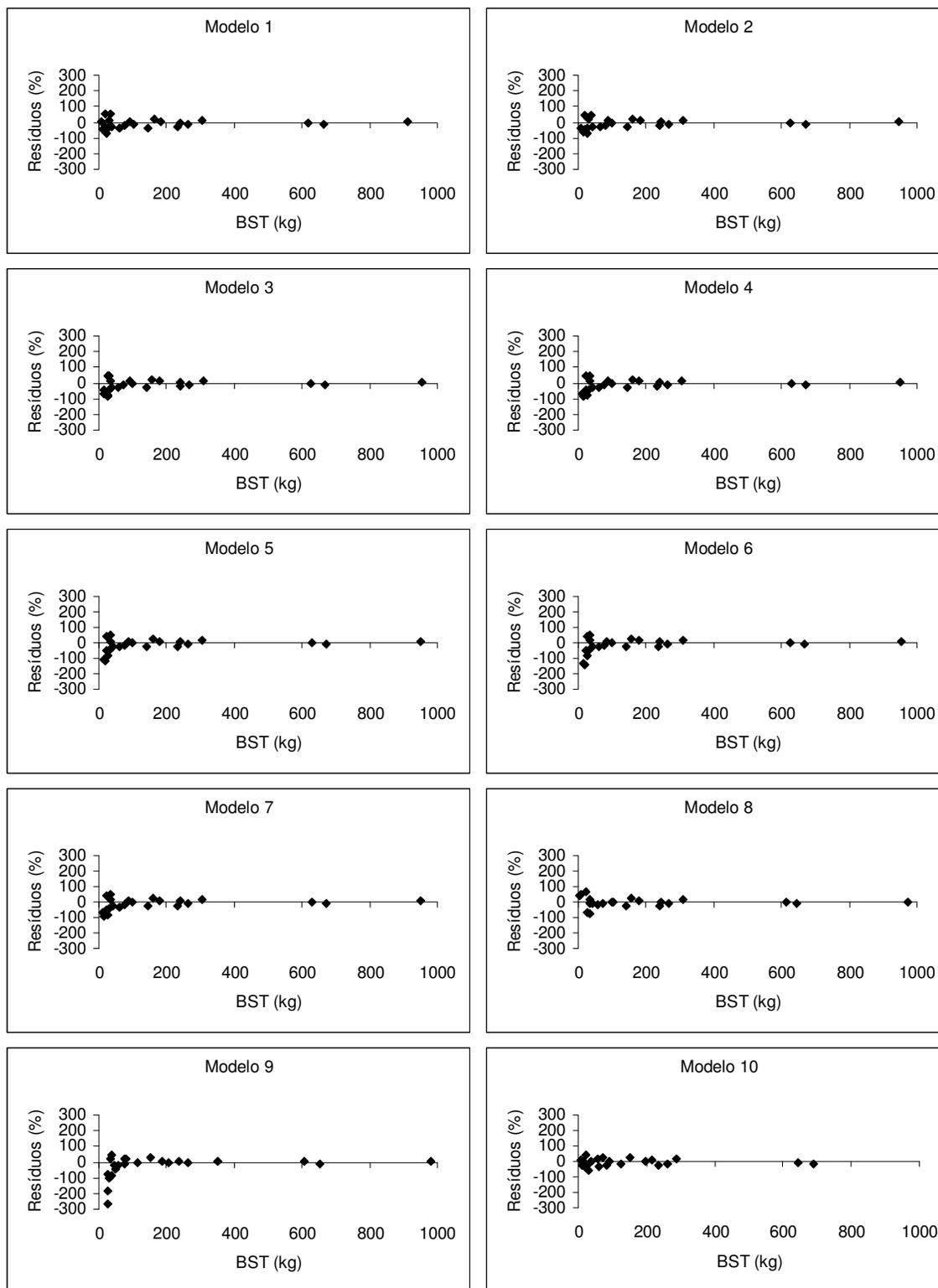


FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO LENTO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

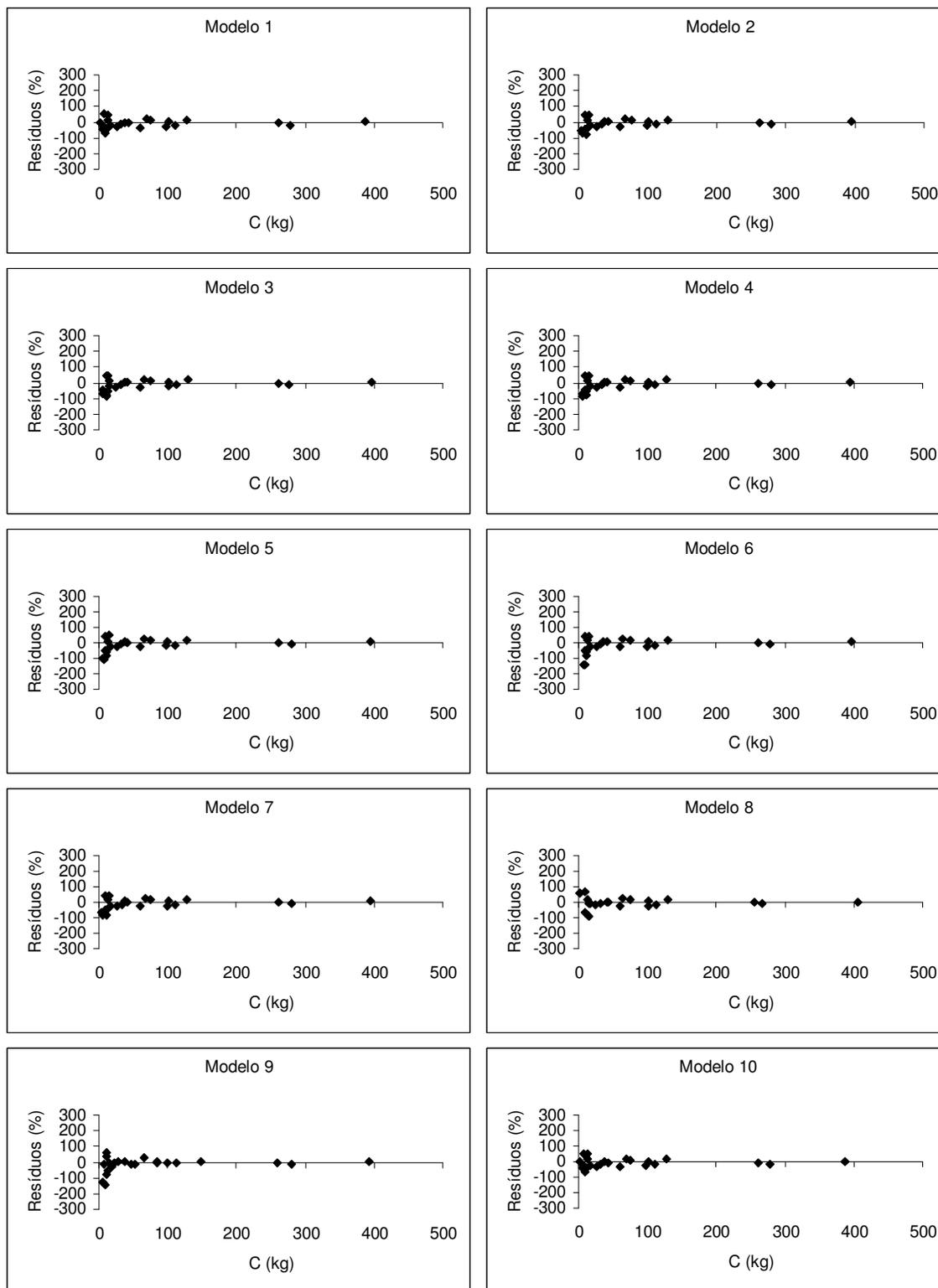


FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA CARBONO TOTAL PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO LENTO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

TABELA 9 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ÁRVORES < 10 CM DE DIÂMETRO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					Fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-2,0022	1,48987	0,994923			1,090	0,4401	46,75
2	2,2271	0,0447816					0,4101	46,08
3	-9,20556	4,58217	- 0,458231	-0,475327	0,0633961		0,3319	49,04
4	6,29072	- 0,193953	- 0,063090	0,0713609			0,3660	47,77
5	9,53773	- 1,67563	0,0586568				0,3946	46,68
6	-13,2591	4,92594	- 0,437248	0,0559668			0,3686	47,68
7	3,88083	- 0,12041	0,0590945				0,3979	46,56
8	6,73364	- 0,114237	0,0439277	0,0328197	-0,188886		0,3301	49,11
9	5,92489	66,0435					0,4127	45,98
10	1,81677	32,7028				1,083	0,4085	49,13

fc = fator de correção de Meyer

Modelo 9 Stepwise →  $BST = b_0 + b_1 h^2 G$

Modelo 10 Stepwise →  $\ln BST = b_0 + b_1 Gh$

TABELA 10 – COEFICIENTES AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO CARBONO TOTAL PARA AS ÁRVORES < 10 CM DE DIÂMETRO E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Eq	Coeficientes					fc	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-2,78593	1,50861	0,918083			1,093	0,4154	48,06
2	1,01921	0,0181618					0,3913	47,05
3	-3,54368	1,86398	- 0,17978	- 0,23087	0,0251114		0,3018	50,44
4	2,75831	- 0,075701	- 0,031522	0,0289212			0,3381	49,11
5	3,3293	- 0,529483	0,0225463				0,3683	47,98
6	-5,51252	2,03095	- 0,169588	0,021503			0,3399	49,05
7	1,55424	- 0,038956	0,0227925				0,3708	47,88
8	2,86969	- 0,055654	0,0220223	0,00825356	-0,063158		0,2997	50,52
9	1,01921	231,243					0,3913	47,09
10	0,943709	32,2178				1,085	0,3885	50,26

fc = fator de correção de Meyer

Modelo 9 Stepwise →  $CT = b_0 + b_1 Gh$

Modelo 10 Stepwise →  $\ln CT = b_0 + b_1 Gh$

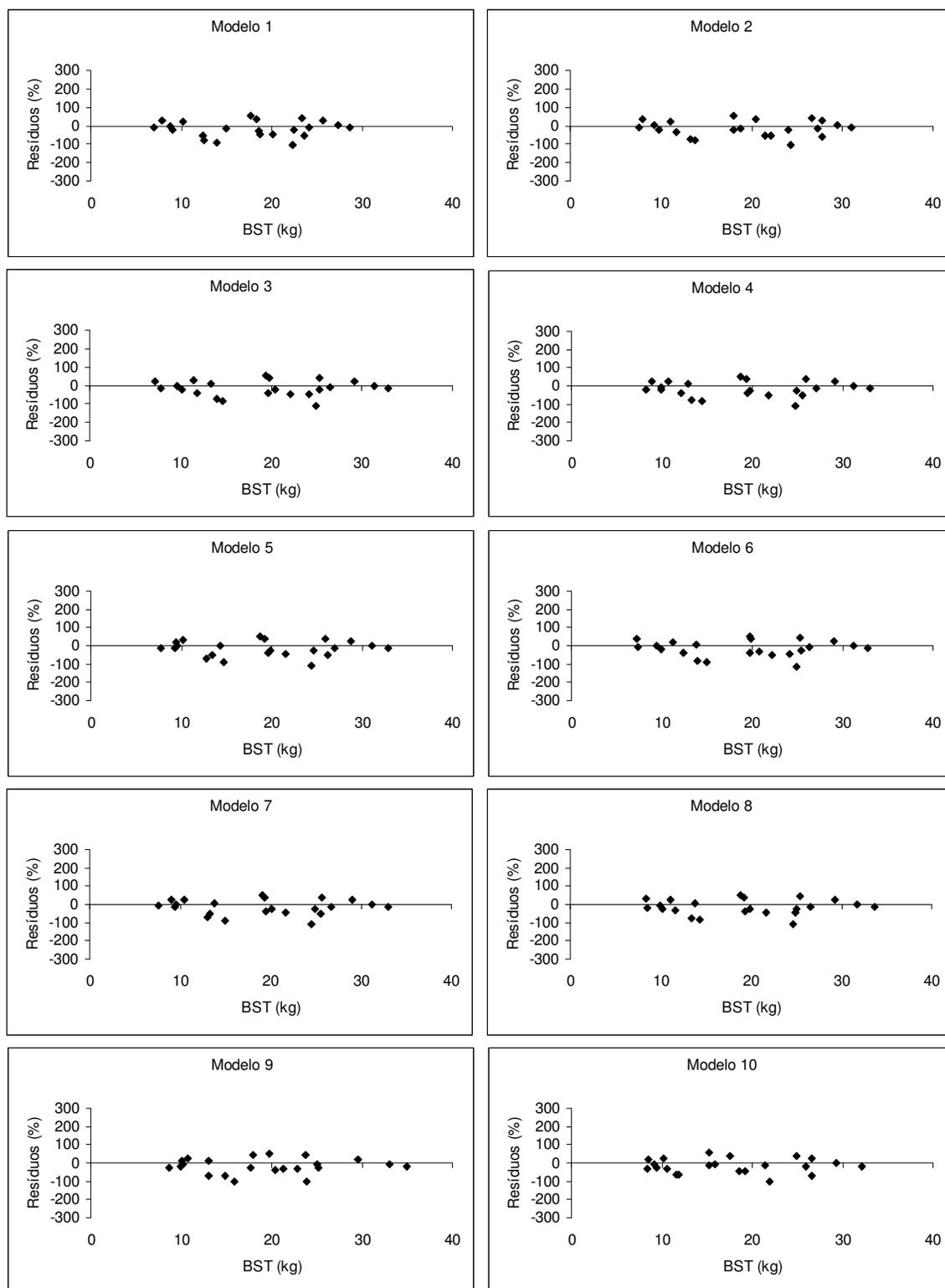


FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA BIOMASSA SECA TOTAL PARA AS ÁRVORES < 10 CM DE DIÂMETRO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

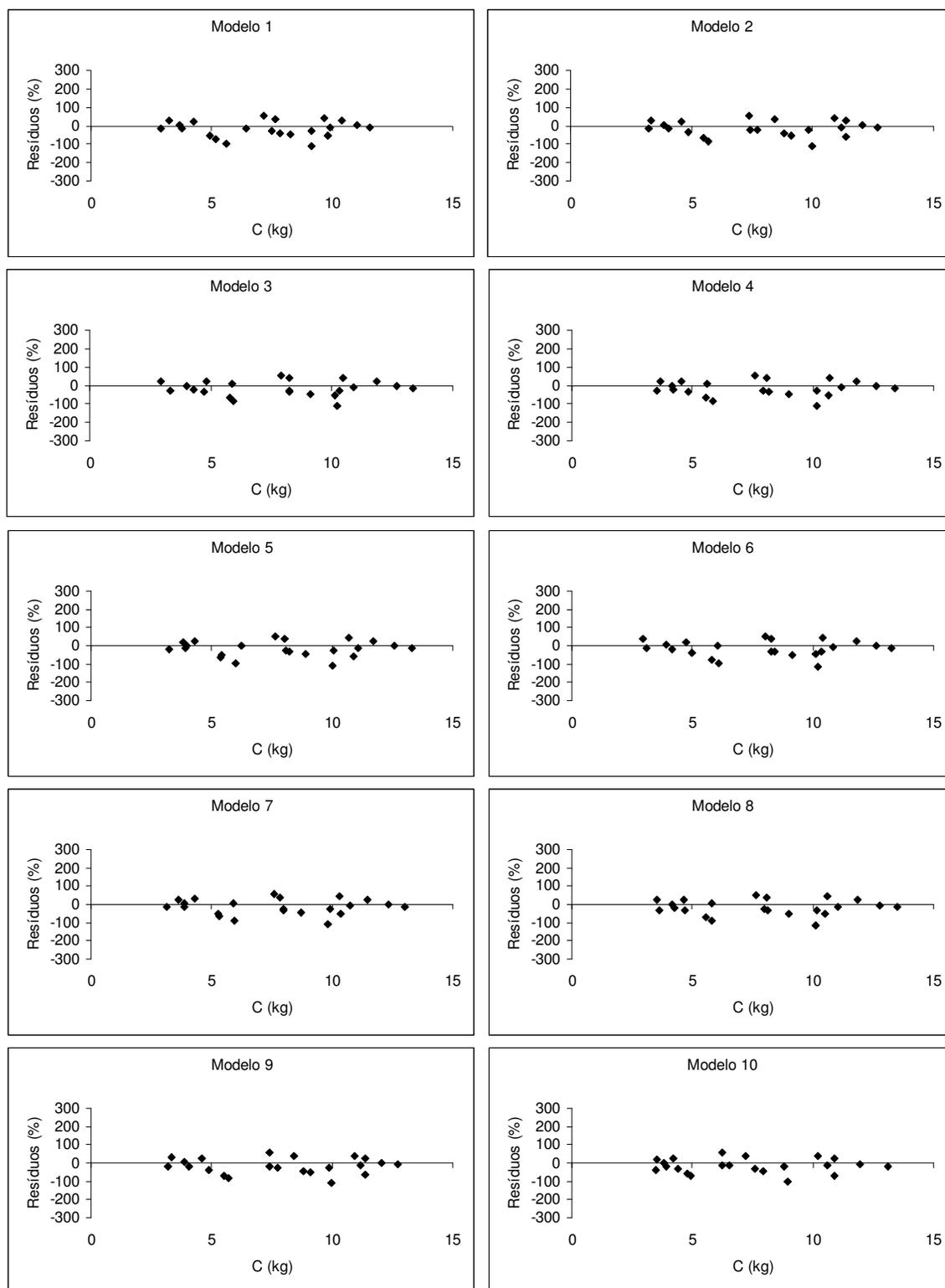


FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA CARBONO TOTAL PARA AS ÁRVORES < 10 CM DE DIÂMETRO ESTIMADOS PELOS MODELOS 1 A 10

#### 4.4.2 Ajuste para a estimativa da biomassa seca e carbono nos compartimentos para os dados totais, espécies de crescimento rápido, médio e lento

Da mesma forma que para os ajustes dos pesos totais das árvores, foram ajustados 10 modelos para a estimativa da biomassa seca e carbono para os compartimentos fuste, parte aérea, raiz, folhas, galhos e casca. Para cada compartimento é apresentado somente o resultado das melhores equações para estimativa desses compartimentos.

##### 4.4.2.1 Ajustes para o fuste

Assim como para o total dos dados, a estratificação dos dados em ritmos de crescimento para a estimativa da biomassa seca e carbono do fuste se mostrou eficiente, melhorando a qualidade dos ajustes principalmente para as espécies de crescimento lento, onde o erro padrão da estimativa em percentagem passou de 41,85% utilizando todas as árvores, para 12,46% utilizando apenas as espécies de crescimento lento, mostrando mais uma vez que a estratificação se mostrou eficaz.

Na TABELA 11, são apresentados os melhores modelos ajustados para estimativa da biomassa seca e carbono do fuste para o total dos dados e por ritmo de crescimento, assim como fator de correção de Meyer para as logarítmicas e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono do fuste foram os modelos 2 ( $R^2 = 0,8530$  e  $Sy\% = 60,76\%$ ) e 10 ( $R^2 = 0,9200$  e  $Sy\% = 45,46\%$ ) respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (Biomassa seca do fuste e carbono do fuste), os resultados dos ajustes mostraram que houve uma variação no  $Sy\%$  entre 41,56 e 65,94% e no  $R^2$  de 0,8269 e 0,9332.

Para estimativa da biomassa do fuste em *Acacia mearnsii*, Pereira *et al.* (1997) apesar de não revelarem o erro padrão da estimativa, encontraram para o coeficiente de determinação valores de  $R^2 = 0,988$ . Salis *et al.* (2006) estimaram separadamente a biomassa de cinco espécies nativas do cerrado brasileiro,

encontrando para o fuste de todas as espécies, valores superiores a 0,92 de  $R^2$  em suas equações.

As estimativas de biomassa seca e carbono para o fuste tiveram resultados inferiores em relação ao total, isso ocorreu devido as menores correlações obtidas entre as variáveis e pelas fortes tendências em super-estimativas dos modelos com os melhores indicadores estatísticos ( $R^2$  e Syx). Portanto a escolha do melhor modelo se baseou naqueles com menores tendências em suas estimativas. No ANEXO 1 é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos para os modelos escolhidos, sendo estes, os que apresentaram menores tendências em gerar super ou sub-estimativas.

Com a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono do fuste para as espécies de crescimento rápido apresentaram para Syx% e  $R^2$  resultados que variam entre 35,95 e 81,06% e 0,7900 e 0,9582, respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados revelaram valores entre 40,53 e 87,92% para Syx% e 0,4440 e 0,8851 para  $R^2$ . Para as espécies de crescimento lento os valores foram de 12,46 e 27,52% para o Syx% e de 0,9562 e 0,9910 para o  $R^2$ .

Os melhores modelos para estimativa de biomassa seca e carbono do fuste para as espécies de crescimento rápido, médio e lento foram, respectivamente, os modelos 10, 10 e 1 para a biomassa seca e 2, 10 e 9 para o carbono total. Sempre quando houve tendências muito fortes em super ou sub-estimativas por parte do modelo com os melhores indicadores estatísticos (Syx% e  $R^2$ ), foi analisado e escolhido o modelo em que melhor os dados se ajustavam, de acordo com a análise gráfica dos resíduos. Portanto, para este compartimento, na maioria dos casos os modelos para estimativas de biomassa seca e carbono do fuste foram escolhidos em função da análise gráfica dos resíduos por apresentarem em sua grande maioria tendências para super ou sub-estimativas.

TABELA 11 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA O FUSTE E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	fc	R <sup>2</sup>	Syx%
R	10	$\ln BS = -1,77557 + 0,110921 * Dq - 9,07841 * G + 1,38955 * \ln h$	1,092	0,9372	44,08
R	2	$C = -6,73051 + 0,00450136 * Dq^2 h$	-	0,9301	47,39
M	10	$\ln BS = -2,11059 + 0,00150028 * Dq/d + 2,08365 * \ln h$	1,202	0,7470	59,30
M	10	$\ln C = -3,00888 + 0,00154938 * Dq/d + 2,07804 * \ln h$	1,202	0,7342	61,42
L	1	$\ln BS = -4,24009 + 1,76864 * \ln Dq + 1,28931 * \ln h$	1,072	0,9590	26,50
L	9	$C = -1,93189 + 1,40246 * Dm - 0,323609 * Dmh + 0,0283263 * h^2 Dq$	-	0,9861	15,53
T	2	$BS = -1,16475 + 0,010118 * Dq^2 h$	-	0,8530	60,76
T	10	$\ln C = -4,52386 + 0,00064569 * Id^2 + 0,91095 * \ln h^2 Dq$	1,136	0,9200	45,46

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.4.2.2 Ajustes para a parte aérea

Para os ajustes da parte aérea, onde se considera toda árvore retirando apenas a porção raízes, de uma maneira geral, a estratificação dos dados em ritmos de crescimento para a estimativa da biomassa seca e carbono da parte aérea, se mostrou apropriada. O erro padrão da estimativa passou de 31,72% utilizando todas as árvores, para até 22,29% para as espécies de crescimento médio e 16,14% no caso das espécies de crescimento lento, evidenciando uma melhora ao usar a estratificação. Já no coeficiente de determinação houve uma pequena melhora onde passou de 0,9586 para 0,9848 no caso das espécies de crescimento lento.

Na TABELA 12, são apresentados os melhores modelos ajustados para estimativa da biomassa seca e carbono da parte aérea para o total dos dados e por ritmo de crescimento, assim como fator de correção de Meyer para as logarítmicas e as estatísticas de ajuste e precisão.

Analisando o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono da parte aérea foram os modelos 6 (R<sup>2</sup>= 0,9282 e Syx%= 41,79%) e 6 (R<sup>2</sup>= 0,9279 e Syx%= 42,60%) respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (Biomassa seca e carbono da parte aérea), os resultados dos ajustes mostraram que houve uma variação no Syx% entre 31,72 e 72,98% e no R<sup>2</sup> de 0,7883 e 0,9589.

Higuchi *et al.* (1994), para estimativa da biomassa aérea na Floresta Tropical Amazônica, encontraram valores para  $R^2 = 0,92$  em árvores acima de 20 cm de diâmetro e 0,97 para árvores entre 5 e 10 cm de diâmetro.

Ao realizar a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono da parte aérea para as espécies de crescimento rápido resultaram para  $Syx\%$  e  $R^2$  valores que variaram entre 30,75 e 68,75% e 0,8506 e 0,9690, respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados revelaram valores entre 20,04 e 51,16% para  $Syx\%$  e 0,8216 e 0,9727 para  $R^2$ . Para as espécies de crescimento lento os valores foram de 15,91 e 26,00% para o  $Syx\%$  e de 0,9734 e 0,9858 para o  $R^2$ .

Para as espécies de crescimento rápido, médio e lento, os melhores modelos para estimativa de biomassa seca e carbono da parte aérea foram respectivamente os modelos 10, 6 e 2 para a biomassa seca e 6, 10 e 2 para o carbono total. No caso de tendências muito fortes em super ou subestimativas por parte do modelo com os melhores indicadores estatísticos ( $Syx\%$  e  $R^2$ ), era analisado e escolhido o modelo em que melhor os dados se ajustavam, de acordo com a análise gráfica dos resíduos (ANEXO 2).

TABELA 12 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA A PARTE AÉREA E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	fc	$R^2$	$Syx\%$
R	10	$\ln BS = -1,83745 + 0,00109704 * Dqh + 1,45558 * \ln Dq + 0,759217 * \ln h$	1,066	0,9514	38,42
R	6	$C = 50,4021 + 5,42387 * Dq + 0,0506081 * Dq^2 + 0,014982 * Dq^2 h$	-	0,9618	35,08
M	6	$BS = 0,817065 + 2,14703 * Dq - 0,440166 * Dq^2 + 0,0597357 * Dq^2 h$	-	0,9062	37,10
M	10	$\ln C = -1,55556 + 0,00411113 * h^2 + 0,000693435 * Dqld + 1,53179 \ln Dq$	1,081	0,9273	32,79
L	2	$BS = 2,68373 + 0,0375394 * Dq^2$	-	0,9744	20,98
L	2	$C = 1,30199 + 0,0156232 * Dq^2 h$	-	0,9733	21,40
T	6	$BS = -9,06954 + 2,82271 * Dq - 0,233557 * Dq^2 + 0,0407768 * Dq^2 h$	-	0,9282	41,79
T	6	$C = 0,984639 + 0,619758 * Dq - 0,0907669 * Dq^2 + 0,0174749 * Dq^2 h$	-	0,9279	42,60

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.4.2.3 Ajustes para as raízes

A estratificação dos dados em ritmos de crescimento para o compartimento raiz, apresentou bons resultados principalmente para as espécies de crescimento lento, os quais, quando comparados com os dados de todas as árvores, resultou uma melhora para o erro padrão de estimativa de 48,06% para 14,31%. Para este caso, o coeficiente de determinação também sofreu mudanças significativas onde passando de 0,8502 utilizando o total dos dados, para 0,9875 utilizando somente as espécies de crescimento lento. Os demais ritmos de crescimento (Rápido e Médio) ocorreram mudanças menos importantes.

Na TABELA 13, são apresentados os melhores modelos ajustados para estimativa da biomassa seca e carbono da raiz para o total dos dados e por ritmo de crescimento, assim como fator de correção de Meyer para as logarítmicas e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono da raiz foram os modelos 10 ( $R^2 = 0,8502$  e  $Syx\% = 48,06\%$ ) e 9 ( $R^2 = 0,8453$  e  $Syx\% = 49,49\%$ ) respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (Biomassa seca e carbono das raízes), os resultados dos ajustes revelaram que houve uma variação no  $Syx\%$  entre 48,05 e 73,59% e no  $R^2$  de 0,6581 e 0,8502. No ANEXO 3 é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos para os modelos escolhidos, sendo estes, os que apresentaram menores tendências em gerar super ou sub-estimativas.

A raiz é um compartimento que correspondeu a aproximadamente 20% da biomassa total da amostra sendo, portanto muito importante sua estimativa. Devido às dificuldades, nos estudos para determinação da biomassa, poucos contemplam a escavação das raízes para estimativa desse compartimento. Para estimativa das raízes, Hope *et al.* (2006) encontraram  $R^2 = 0,81$  e  $Syx\% = 11,5\%$  para plantios de *Platanus acerifolia*. Valores muito semelhantes para o erro padrão da estimativa foram encontrados no presente estudo para as espécies de crescimento lento (TABELA 13).

A partir da estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono das raízes para as espécies de crescimento rápido apresentaram  $Syx\%$  e  $R^2$  que variaram entre 41,00 e 58,57% e 0,7739 e 0,8831, respectivamente. Já para

as espécies de crescimento médio, os resultados revelaram valores entre 29,24 e 73,05% para Syx% e 0,6707 e 0,9469 para R<sup>2</sup>. Para as espécies de crescimento lento os valores foram de 14,31 e 29,39% para o Syx% e de 0,9476 e 0,9875 para o R<sup>2</sup>.

As espécies de crescimento rápido, médio e lento tiveram respectivamente os melhores modelos 10, 10 e 9 para a biomassa seca e 1, 10 e 9 para o carbono total, para estimativa das raízes. Nos casos onde os modelos com melhores indicadores de ajustes havia tendências, foi analisado e escolhido o modelo em que melhor os dados se ajustavam, de acordo com a análise gráfica dos resíduos. Portanto, para este compartimento, na maioria dos casos os modelos para estimativas de biomassa seca e carbono do fuste foram escolhidos em função da análise gráfica dos resíduos por apresentarem em sua grande maioria tendências para super ou sub-estimativas.

TABELA 13 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA AS RAÍZES E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	fc	R <sup>2</sup>	Syx%
R	10	$\ln BS = -3,2104 + 1,71155 * \ln Dq + 0,570932 * \ln h$	1,097	0,8078	52,58
R	1	$\ln C = -4,1134 + 1,70736 * \ln Dq + 0,576021 * \ln h$	1,104	0,8093	53,88
M	10	$\ln BS = -2,82095 + 0,000728993 * Dqld + 1,34343 * \ln Dq + 0,754977 * \ln h$	1,068	0,8680	46,25
M	10	$\ln C = -3,71323 + 0,000769184 * Dqld + 1,32802 * \ln Dq + 0,75978 * \ln h$	1,069	0,8756	44,76
L	9	$BS = 2,59381 + 0,0119647 * Dq^2 h - 0,0329128 * Dm^2$	-	0,9877	14,31
L	9	$C = -0,0453277 + 72,1125 * Gh - 0,00168778 * Dm^2 h$	-	0,9848	15,79
T	10	$\ln BS = 3,84095 + 0,000556078 * Id^2 + 0,00096888 * Dqld - 0,00003051 * Id^2 Dm + 0,7179 * \ln Gh$	1,078	0,8502	48,06
T	9	$C = -3,66274 + 0,07779 * Dmh + 30,6843 * Gld - 0,00235205 * Dm^2 Id$	-	0,8453	49,49

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.4.2.4 Ajustes para a folhagem

Os resultados para os ajustes de biomassa seca e carbono para o compartimento folhagem, não foram satisfatórios mesmo empregando-se a estratificação em ritmos de crescimento. Apesar de realizar a estratificação, os ganhos na qualidade dos ajustes foram poucos significativos, e os resultados

revelaram baixos coeficientes de determinação com erros muito expressivos, o que denota a baixa correlação entre as variáveis. Para o coeficiente de determinação foram encontrados valores entre 0,3276 e 0,8198, respectivamente para as espécies de crescimento médio e lento. O erro padrão da estimativa ficou entre 40,47 e 94,5%.

Na TABELA 14, são apresentados os modelos ajustados que tiveram melhor desempenho para estimativa da biomassa seca e carbono da folhagem para o total dos dados e por ritmo de crescimento, assim como fator de correção de Meyer para as logarítmicas e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono da folhagem foram os modelos 9 ( $R^2 = 0,6330$  e  $Syx\% = 73,8\%$ ) e 5 ( $R^2 = 0,6380$  e  $Syx\% = 76,4\%$ ), respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (Biomassa seca e carbono da folhagem), os resultados dos ajustes revelaram que houve uma variação no  $Syx\%$  entre 73,80 e 94,5% e no  $R^2$  de 0,5183 e 0,6330.

Os valores relativamente baixos para o coeficiente de determinação podem ser explicados pela baixa correlação entre as variáveis, ajudado pela alta diversidade das árvores. Dessa forma, valores semelhantes foram encontrados por Burger e Delitti (1999) ao estimar a biomassa seca da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu em Itapira-SP. Para esse compartimento, os autores encontraram  $R^2$  entre 0,667 e 0,756.

Além dos baixos índices de ajustes, no geral, as equações geraram tendências a sub ou super-estimativas, assim os melhores modelos foram escolhidos com o auxílio da análise gráfica dos resíduos. No ANEXO 4 é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos para os modelos selecionados.

Mesmo utilizando a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono da folhagem para as espécies de crescimento rápido não ultrapassaram para  $Syx\%$  e  $R^2$  valores de 75,99% e 0,7424, respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados atingiram valores 58,64% para  $Syx\%$  e 0,6799 para  $R^2$ . Para as espécies de crescimento lento os melhores resultados foram de 40,47% para o  $Syx\%$  e de 0,81,98 para o  $R^2$ .

Para esse compartimento, os modelos que foram superiores aos demais em qualidade de ajuste para as espécies de crescimento rápido, médio e lento foram,

respectivamente os modelos 2, 2 e 7 para a biomassa seca e 10, 2 e 4 para o carbono total.

TABELA 14 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA A FOLHAGEM E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	Fc	R²	Syx%
R	2	$BS = 2,24307 + 0,000836102 * Dq^2 h$	-	0,6868	81,71
R	10	$\ln C = -0,705824 + 0,0711587 * Dq$	1,268	0,7096	82,04
M	2	$BS = 2,59722 + 0,00138036 * Dq^2 h$	-	0,6496	61,36
M	2	$C = 1,13496 + 0,00059955 * Dq^2 h$	-	0,6357	63,15
L	7	$BS = 1,93868 + 0,0333602 * Dq^2 - 0,00113768 * Dq^2 h$	-	0,3761	75,43
L	4	$C = -0,635539 + 0,0175693 * Dq^2 + 0,0252348 * h^2 - 0,000985007 * Dq^2$	-	0,3808	75,76
T	9	$BS = 3,6254 + 5,4678 * DqG - 0,075893 * Dm^2G + 0,33867 * h^2G$	-	0,6330	73,80
T	5	$C = 1,88821 + 0,00310297 * Dq^2 - 0,011052 * h^2 + 0,000361801 * Dq^2 h$	-	0,6380	76,40

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.4.2.5 Ajustes para os galhos

Para os ajustes do compartimento galhos, a estratificação dos dados em ritmos de crescimento apresentou resultados expressivos apenas para as espécies de crescimento lento, sendo que as demais estratificações apresentaram efeitos mais modestos. Todavia, para esse compartimento, os resultados dos ajustes foram razoáveis tendo em vista a pouca correlação entre as variáveis.

Na TABELA 15, são apresentados os melhores modelos ajustados para estimativa da biomassa seca e carbono dos galhos para o total dos dados e por ritmo de crescimento, e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa seca e carbono dos galhos com base no R² Syx% e análise gráfica dos resíduos foram os modelos 9 (R²= 0,8025 e Syx%= 56,23%) e 9 (R²= 0,8924 e Syx%= 55,72%) respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (biomassa seca e carbono dos galhos), os resultados dos ajustes revelaram que houve uma variação no Syx% entre 55,73 e 74,88% e no R² de 0,8025 e 0,8924. No ANEXO 5 é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos para os modelos escolhidos, sendo estes, os que apresentaram menores tendências em gerar super ou sub-estimativas.

Após a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono dos galhos para as espécies de crescimento rápido obtiveram para Syx% e R<sup>2</sup> resultados que variaram entre 49,74 e 100,51% e 0,6760 e 0,9280 respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados revelaram valores entre 39,14 e 49,27% para Syx% e 0,8740 e 0,9203 para R<sup>2</sup>. Para as espécies de crescimento lento os valores foram de 18,94 e 57,23% para o Syx% e de 0,8337 e 0,9818 para o R<sup>2</sup>.

Urbano (2007), ao estimar a biomassa seca e o carbono dos galhos acima de 4 cm de diâmetro em *Mimosa scabrella*, encontrou uma variação para o erro padrão da estimativa de 39,32% a 105,93% e para o coeficiente de determinação de 0,45 a 0,92, sendo muito semelhantes ao encontrado para as espécies de crescimento rápido.

Para estimativa de biomassa seca e carbono dos galhos utilizando espécies de crescimento rápido, médio e lento, os melhores modelos foram respectivamente 2, 6 e 9 para a biomassa seca e 2, 6 e 9 para o carbono total.

Sempre quando houve tendências muito fortes em super ou sub-estimativas por parte do modelo com os melhores indicadores estatísticos (Syx% e R<sup>2</sup>), era analisado e escolhido o modelo com base na análise gráfica dos resíduos. Portanto, para este compartimento, na maioria dos casos os modelos para estimativas de biomassa seca e carbono do fuste foram escolhidos em função da análise gráfica dos resíduos por apresentarem em sua grande maioria tendências para super ou sub-estimativas.

TABELA 15 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA OS GALHOS E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	R <sup>2</sup>	Syx%
R	2	$BS = -29,6023 + 0,0181327 * Dq^2 h$	0,9139	53,83
R	2	$C = -13,5272 + 0,00777657 * Dq^2 h$	0,9142	54,30
M	6	$BS = 53,4025 - 6,22734 * Dq - 0,130375 * Dq^2 + 0,0401017 * Dq^2 h$	0,8951	44,92
M	6	$C = 22,217 - 2,58375 * Dq - 0,0561021 * Dq^2 + 0,0169104 * Dq^2 h$	0,8919	47,77
L	9	$BS = -9,39855 + 2,22251 * Dq + 36800,6 * G^2$	0,9829	19,23
L	9	$C = -3,92856 + 0,935651 * Dq + 15472,9 * G^2$	0,9818	18,94
T	9	$BS = -14,4154 + 176,568 * Gh + 0,00367941 * Dq^2 Id$	0,8025	56,23
T	9	$C = -6,75821 + 73,5866 * Gh + 0,00166086 * Dq^2 Id$	0,8924	55,72

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.4.2.6 Ajustes para a casca

Os resultados para os ajustes de biomassa seca e carbono para o compartimento casca, não alcançaram bons resultados na qualidade dos ajustes. Isto se deve em parte, a pouca correlação entre as variáveis. As espessuras da casca, por consequência o seu peso, têm relações ligadas diretamente a características genéticas de cada espécie, ou seja, uma árvore que possua uma casca mais espessa que a outra não necessariamente vai possuir o maior peso total.

Apesar de se realizar a estratificação, os ganhos na qualidade com ajustes foram poucos significativos, sendo que, os maiores ganhos foram nos ajustes para as espécies de crescimento lento cujos resultados revelaram Syx de até 18,07% e  $R^2$  de até 0,9861. Valores semelhantes foram encontrados para a estimativa da biomassa da casca de *Platanus acerifolia*. Segundo Hoppe *et al.* (2006) os melhores modelos testados tiveram  $R^2= 0,65$  e  $Syx\%= 16,3\%$ .

Na TABELA 16, são apresentados os modelos ajustados que tiveram melhor desempenho para estimativa da biomassa seca e carbono da casca para o total dos dados e por ritmo de crescimento, e as estatísticas de ajuste e precisão.

Para o total dos dados, ou seja, sem a estratificação, o melhor modelo ajustado para estimativa de biomassa e carbono da casca foram os modelos 9 ( $R^2= 0,8707$  e  $Syx\%= 55,03\%$ ) e 9 ( $R^2= 0,8793$  e  $Syx\%= 57,33\%$ ) respectivamente. Dentre os dez modelos testados para cada variável dependente (Biomassa seca e carbono da casca), os resultados dos ajustes revelaram que houve uma variação no Syx% entre 55,03 e 92,17% e no  $R^2$  de 0,7192 e 0,8793. No ANEXO 6 é apresentado o gráfico de dispersão dos resíduos para os modelos escolhidos, sendo estes, os que apresentaram menores tendências em gerar super ou sub-estimativas.

Mesmo utilizando a estratificação dos dados, as estimativas para biomassa seca e carbono da casca para as espécies de crescimento rápido não ultrapassaram para Syx% e  $R^2$  valores de 75,99% e 0,7424 respectivamente. Já para as espécies de crescimento médio, os resultados atingiram valores 58,64% para Syx% e 0,6799 para  $R^2$ . Para as espécies de crescimento lento os melhores resultados foram de 40,47% para o Syx% e de 0,81,98 para o  $R^2$ .

Os modelos que foram superiores aos demais em qualidade de ajuste para estimativa de biomassa seca e carbono da casca, para as espécies de crescimento rápido, médio e lento foram, respectivamente os modelos 7, 9 e 9 para a biomassa

seca e 9, 9 e 9 para o carbono total. Devido a pouca correlação entre as variáveis para esse compartimento e a forte tendência dos modelos em gerar super ou sub-estimativas, os modelos foram escolhidos com base na análise gráfica dos resíduos.

TABELA 16 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA E CARBONO PARA A CASCA E SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE.

Cresc.	Nº Eq.	Equação	R²	Syx%
R	7	$BS = 0,410923 - 0,00625562 * Dq^2 + 0,00182204 * Dq^2 h$	0,9339	41,82
R	9	$C = 0,572963 + 2,07727 * Gld + 0,000202632 * Dq^2 Dm$	0,9519	38,40
M	9	$BS = -0,346957 + 0,037295 * h^2 + 0,25353 * Id^2 G$	0,7215	65,05
M	9	$C = 1,2931 + 0,124344 * Id^2 G$	0,7034	67,78
L	9	$BS = 1,46551 - 0,000610707 * Dm^2 h + 25,719 * G^2 Dq + 1,90289 * h^2 G$	0,9807	18,07
L	9	$C = 0,426898 + 0,696933 * h^2 G$	0,9737	23,02
T	9	$BS = 0,687996 - 0,000362375 * Dm^2 Id + 0,264967 * Id^2 G + 0,0022867 * h^2 Dq$	0,8707	55,03
T	9	$C = 0,948995 + 0,077575 * Id^2 G + 0,231389 * h^2 G$	0,8793	57,33

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

#### 4.5 APLICAÇÃO DA MODELAGEM EM ÁREAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Para a aplicação da modelagem nas áreas de restauração florestal foram selecionados os melhores modelos apresentados neste estudo, levando em consideração os ritmos de crescimento e o diâmetro das árvores.

No QUADRO 9 está apresentado os resultados das estimativas de biomassa seca e carbono para as áreas de restauração inventariadas neste estudo.

QUADRO 8 – ESTIMATIVAS PARA BIOMASSA SECA E CARBONO DAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO INVENTARIADAS

LOCALIDADE	Área	N	Idade	R	M	L	Biomassa	Carbono	CO <sub>2</sub>	IMA Biom.	IMA carb.
	ha	ind./ha	anos	%	%	%	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
Palmitalzinho	1,1	788,9	6	79	17	4	15,9	6,6	24,1	2,6	1,1
Talhão	1,3	961,9	5	85	5	10	28,1	11,2	41,1	5,6	2,2
Obara	0,5	1.386,7	6	63	23	14	66,0	26,5	97,0	11,0	4,4
Canaã	1	1.511,1	7	65	32	4	81,2	33,7	123,7	11,6	4,8
N. Destino A	1	1.366,7	12	58	35	10	87,5	35,8	131,3	7,3	3,0
Canatuba	2,3	1.701,6	8	83	15	2	110,4	44,6	163,5	13,8	5,6
N. Destino B	1,0	1.350,0	14	72	24	4	177,9	73,8	270,5	12,7	5,3
Canaçú	0,6	1.377,8	17	52	38	11	203,3	85,0	311,7	12,0	5,0
Santa Águida	0,8	1.377,8	17	59	31	10	221,5	91,0	333,7	13,0	5,4
<b>Média</b>	<b>1,1</b>	<b>1248,2</b>	<b>10,2</b>	<b>68</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>110,2</b>	<b>45,4</b>	<b>166,6</b>	<b>10,0</b>	<b>4,1</b>

R = espécies de crescimento rápido; M = espécies de crescimento médio; L = espécies de crescimento lento.

O potencial de fixação de biomassa e carbono está relacionado, entre outros, com a variação na idade dos plantios. Em decorrência dessa variação (6 a 17 anos), os resultados das estimativas de biomassa e carbono em áreas de restauração do oeste paulista, revelaram uma evolução entre 15,9 e 221,5 t.ha<sup>-1</sup> para biomassa, e 6,6 e 91,0 t.ha<sup>-1</sup> para o carbono.

Em termos de Incremento Médio Anual, pode-se afirmar que a área com maior potencial em fixar biomassa e carbono foi a localidade Canatuba com 13,8 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para a biomassa e 5,6 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para carbono, e a menor foi Palmitalzinho com apenas 2,6 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para biomassa e 1,1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para carbono. Isso se deve em parte, a baixa fertilidade do solo encontrada nas localidades Palmitalzinho e Talhão, ambas com uma Saturação de Bases próximas de 39%, enquanto que nas demais a Saturação de Bases alcançou valores de 76%.

Os resultados mostraram que o maior potencial em fixar biomassa e carbono em uma determinada localidade está relacionado com as características do sítio florestal e o número de árvores. Embora as espécies de crescimento rápido possuam maior potencial em fixar biomassa e carbono, nem sempre às áreas com maior percentagem dessas espécies possuíam os maiores valores para biomassa e carbono. No GRÁFICO 3 foi desenhado uma curva para um modelo hipotético, onde esta revelou uma tendência no aumento do estoque de carbono com o avanço da idade, no entanto nota-se que na idade 12 anos (Fazenda N. Destino A) há um decréscimo no estoque de carbono, indicando baixa produção de biomassa e carbono nesta localidade.

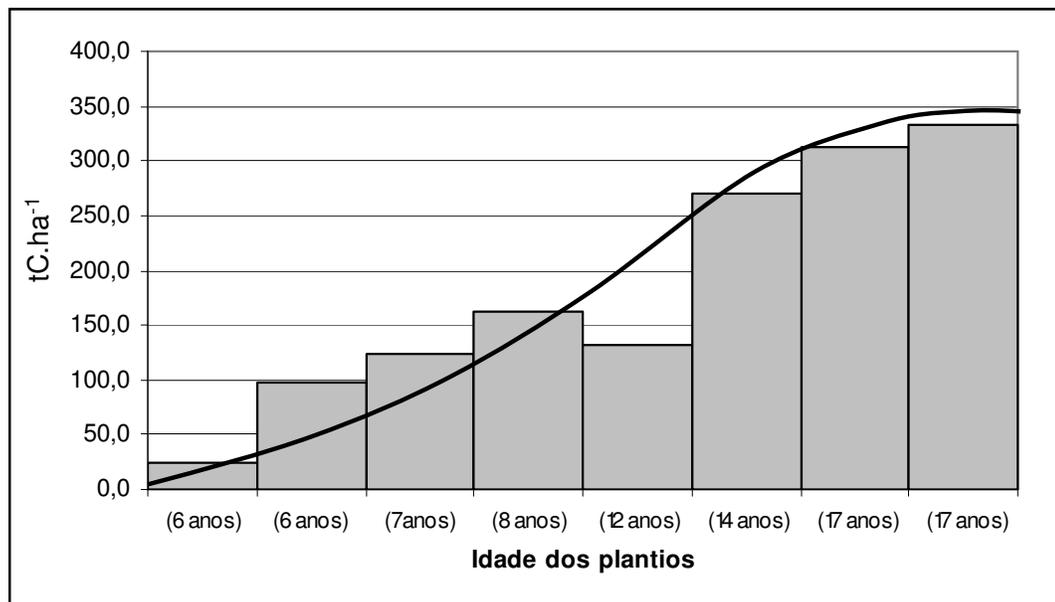


GRÁFICO 3 – TENDÊNCIA DO ESTOQUE DE CO<sub>2</sub> EM FUNÇÃO DA IDADE NAS ÁREAS DE RESTAURAÇÃO INVENTARIADAS

Segundo Nabuurs e Mohren (1995), o estoque de madeira em diferentes tipos de florestas tem grande potencial para o seqüestro de carbono, podendo reter na biomassa e produtos de madeira aproximadamente 110-200 t. ha<sup>-1</sup> de carbono.

As áreas inventariadas no presente estudo estão sob o domínio da Floresta Estacional Semi-Decidual, sendo apenas duas (Palmitalzinho e Talhão) em áreas de Cerrado. Comparativamente, a biomassa de árvores em Florestas Tropicais Estacionais é inferior ao de Florestas Tropicais Chuvosas (MOONEY *et al.*, 1995), sendo que a biomassa de árvores nesta fitofisionomia varia entre 185 e 406 t.ha<sup>-1</sup> (SALOMÃO *et al.*, 1998)<sup>7</sup> citado por (GUARINO; MEDEIROS, 2005).

Embora a idade média das florestas plantadas analisadas no presente estudo sejam relativamente baixas (10,2 anos), a capacidade de fixação de biomassa atingiu 110,2 t.ha<sup>-1</sup>, sendo praticamente idêntico ao encontrado por Brown *et al.* (1989) para Florestas Tropicais Estacionais de todo o mundo, onde a biomassa arbórea foi estimada em 110,14 t.ha<sup>-1</sup>. Também sendo muito semelhantes aos 117,9 t.ha<sup>-1</sup> encontrados por Burger e Deliti (1999) para um estrato da Floresta Ciliar do rio Mogi-Guaçu. No entanto, ainda sobre influência de Florestas Estacionais, Guarino e

<sup>7</sup> SALOMÃO, R. P.; NEPSTAD, D. C.; VIEIRA, I. C. Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais primárias e secundárias. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. R. S. (Org.). **Floresta Amazônica: dinâmica, recuperação e manejo**. Manaus: Editora do INPA, 1998. p. 99-119.

Medeiros (2005) encontraram valores superiores ( $140,24 \text{ t.ha}^{-1}$ ) para a biomassa arbórea.

Para a mesma região do estudo, Melo e Durigan (2006), utilizando a equação sugerida por Brown *et al.* (1989) para florestas tropicais, e 50% na relação biomassa/carbono, encontraram valores entre  $66,2 \text{ t.ha}^{-1}$  e  $121,0 \text{ t.ha}^{-1}$  para a biomassa e  $33,09$  e  $60,5 \text{ t.ha}^{-1}$  para carbono em áreas com 10 anos.

Dentro dos domínios da Floresta Estacional, para as áreas analisadas, a localidade com maior estoque de biomassa e carbono foi Santa Águida com  $221,5 \text{ t.ha}^{-1}$  de biomassa e  $91,0 \text{ t.ha}^{-1}$  de carbono, mostrando um enorme potencial comparativo ao fixar biomassa e carbono em áreas de restauração florestal. No entanto, deve-se observar a grande variação ocorrente na fixação de biomassa e carbono para as áreas analisadas, o que poderia resultar valores abaixo dos encontrados na literatura, como é o caso da localidade Palmitalzinho.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com a análise dos resultados obtidos neste estudo, pode-se documentar algumas importantes conclusões e recomendações, como segue:

- Houve diferenças importantes para o percentual de biomassa seca entre os compartimentos seguindo a ordem: fuste > galhos > casca > raízes > folhagem;
- A contribuição de cada compartimento em biomassa e carbono em relação ao total foi: galhos (39,0% e 38,7%) > fuste (28,3% e 28,8%) > raízes (19,9% e 20,1%) > folha (7,5% e 7,2%) > casca (5,3% e 5,3%);
- Houve diferenças para o teor de carbono orgânico sendo: folhas 42,50%, casca 40,09%, raiz 39,98%, fuste 40,82%, galhos 41,92%; total 41,18%. Considerando as variações nos teores de carbono de 39,98 a 42,5% dos compartimentos, pode-se concluir que são bem inferiores aos tomados como default pelo THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC, 2003), ou seja, em geral, nos projetos de créditos de carbono ocorrem superestimativas dos estoques em função de se usar o valor 50% como referência;
- Ainda que G (área basal da árvore) tenha resultado melhores correlações com as variáveis dependentes, foi o Dq (Diâmetro quadrático) a variável independente mais importante para as estimativas de biomassa e carbono com os melhores índices de ajuste e precisão;
- Embora a utilização somente do diâmetro nas equações seja desejável a fim de facilitar os cálculos e principalmente a coleta de dados, não foi possível apresentar ajustes razoáveis para estimativa de biomassa seca e de carbono orgânico somente com essa variável. A inclusão das variáveis Dm (maior diâmetro), G (área basal da árvore), h (altura total) e idade, na forma de combinações, melhoraram os ajustes;
- Os modelos ajustados e recomendados neste estudo apresentaram boa qualidade em seus ajustes, com  $R^2$  acima de 0,95 e Syx% abaixo de 32%, permitindo assim estimativas apropriadas para a variável biomassa seca e carbono em áreas de restauração florestal do oeste paulista;

- Nos casos onde os plantios possuem muitas árvores com pequenos diâmetros, sugere-se a aplicação dos modelos para árvores com diâmetros inferiores a 10 cm;
- A estratificação dos dados por ritmos de crescimento foi eficiente, melhorando o desempenho dos modelos, diminuindo o erro padrão da estimativa e aumentando o coeficiente de determinação. Sendo assim, para se estimar a biomassa seca e carbono orgânico das árvores com maior qualidade de ajuste, recomenda-se quando possível, utilizar os modelos selecionados por ritmo de crescimento;
- Os estoques de carbono (CO<sub>2</sub>) médios encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados na literatura para Florestas Estacionais, evidenciando o potencial dos plantios de restauração como sumidouros de carbono;
- Os modelos ajustados neste estudo são instrumentos importantes para estimar a biomassa seca e o carbono estocado em plantios de restauração florestal sem que haja a necessidade da utilização de métodos diretos, como corte e pesagem das árvores. Para projetos que visem participar do mercado de créditos de carbono, esses modelos podem ser empregados como uma forma indireta para as estimativas dos estoques de carbono nessas áreas.

## REFERÊNCIAS

- ALEMDAG, I. S. **Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships**. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1980. 38 p.
- ALVES, A. M. C. **Estimativa da produção de biomassa e do teor de carbono seqüestrado por clones de eucaliptos, no pólo gesseiro do Araripe – PE**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rura de Pernanbuco, Recife, 2007.
- ALVES, D. S. *et al.* Biomass of primary and secondary vegetation In Rondônia, Western Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, GB, v. 3, p. 451-461, 1997.
- ALVIM, P. T. Periodicidade do crescimento das árvores em climas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 15., 1964, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, Sociedade Botânica do Brasil, 1964. p. 405-422.
- ANDRADA ; SILVA, J.B. **Memória sobre a necessidade e utilidade do plantio de novos bosques**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1925. 116p.
- ANDRADE, B. S.; HAY, J. D. Estimation of aerial biomass of *Lychnophora ericoides* (Mart.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 50, n. 4, July, 2007.
- ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO, J. A. J. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in te state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 117, p. 43-52, August, 1999.
- BALBINOT, R. *et al.* Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 59-68, jan/jun, 2003.
- BARBOSA, L. M. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p.289-312.
- BARRELA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São aulo: Edusp/Fapesp, 2000. p.187-207.
- BECKER, F. D. *et al.* **Desenvolvimento Sustentável, Necessidade e/ou Possibilidade?**. 3. ed. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2001.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de avaliação química em plantas**. Recife: UFRPE, 2004. 149p.

BOGNOLA, I. A. *et al.* Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Assis. II. Memorial descritivo. **Boletim Científico IAC**, Campinas, n. 8, 54 p, 2003.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de Ecologia**. Rio de Janeiro: Toop Books, 1992. 344 p.

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

BROWN, S. Estimating biomass and biomass changing of tropical forests: a primer. **FAO Forestry Paper**, Rome, n.134, p.1-55, 1997.

BROWN JR., K. Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de matas ciliares. In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p. 223-232.

BURGER, D. M. ; DELITTI, W. B. C. Fitomassa epigéa da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, Itapira – SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n.3, p. 429-435, 1999.

BURGER, D. M. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP**. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CAIRNS, M. A. M. *et al.* Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, Berlin, v. 111, n.1, p. 1-11, 1997.

CALDEIRA a, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CALDEIRA b, M. V. W. Determinação de carbono em povoamentos de *Acacia mearnsii* de WILD. Platados no Rio Grande do Sul. **Acadêmica**, Curitiba, v.1, n. 2, p. 47-54, abr./jun., 2003.

CARMO, C. A. F. S. *et al.* Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone de seringueira RRIM 600 em solos da Zona da Mata – Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 24, p.19, 2003.

CATHARINO, E. L. M. Florística de matas ciliares. In: BARBOSA, L.M. (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo, SP. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.61-70.

Companhia Energética de São Paulo (CESP). **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. São Paulo, SP, 1992. 35 p.

CHAGAS, R. K. *et al.* Crescimento diametral de espécies arbóreas em Floresta Estacional Semidecidual ao longo de seis anos. In: BÔAS, O. V. ; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisas em conservação ambiental no oeste paulista**: resultados da cooperação Brasil / Japão. São Paulo: Instituto Florestal: Secretaria do Meio Ambiente, 2004. p. 265-291.

CHANG, M. Y. **Seqüestro de carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. 276f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CONRADO, D. *et al.* Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. SANQUETTA, C. R.; ZILIO, M. A. B.; CORTE, A. P. **Carbono**: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2006. p. 80-92.

CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 5, n.1, mar, 1988.

CRESTANA, M. S. M.; TOLEDO FILHO, D.V.; CAMPOS, J.B. **Florestas**: sistemas de recuperação com essências nativas. Campinas: CATI, 1993, 60 p.

DEAN, T. J.; LONG, J. N. Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. **Annals of Botany**, London, v. 58, p. 833-840, 1986.

DEMILLO, R. **Como funciona o clima**. São Paulo: Quark, 1998.

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

DUMANSKI, J., PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 81, p.155-162, 2000.

DURIGAN, G. *et al.* Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica de Caetetus, Gália, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 369-381, 2000.

DURIGAN, G. *et al.* A flora arbusto-arbórea do médio Paranapanema: Base para Restauração dos Ecossistemas Naturais. : BÔAS, O. V. ; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisas em conservação ambiental no oeste paulista**: resultados da cooperação Brasil / Japão. São Paulo: Instituto Florestal: Secretaria do Meio Ambiente, 2004. p. 199-240.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression Analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: J. Wiley & Sons, 1980. 709 p.

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In.: SEMINÁRIO EMISSÃO E SEQÜESTRO DE CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 95-124.

FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 79-87, jun., 1999.

GIBBS, P. E.; LEITÃO FILHO, H. F.; ABBOT, R. J.. Application of the point-centred quarter method in a floristic survey of an area of gallery forest at Mogi-Guaçu, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 3, n. 1/2. p.17-22, 1980.

GUARINO, E. S. G.; MEDEIROS, M. B. Levantamento da fitomassa dos estratos arbóreos e herbáceo-arbustivo da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV (GO). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Brasília, n. 84, 20 p., 2005.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO x seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994. p. 125-153.

HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. Manaus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p.153-166, 1998.

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

HOPPE, J. M.; WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa de biomassa em povoamentos de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecidos no município de Dom Feliciano, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 463-471, 2006.

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

HOSOKAWA, R.T.: O paradoxo no desenvolvimento sustentável: uma reflexão para os jovens pesquisadores. **SBPN Scientific Journal**, São Paulo, v. 4, Supl. 1, 2000.

HOUGHTON, R. A. The worldwide extent of land-use change. **Bioscience**, Washington, DC, v. 44, n. 5, p. 305-313, 1994.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Land use change, and forestry special report**: summary for Policymakers. Montreal: IPCC, 2000. (Based on Watson, R. et al. as Core Writing Team).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Good Practice Guidance for Land-Use Change and Forestry**, 2003. 3.324p.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. Conservação genética "in situ" e uso múltiplo da floresta. **Silvicultura**, São Paulo, v.11, n. 41, p. 77-80, 1986.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p. 249-270.

KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. **Acta Científica Venezolana**, Caracas, v. 24, p. 225-237, 1973.

KIRA, T.; SHIDEI, R. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. **Japanese Journal of Ecology**, Tokyo, v. 17, n.1, p. 70-87, 1967.

LAURANCE, W. F. *et al.* Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 118, p. 127-138, 1999.

LIMA, P. C. F. **Comportamento silvicultural de espécies de *Prosopis*, em Petrolina-PE, Região Semi-árido do Brasil**. 110 f. Tese de doutorado em engenharia florestal – Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p. 33-44.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Guarapuava. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 41-50. 2002.

MARCENE, E. A. *et al.* Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, p. 55-63, ago., 2006.

MARINHO-FILHO, J; GASTAL, M. L. Mamíferos das matas ciliares dos cerrados do Brasil Central. In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2000. p. 209-222.

MARTINELLI, L. A. *et al.* Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In.: SEMINÁRIO EMISSÃO E SEQÜESTRO DE CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 197-221.

MARTINS, S. V.; DIAS, H. C. T. Importância das florestas para a quantidade e qualidade da água. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, MG, v. 20, p. 14-16, 2001.

McMAHON, T. A. Size and shape in biology. **Science**, Washington, DC, v. 179, p. 1201-1204, 1973.

MELO, A. C. G. **Reflorestamentos de restauração de matas ciliares: Análise estrutural e método de monitoramento no Médio Vale do Paranapanema (SP)**.

141f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

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

MOONEY, H. A.; BULLOCK, S. H.; MEDINA E. Introduction. In.: \_\_\_\_\_. **Seasonally dry tropical forests**. New York: Cambridge University Press, 1995. p. 1-8.

NABUURS, G. J.; MOHREN, G. M. J. Modeling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types. *Can. J. Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 25, p. 1157-1172, 1995.

NIKLAS, K. J. **Plant allometry**: the scaling of form and process. Chicago: The University of Chicago Press, 1994. 395 p.

NORBERG, R. A. Theory of growth geometry of plants and self-thinning of plant populations: geometric similarity, elastic similarity, and different growth models of plant parts. **American Naturalist**, Chicago, v. 131, p. 220–256, 1988.

NUTO, L. *et al.* O Mercado internacional de de CO<sub>2</sub>: Impacto das florestas naturais e plantações. In: SANQUETTA C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002. p. 89-108.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 64-72, 1994.

PALMER, M. A.; AMBROSE, R. F. & POFF, N. L. Ecological Theory and Community Restoration. **Restoration Ecology**, Malden, v. 5, n. 4, p. 291-300, 1997.

PARDÉ, J. Forest Biomass. In: **Forestry Abstracts Review Article**, France, ago 1980. Station de Sylviculture et de Production, Centre National de Recherches Forestières, v.41, n.8, p. 349; 350; 352, 1980.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Os autores, 1997. 316 p.

PEREIRA, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 521-526, 1997.

PROFUMO AGUIAR, L. **Modelagem do volume do povoamento da *Mimosa scabrella* Benth em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão: teoria e aplicações em manejo florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal, 1993. 238p.

REZENDE, A.V. Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. In: RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: matas de galeria**. Planaltina: EMBRAPA. 1998. p.1-16.

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**, Piracicaba, n. 71, p. 65-76, ago., 2006.

ROCHA, M. T. Mudanças Climáticas e o Mercado de Carbono. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; DALLA CORTE, A. P. **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2006. p.19-41.

ROCHADELLI, R **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamento (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, Bracatinga)**. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A.G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: RODRIGUES R. R.; LEITÃO FILHO H. F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp/Fapesp, p. 45-71, 2000.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 2, p. 4-15, 1996.

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. p. 235-247.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

SALIS, S. M. *et al.* A.C.S. Estimating the aboveground biomass and wood volume of savanna woodlands in Brazil's Pantanal wetlands based on allometric correlations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 228, p. 61-68, 2006.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA C. R. *et al.* (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 33-40, 2003.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologia para determinação de biomassa florestal. . In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (EDS.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa**. Curitiba: UFPR/Laboratório de Inventário Florestal: Instituto Ecoplan: PELD, 2004. p. 77 – 94

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, Curitiba: 1996. 49 p. (Série Didática, n. 8).

SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. de S.; TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. Manaus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2004.

SANTOS, J. *et al.* Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia Central. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 4, p. 445-454, 2001.

SCHUMACHER, M. V. **Quantificação do carbono orgânico em florestas de *Pinus taeda* L, com diferentes idades**. Santa Maria: UFSM, 2000. (Relatório de pesquisa).

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF. 236p. 1998.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. de. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p. 533 – 539, set./out., 2002.

SILVA, H. D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex. Maiden) em diferentes idades**. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SILVEIRA, E. R. **Recuperação da mata ciliar do córrego Tarumã (Tarumã SP): Aspectos ambientais de quatro modelos florestais dez anos após o plantio**. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

SIMPSON, L.G.; BOTTKIN, D.B. Vegetation, the global carbon cycle, and global measures. In: Dunette, D.A.; O'Brien, R.J. (Eds). **The science of global change**. Washington, DC: American Chemical Society; 1992. p. 414-425. (ACS Symposium Series, n. 483).

TEIXEIRA, L. M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus**. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2003.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENCIÓN ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Protocolo de Quioto**. 2. ed. Brasília: MCT, 2001. 34 p.

URBANO, E. **Estimativa da biomassa aérea e do peso de carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VALE, A. T.; FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a Cerrado sensu stricto site in central Brazil. Viçosa-MG, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 661-669, 2005.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L., desbastados em diferentes idades**. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

VEGA, F.V.A. *et al.* Relações alométricas para estimativa da fitomassa aérea em pupunheira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 104-108, jan./mar., 2004.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L. ; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VENTURA, V.J. **Legislação federal sobre meio ambiente**. 2. ed. Taubaté: Vana, 1996. 1148 p.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (EDS.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa**. Curitiba: UFPR/Laboratório de Inventário Florestal: Instituto Ecoplan: PELD, 2004. p. 95-109.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite ikonos II**. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WEBER, K. S. *et al.* Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecosistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2 n. 2, p.167-177, jul/dez., 2006.

WEBER, K. S. **Manejo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WENDLING, J. L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. plantadas a céu aberto**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

## ANEXOS

ANEXO I – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DO FUSTE, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

ANEXO II – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA PARTE AÉREA, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

ANEXO III – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DAS RAÍZES, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

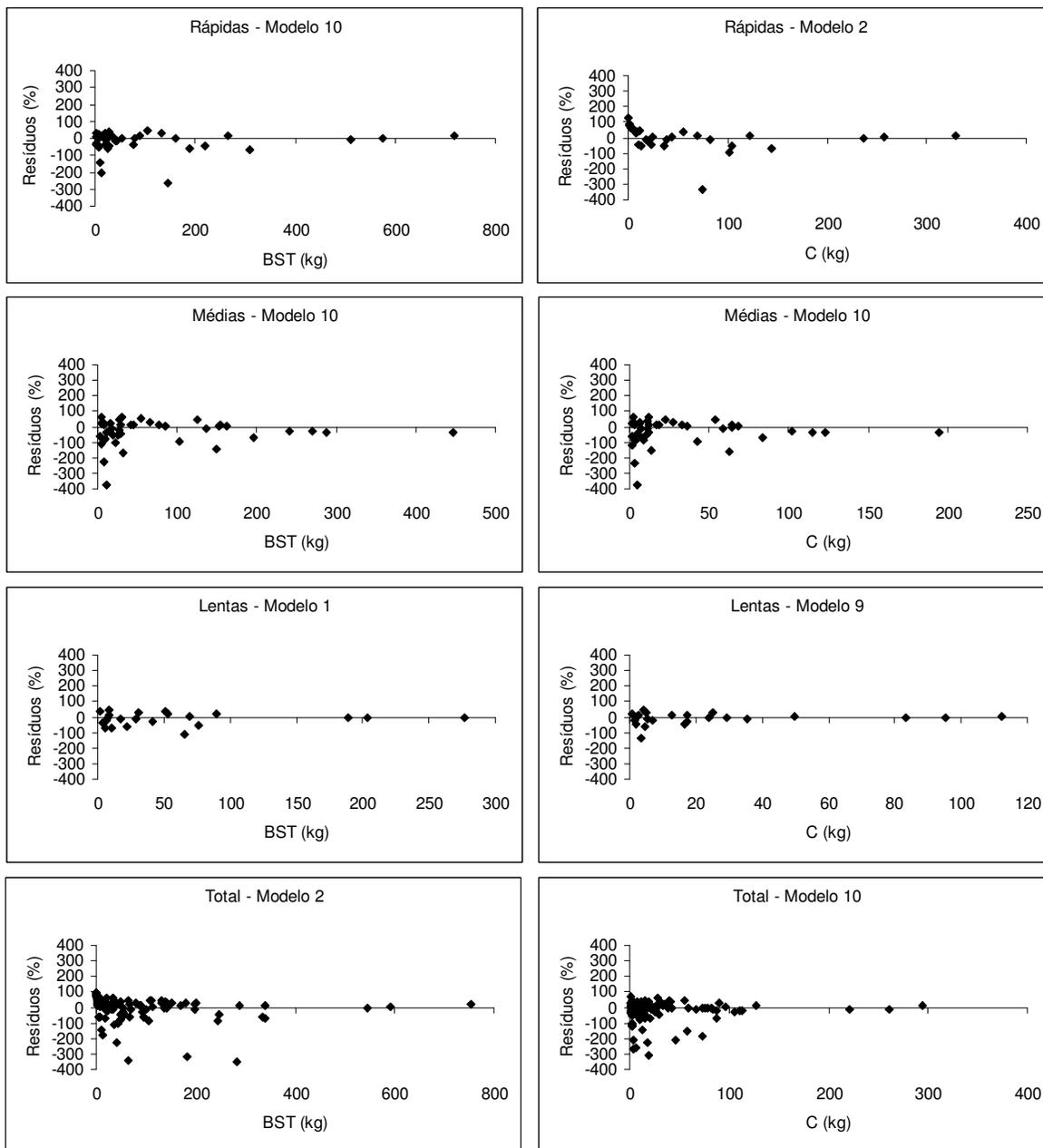
ANEXO IV – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA FOLHAGEM, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

ANEXO V – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DOS GALHOS, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO

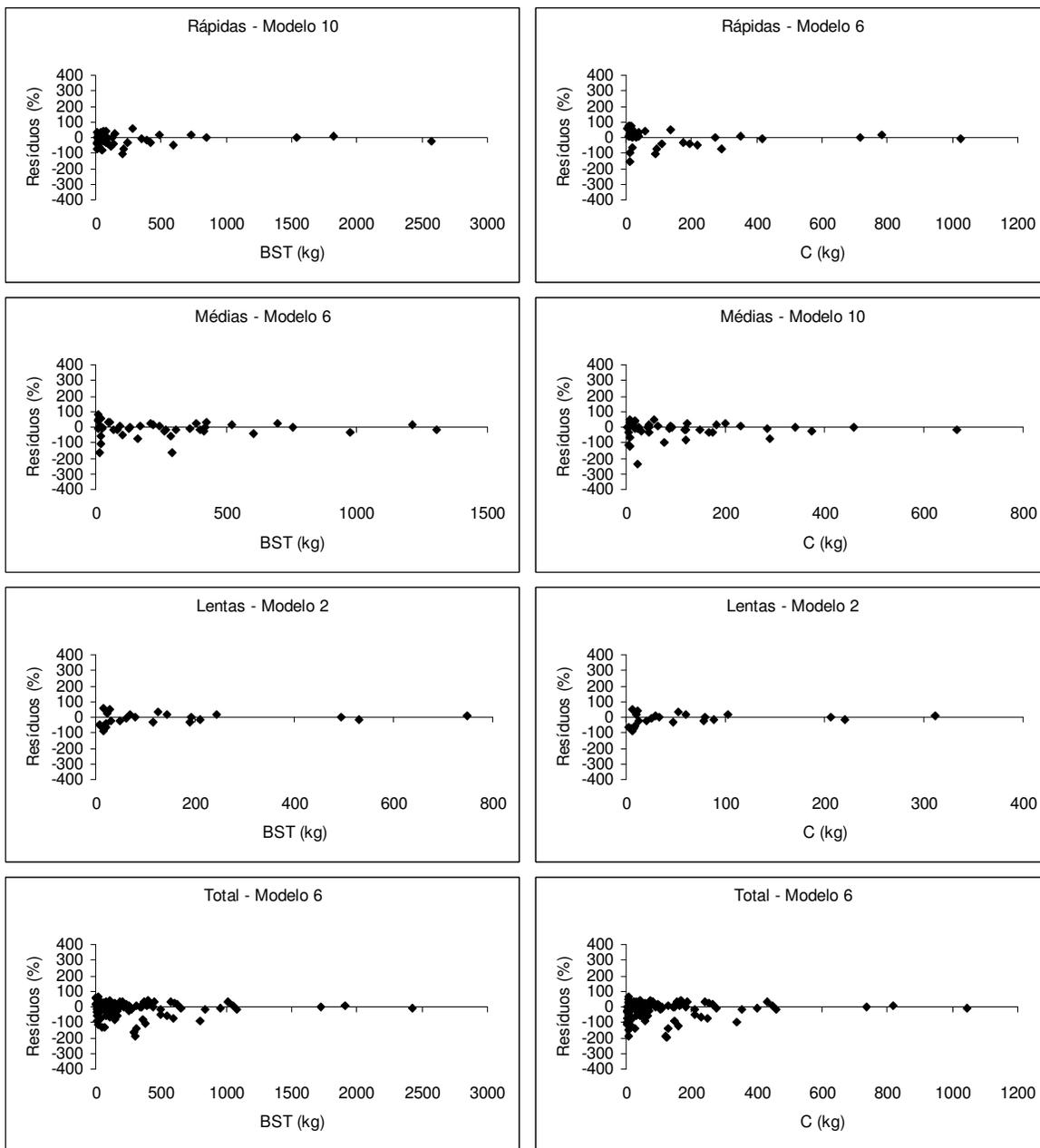
ANEXO VI – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA CASCA, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO MÉDIO E LENTO

ANEXO VII – MODELOS INICIALMENTE TESTADOS PARA TODAS AS ÁVORES

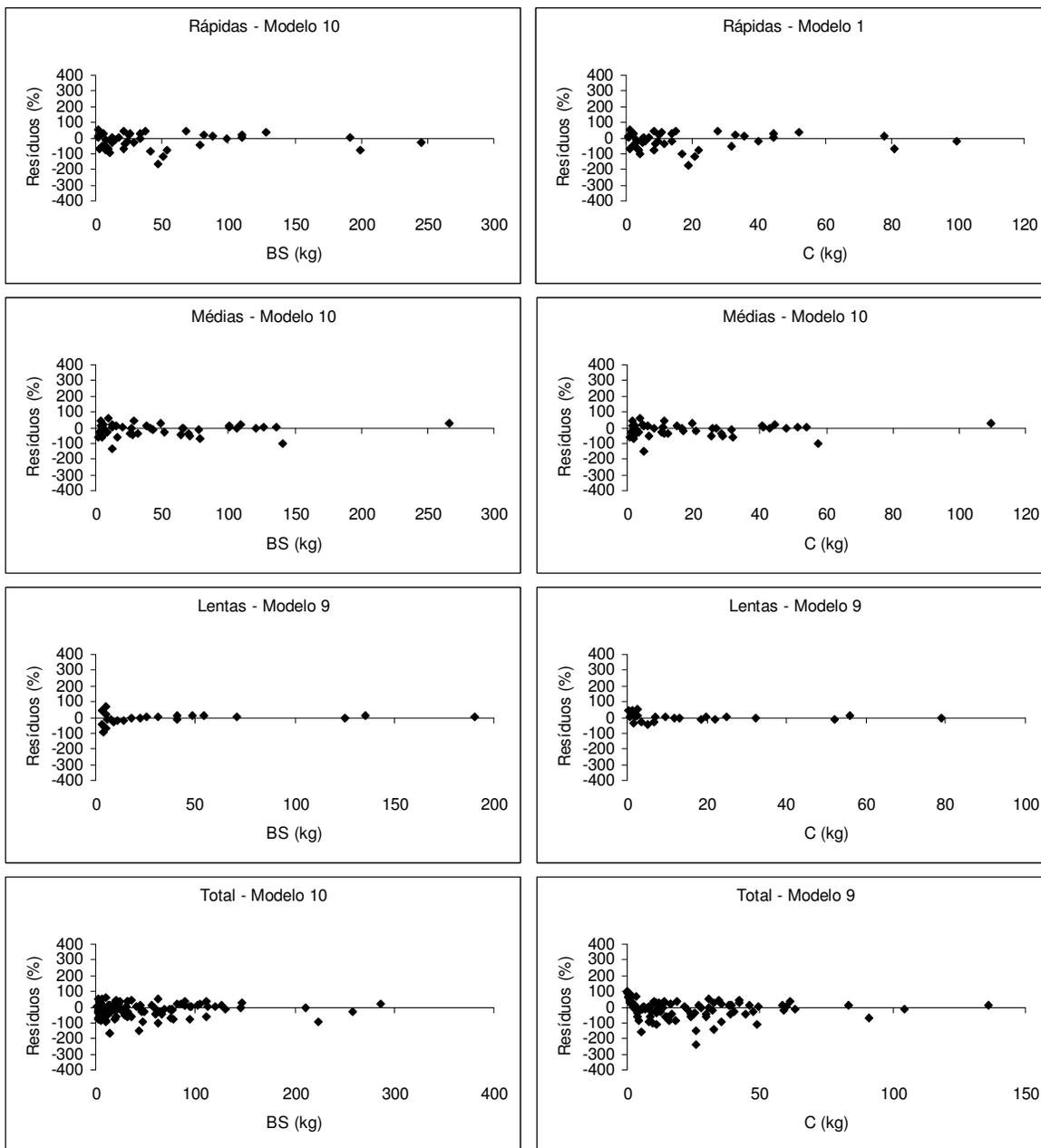
ANEXO I – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DO FUSTE, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO



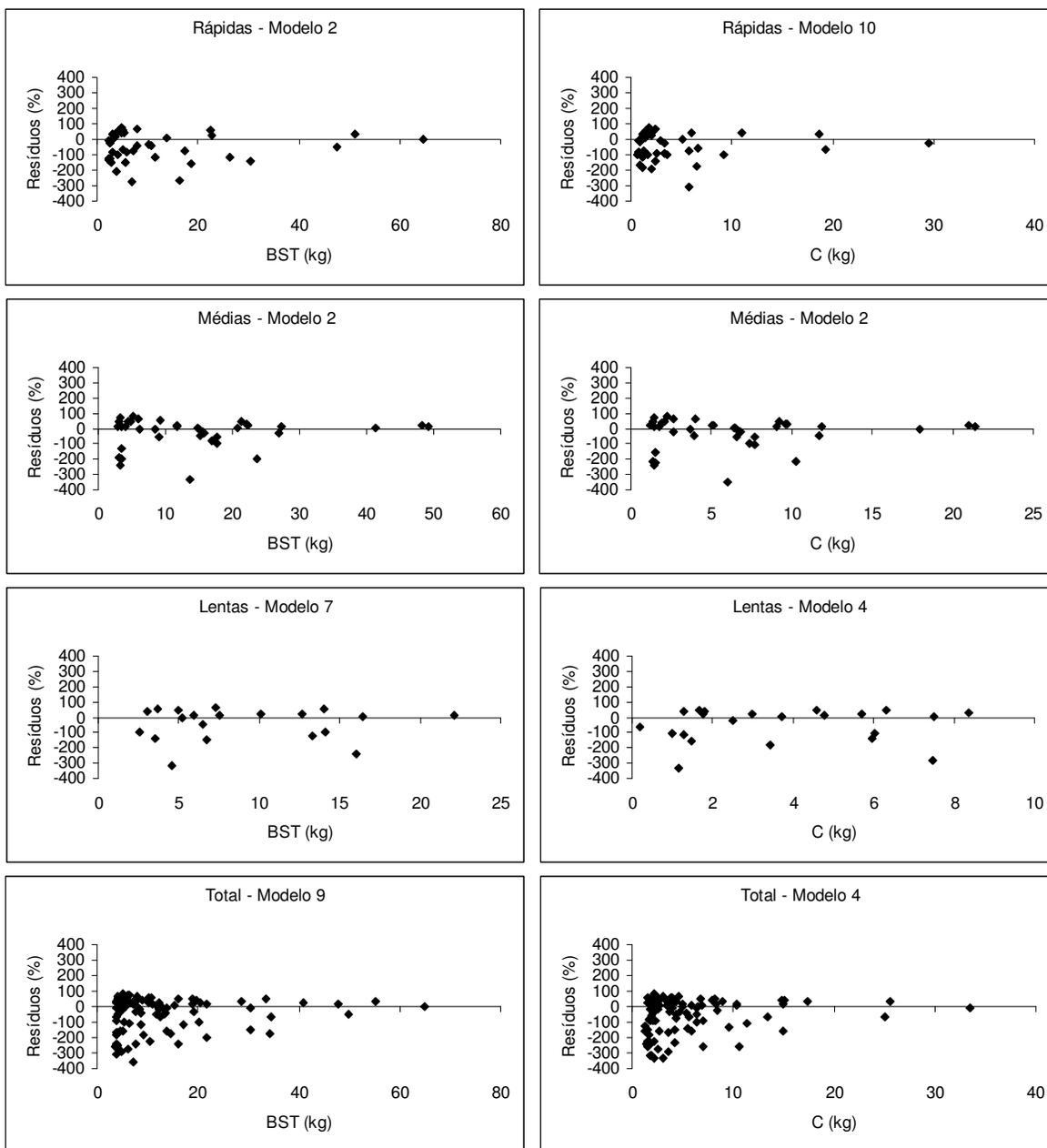
ANEXO II – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA PARTE AÉREA, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO



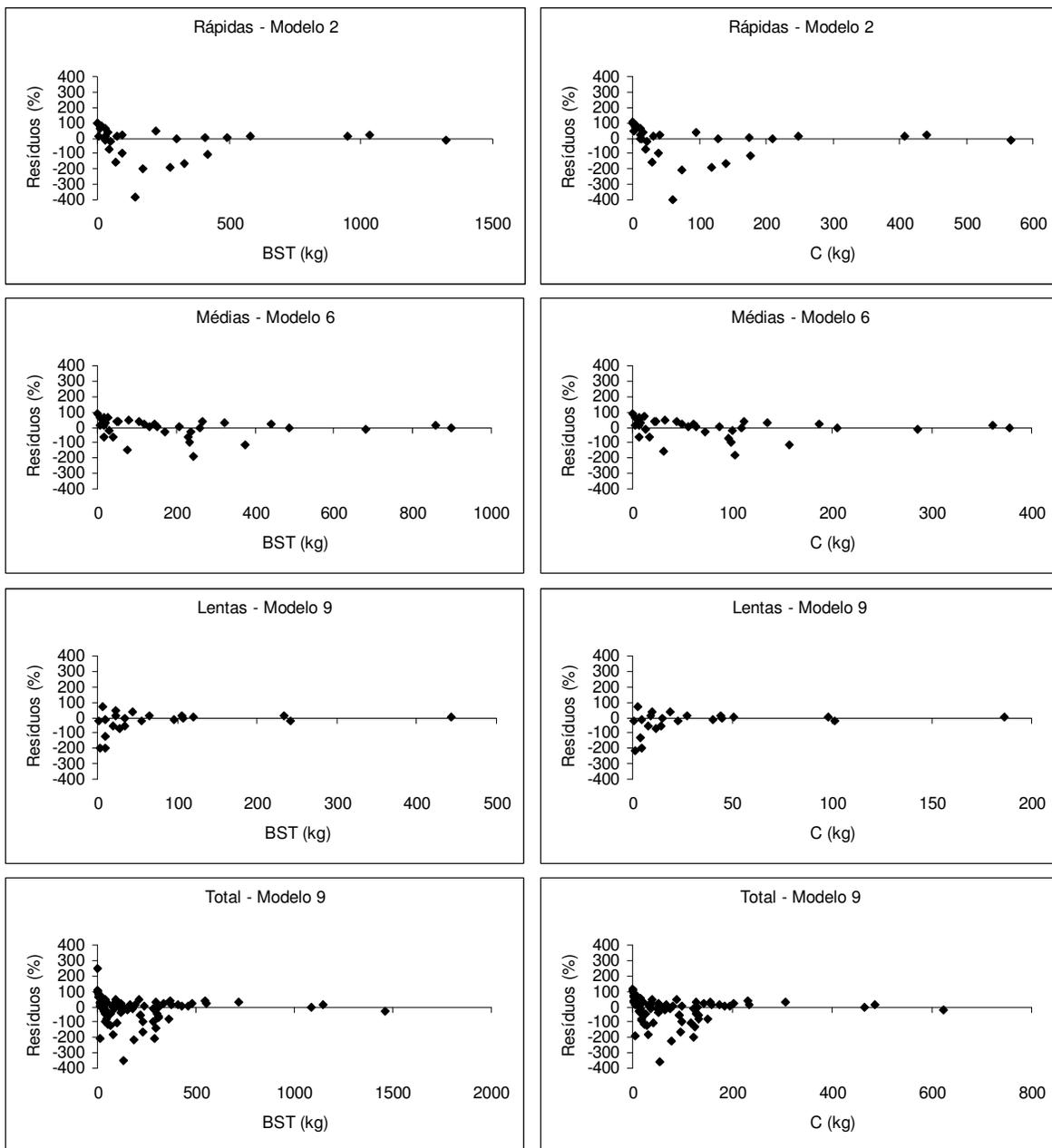
ANEXO III – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DAS RAÍZES, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO



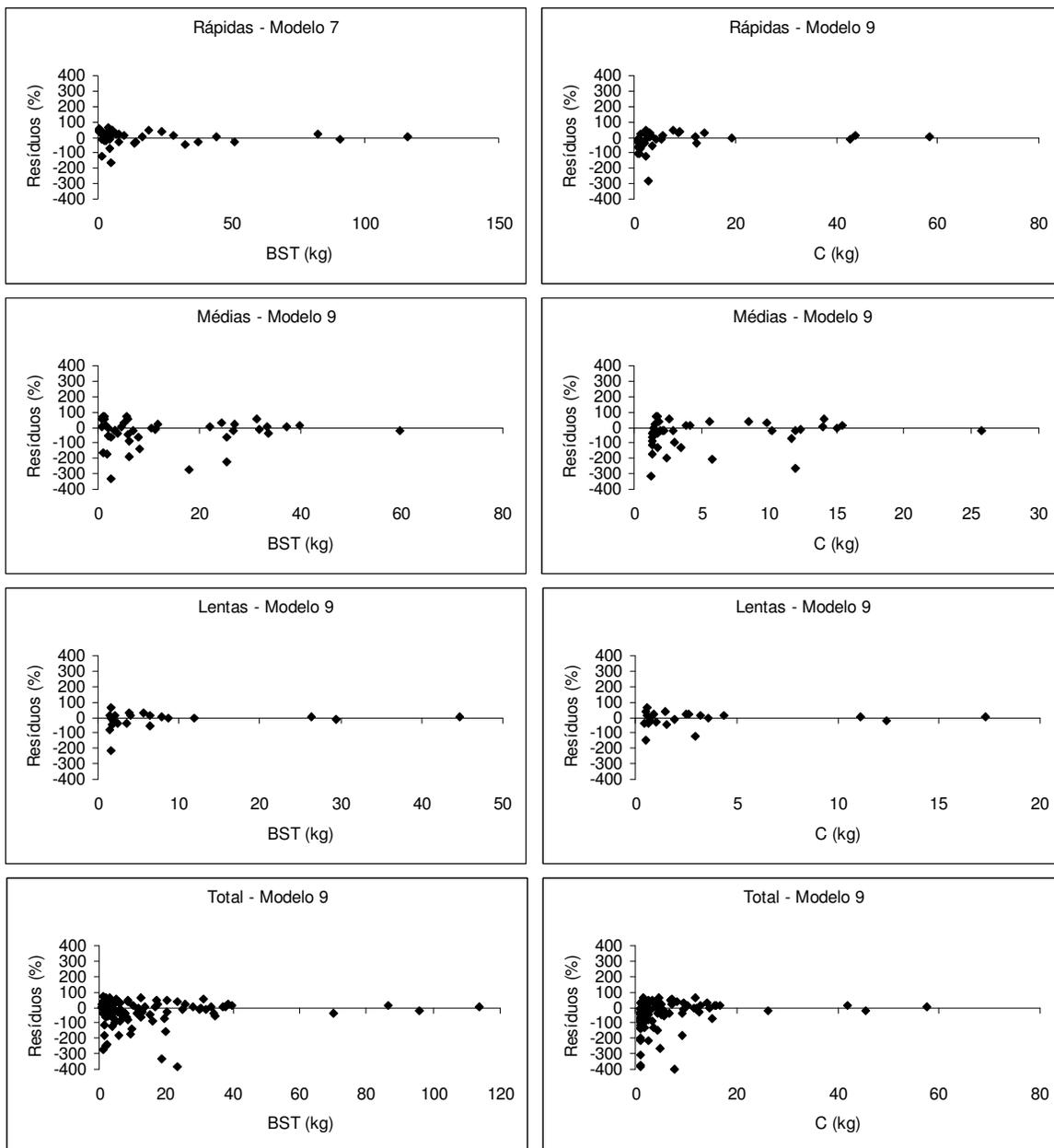
ANEXO IV – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA FOLHAGEM, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO



ANEXO V – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DOS GALHOS, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO, MÉDIO E LENTO



ANEXO VI – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS DE BIOMASSA E CARBONO DA CASCA, PARA O TOTAL DOS DADOS E PARA AS ESPÉCIES DE CRESCIMENTO RÁPIDO MÉDIO E LENTO



## ANEXO VII – MODELOS INICIALMENTE TESTADOS PARA TODAS AS ÁVORES

Nº	Modelos testados
1	$Y = b_0 + b_1 D$
2	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln h$
3	$Y = b_0 + b_1 (D^2 h)$
4	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D^2 h)$
5	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln D$
6	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 h + b_4 D^2 h$
7	$Y = b_0 + b_1 D^2 + b_2 h^2 + b_3 D^2 h$
8	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$
9	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 h$
10	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^2 h$
11	$Y = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 h$
12	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 h$
13	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D) + b_2 \ln(1/D)$
14	$Y = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 h + b_3 D h^2 + b_4 h^2$
15	$\ln Y = b_0 + b_1 1/D$
16	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 Id$
17	$Y = b_0 + b_1 D + b_2 h + b_3 Id$
18	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln h + b_3 \ln Id$
19	$Y = b_0 + b_1 Id$
20	$Y = b_0 + b_1 D^2 Id$
21	$Y = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \ln Id$
22	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(D^2 Id)$