



Figura 4.7: Ilustração da coleta de serapilheira grossa para pesagem.

Fonte: Romeu Dantas de Paiva e Laboratório de Manejo Florestal.

Posteriormente, as árvores que estavam dentro do quadrado foram inventariadas, tomando-se a medida do diâmetro à altura do peito (DAP); depois se efetuou o corte (derrubada) respeitando os procedimentos de segurança, tais como a direção de queda e utilização de equipamentos adequados; para somente então, dar início as pesagens das árvores separadamente (Figura 4.8) por compartimento.

Cada árvore selecionada teve seus compartimentos separados e pesados, o exemplo demonstrado primeiramente refere-se ao tronco, entretanto, o mesmo ocorreu para as demais partes (compartimentos).



Figura 4.8: Ilustração da divisão e pesagem do tronco.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.

A metodologia utilizada para a biomassa acima do nível do solo foi a mesma de Higuchi *et al.* (1998). A diferença, neste caso, era o fato que os quadrados foram preparados para a coleta de raízes (Figura 4.9), ou seja, a biomassa acima do solo era um objetivo secundário, mas, não menos importante.



Figura 4.9: Ilustração da separação e coleta de raízes.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.

Desta maneira, a altura de corte foi mais alta do que a usual. As alturas dos tocos eram de, aproximadamente, 1 m de altura. Tocos com esta altura funcionavam como suporte para alavanca que serviam para movimentar e soltar as raízes pivotantes do solo (Figura 4.10). Depois da separação das raízes, esta parte do tronco foi pesada e acrescentada ao peso do tronco.

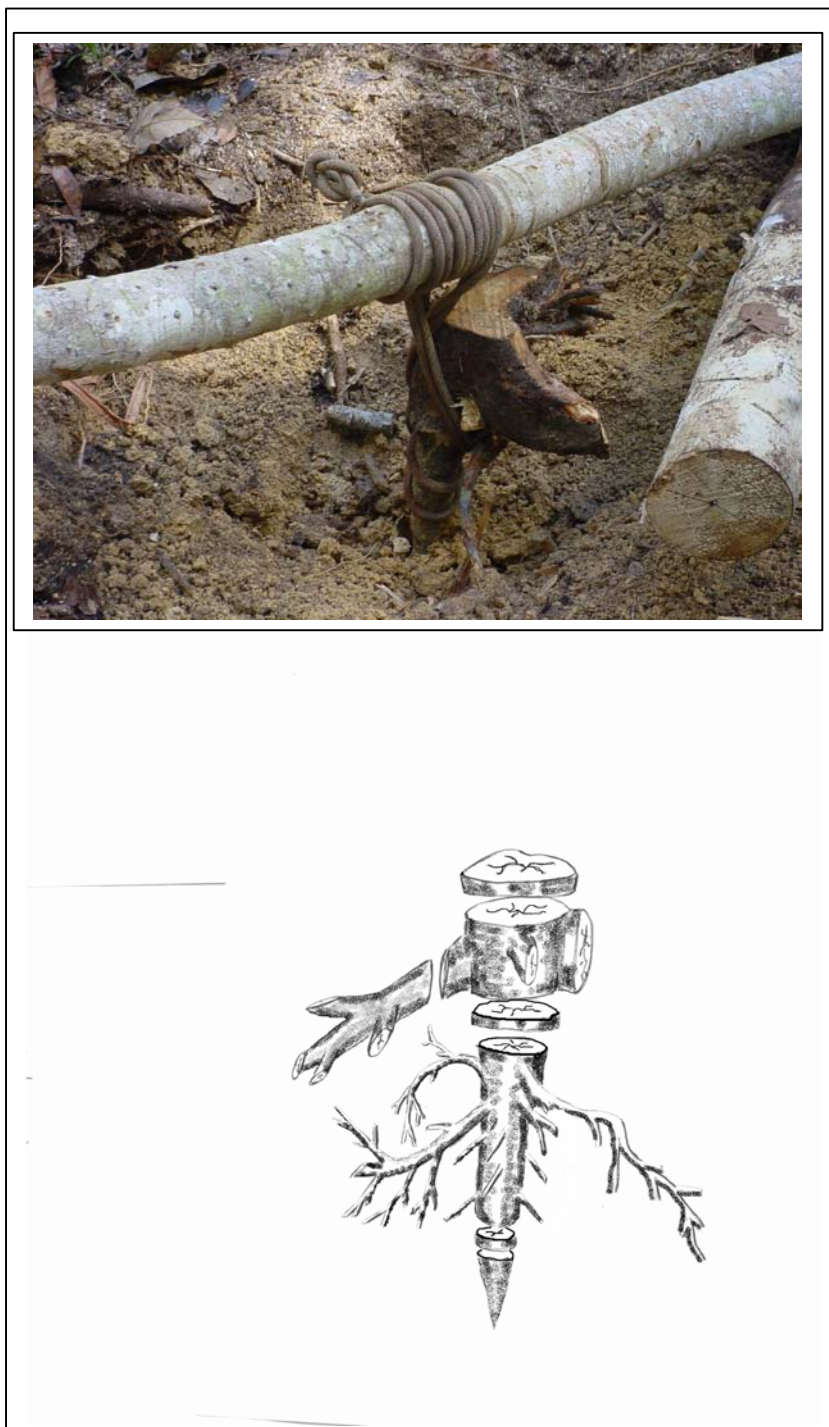


Figura 4.10: Ilustração de raiz pivotante sendo removida do solo.

Fontes: Romeu Dantas de Paiva e Laboratório de Manejo Florestal.

O peso da árvore ainda foi decomposto em: tronco, galhos grossos (diâmetro de base 10 cm), galhos finos (diâmetro de base < 10 cm), folhas e, quando presentes, flores ou frutos (Figura 4.11).

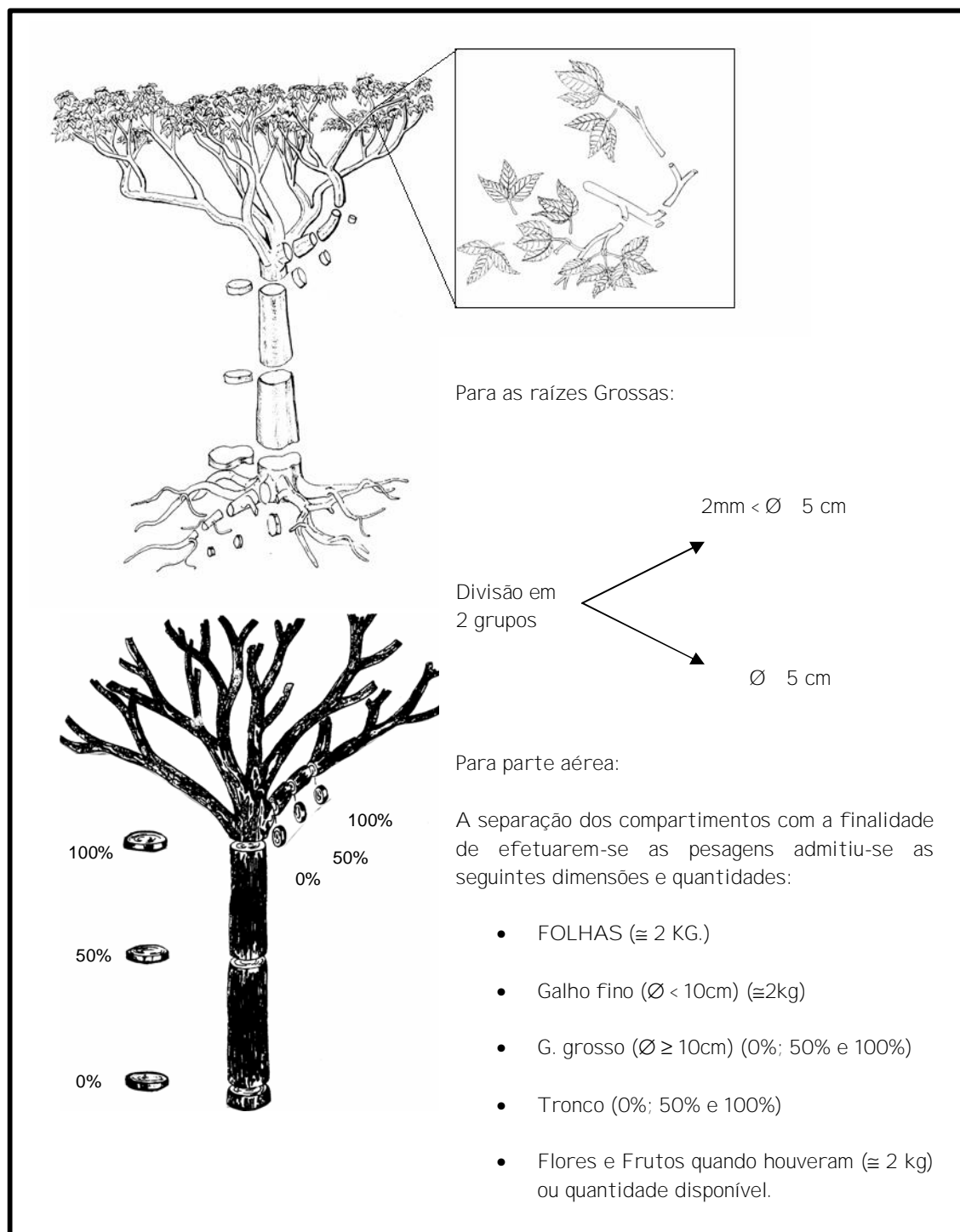


Figura 4.11: Ilustração esquemática da separação e divisão das partes da árvore.

Fontes: Romeu Dantas de Paiva; Santos, 1996 e Laboratório de Manejo Florestal.

Com uma balança fixa (tipo de estivador) com capacidade para 300 kg (Figura 4.12), em geral, todas as partes tinham que ser cortadas em pedaços menores para facilitar a pesagem. As serragens (Figura 5.13) produzidas pela separação das diferentes partes das árvores, foram coletadas, pesadas e acrescentadas aos pesos das respectivas partes. A separação das folhas (Figura 5.14) era feita sobre uma lona. Foram retiradas amostras de todas as partes da árvore para as determinações dos teores de água e carbono.



Figura 4.12: Ilustração da balança com capacidade para 300 quilos utilizada para as pesagens.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.



Figura 4.13: Ilustração de coleta do pó serragem produzido pelo corte.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.



Figura 4.14: Ilustração de coleta e separação das folhas sobre uma lona.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.

Além da coleta e pesagem das diferentes partes da árvore, coletou-se também o material botânico (Figura 4.15), sempre que possível, estando fértil, para os procedimentos de identificação científica junto ao herbário do INPA.

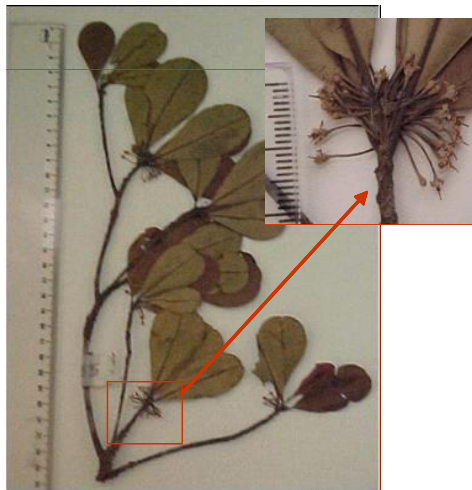


Figura 4.15: Ilustração do material botânico para identificação científica.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.

Além do peso, foram registrados os tempos gastos para completar a coleta de cada quadrado. Esta informação será utilizada para estimar o custo de coleta de biomassa acima do solo em floresta primária. A equipe de coleta é composta de um pesquisador e mais 8 auxiliares com contratos temporários.

O primeiro conjunto de dados foi analisado por Santos (1996) quanto a fitossociologia das espécies arbóreas e a distribuição de diâmetro. O autor concluiu que as dez espécies mais importantes da região de Manaus estão presentes neste conjunto de dados. Os dados observados foram confrontados com a distribuição de Weibull (valores esperados). Ficou comprovado que as primeiras 319 árvores têm a mesma distribuição de diâmetro desenvolvida para a região de Manaus.

#### 4.2.1.2. Biomassa de raízes de floresta primária:

Neste trabalho, a biomassa de raízes envolveu apenas raízes grossas. Para facilitar a coleta, as raízes foram estratificadas em finas (diâmetro entre 2mm a 5cm) e grossas (diâmetro > 5cm). Para a determinação do peso fresco das raízes, foi aberta uma trincheira de 1 m de largura, 1,5 m de profundidade e 10 m de lado. As dimensões iniciais foram definidas em função dos resultados alcançados por Nepstad *et al.* (1994), Jackson *et al.* (1996) e Canadell *et al.* (1996), que afirmam que, normalmente, poucas raízes são encontradas abaixo

de um metro, exceto raízes pivotantes que podem atingir até oito metros. A partir do segundo quadrado, a profundidade passou a ser de 1 m sendo mantidas as outras dimensões.

Inicialmente, o objetivo era conseguir o peso individual de cada árvore cuja projeção do tronco se apresentasse com 51% ou mais para dentro do quadrado. Quando as raízes do indivíduo amostrado extrapolavam os limites do quadrado, a coleta continuava até as últimas raízes; neste caso, parte de dentro era computada para a biomassa da parcela fixa (quadrado) e o total era computado àquele indivíduo. No caso oposto, quando a origem das raízes era de uma árvore fora do quadrado, computou-se o peso das raízes apenas para a parcela fixa sem extrapolar os limites do quadrado; neste caso, a árvore não era identificada e as raízes eram consideradas “a granel”.

A escavação começava antes do início do quadrado, em torno de 60-70 cm, um afastamento necessário para poder coletar, corretamente, as raízes contidas na parcela. Esta parte, não incluída no quadrado, era cuidadosamente escavada para proteger as raízes de árvores que se projetavam para fora da área marcada. As raízes de árvores de fora do quadrado eram cortadas e apenas a parte contida dentro do mesmo, era registrada. A escavação prosseguia até encontrar um toco de árvore já pesada para a biomassa acima do solo, quando se dava o revolvimento da terra. Este processo facilitava a coleta e a identificação das raízes. No caso de árvores com diâmetros superiores a 25 – 30 cm, os tocos pouco ajudavam no processo de revolvimento da terra. No caso de raiz pivotante, a escavação avançava além da profundidade planejada até a retirada da mesma. Neste caso, pequenas toras eram utilizadas como alavancas amarradas ao toco para facilitar a remoção da raiz.

Para determinação de estoques de biomassa das diferentes categorias foram utilizados 11 quadrados de 100 m<sup>2</sup> cada. Nestas parcelas fixas, foram pesados, separadamente: troncos, galhos grossos, galhos finos, folhas, flores ou frutos, serapilheira grossa, cipós, palmeiras, mudas (árvores com DAP < 5 cm) e raízes grossas. Desta forma, é possível determinar as relações entre biomassa viva e morta e entre biomassa acima do solo e de raízes. Além disso, é possível conhecer a composição da biomassa viva acima do solo e as contribuições de cada parte da árvore ao seu peso total.

Para o desenvolvimento de equações alométricas para biomassa, foram recuperados pesos individuais de 131 árvores. Foram desenvolvidas equações específicas para raízes grossas. Foram testadas equações para ajustar o peso total da árvore (parte aérea mais raízes grossas). Se estas equações apresentaram erros fora do limite aceitável, a parte aérea ficou apenas no conjunto de dados para biomassa aérea (v. 4.2.1.1). Neste caso, este conjunto de

dados foi utilizado apenas para as equações de biomassa de raízes grossas (com o erro informado, independentemente, do tamanho).

Além do peso de cada parte de cada categoria de biomassa, foi também registrado o tempo gasto na coleta de dados da parcela fixa. Esta informação será utilizada para estimar os custos de coleta. A composição da equipe de coleta é a mesma da biomassa acima do solo.

#### 4.2.1.3. Biomassa acima do solo em capoeiras:

Os mesmos procedimentos descritos para a coleta de dados do primeiro conjunto de dados de biomassa acima do solo em floresta primária (v. 4.2.1.1.) foram adotados para a coleta da biomassa em capoeiras. A derrubada e pesagem das árvores foram realizadas em parcelas fixas, quadrados de 400 m<sup>2</sup> cada. Os pesos frescos foram determinados para cada parte da árvore (tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e flores ou frutos).

Foram escolhidas duas capoeiras de idades diferentes com, aproximadamente, semelhantes históricos de uso do solo. A capoeira de 14 anos de idade é a S-8 e se localiza na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, que fica no km-47 da BR-174. Esta área foi derrubada e queimada em 1991 e, em seguida, abandonada. A segunda capoeira, de 23 anos de idade, localiza-se no núcleo ZF-2. A diferença de histórico de uso do solo destas capoeiras é que a de 23 anos não sofreu queimada. Em cada capoeira, foram instalados 5 quadrados de 400 m<sup>2</sup> cada.

Os pesos totais da biomassa acima do solo das parcelas fixas foram utilizados para avaliar a dinâmica de capoeiras em termos de acumulação de carbono. Os pesos individuais foram utilizados para o desenvolvimento de equações alométricas. No total, foram coletadas, destrutivamente, 252 árvores da capoeira de 14 anos e 341 da de 23 anos. Estas informações foram utilizadas também para verificar a confiabilidade do modelo de simples entrada de Nelson *et al.* (1999), que foi desenvolvido para capoeiras. Além deste modelo, também foi testado o modelo de Higuchi *et al.* (1998a), que foi desenvolvido para floresta primária.

#### 4.2.1.4. Biomassa de raízes grossas em capoeiras:

Na capoeira de 14 anos, foram sorteadas 6 árvores em cada quadrado para a determinação do peso da raiz. Na capoeira de 23 anos, foram 7 árvores por quadrado. Nos dois casos, a coleta foi individual sem os recursos da trincheira utilizada na floresta primária. A escavação foi feita ao redor da árvore sorteada separando as finas (diâmetro de base entre 2 milímetros a 5 centímetros) e das grossas (diâmetro maior ou igual a 5 centímetros). Em alguns casos, foi necessário o emprego de alavancas para a retirada da raiz.



Esta coleta foi realizada apenas para o desenvolvimento de equações alométricas para a biomassa de raízes de capoeiras. No total, foram coletados pesos de raízes de 30 e 35 árvores de capoeiras de 14 e 23 anos, respectivamente. O número mínimo de 30 árvores foi estabelecido com base na correlação obtida entre peso da raiz e DAP da floresta primária e no teorema de limite central (para não violar as condicionantes da distribuição normal).

#### 4.2.1.5. Amostras para determinação dos teores de água e de carbono:

Para a determinação dos teores de água e de carbono, foram retirados discos de 2-5 cm de espessura do tronco, dos galhos grossos e das raízes grossas. As demais partes da árvore (galhos finos, folhas e raízes finas), as amostras foram “a granel” de, aproximadamente, 2 kg. Todas as amostras são identificadas no campo e, imediatamente, pesadas para obtenção do peso fresco. Depois, são enviadas ao laboratório para secagem e para a determinação do teor de carbono.

As amostras da parte aérea para a determinação dos teores de água e C, foram coletadas de acordo com Higuchi e Carvalho Jr. (1994), com uma pequena alteração. Em vez de 6 discos do tronco, foram retirados 3 discos de, aproximadamente, 5 cm de espessura nas seguintes alturas do tronco: base (0%), no meio (50%) e no topo (100%). O mesmo procedimento foi adotado para a coleta de amostras dos galhos grossos. Em Higuchi e Carvalho Jr. (1994), as amostras eram retiradas em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do tronco e mais uma na altura do DAP; no caso de galhos grossos, só não havia amostras na altura do DAP. A análise de variância, aplicada no primeiro conjunto de dados, indicou que não havia diferença significativa entre as alturas de retirada das amostras.

As raízes grossas foram separadas ainda em tecidos lenhosos e cascas; para as finas, os dois componentes foram misturados. Das raízes grossas, pelo menos três amostras (discos de, aproximadamente, 2 cm de espessura) de cada árvore são coletadas para essas determinações, sendo da base (0%), do meio (50%) e da ponta da raiz (100%). As amostras de raízes finas foram coletadas “a granel” (1 a 2 quilos).

#### 4.2.2. Laboratório:

##### 4.2.2.1. Teor de água:

As amostras trazidas do campo foram colocadas em estufas com ventilação forçada a uma temperatura constante de 65°C. Em geral, o teor de água é obtido sob temperatura de 105°C. Como as amostras deste estudo são de uso múltiplo, a temperatura escolhida foi aquela que é adotada em determinação de teores de nutrientes da vegetação.

Pela experiência adquirida com o primeiro conjunto de dados, nenhuma amostra obteve peso constante em menos de 10 dias. Desta maneira, a primeira pesagem era feita 10 dias após a entrada do material na estufa; a partir daí, a pesagem foi diária até que a amostra alcançasse o peso constante. Foi considerado peso constante quando o mesmo era repetido durante 3 dias (ou pesagens) seguidos.

#### 4.2.2.2. Teor de carbono:

Parte das amostras secadas em estufa foi moída para ser analisada em cromatografia gasosa a partir da combustão a seco usando o analisador CN (Sumigraph NC-900). As últimas amostras têm sido processadas no laboratório de nutrientes de plantas do INPA.

As primeiras amostras de 47 troncos foram processadas na Faculdade de Engenharia Química de Lorena (SP) com a utilização do analisador CHN Perkin Elmer modelo 2400 (Carvalho Jr. *et al.*, 1995). Algumas amostras foram enviadas ao laboratório do CENA-USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura). Este procedimento de envio a outros laboratórios é realizado para validar os teores obtidos no laboratório do INPA.

#### 4.3. Análises estatísticas:

##### 4.3.1. Estoques de biomassa: incertezas

Na área de inventário florestal, o conceito de incerteza do guia de boas práticas do IPCC (IPCC, 2003), é traduzido como intervalo de confiança recomendando um nível de 95% de probabilidade para a quantificação dos erros aleatórios. Isto pode ser expresso como a porcentagem da estimativa central. Na prática, isto é feito dividindo a amplitude do intervalo (valor  $t$  ou  $Z$  vezes o erro padrão da média) pela média da variável de interesse.

A incerteza ao nível de 95%, segundo o IPCC (2003) é calculada da seguinte maneira:

$$IC (95\%) = \text{média estimada} \pm 2 * \text{desvio padrão da média}$$

onde: desvio padrão da média = desvio padrão dividido pela raiz quadrada de  $n$

$$\text{desvio padrão} = \text{raiz quadrada da variância}$$

A incerteza em porcentagem em relação à média estimada é obtida dividindo ( $2 * \text{desvio padrão}$ ) pela média estimada e multiplicando por 100. Esta informação é importante para se ter uma noção da amplitude de variação da média estimada. De acordo com Loetsch *et al.* (1973), Cochran (1977) e Péllico Netto e Brena (1997), o limite de 10% de incerteza é

aceitável em inventários florestais. Neste trabalho, este limite será a referência para avaliação dos estoques de biomassa.

4.3.2. Modelos alométricos: modelos testados, erros e confiabilidade.

4.3.2.1. Modelos testados:

Os melhores modelos para estimar biomassa acima do solo, testados por Santos (1996) e Higuchi *et al.* (1998a) foram re-testados com o novo arquivo de dados ( $n = 494$ ) de biomassa acima do solo da floresta primária e com o de raízes grossas ( $n = 131$ ). Da mesma maneira, os modelos foram utilizados para a biomassa acima do solo e de raízes das capoeiras. foram testados os seguintes modelos matemáticos:

$$(1) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \ln \varepsilon_i,$$

$$(2) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln HT_i + \ln \varepsilon_i,$$

$$(3) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln HC_i + \ln \varepsilon_i,$$

$$(4) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i^2 HT_i + \varepsilon_i$$

$$(5) P_i = \beta_0 D_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

$$(6) P_i = \beta_0 D_i^{\beta_1} HT_i^{\beta_2} + \varepsilon_i$$

$$(7) P_i = \beta_0 D_i^{\beta_1} HC_i^{\beta_2} + \varepsilon_i \text{ para } i = 1, 2, \dots, n.$$

onde:  $P_i$  = peso da massa fresca de cada árvore ou parte dela, em kg;  $D_i$  = DAP de cada árvore, em cm;  $HT_i$  = altura total de cada árvore, em m;  $HC$  = altura comercial em m;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório;  $\ln$  = logaritmo natural. O modelo (5) é o original proposto por West *et al.* (1999) e o modelo (1) é o mesmo, mas na forma linear.

Caso os sete modelos propostos não apresentassem precisão adequada, seriam introduzidas outras variáveis como diâmetro da copa, altura da copa, biomassa da parte aérea e densidade da madeira. Os sete modelos testados já foram comprovados em outros sítios de pesquisas e, por esta razão, tinham chances reais de repetirem os desempenhos também neste estudo. A inclusão de novas variáveis dependeria da análise de benefício e custo.

4.3.2.2. Escolha do melhor modelo:

Para a escolha do melhor modelo estatístico foram adotados os procedimentos tradicionais da ciência florestal, de acordo com Draper e Smith (1966) e Santos (1996). Os indicadores de qualidade do modelo são: maior coeficiente de determinação, menor erro

padrão de estimativa e melhor distribuição de resíduos. A análise de variância para regressão foi também aplicada para verificar a significância dos modelos.

O coeficiente de determinação indica o quanto da variação dos dados é explicado pelo modelo. O erro padrão de estimativa demonstra a precisão do modelo. Para se ter dimensão exata da precisão do modelo, este erro tem que ser calculado em relação à média da variável dependente. Este erro deve ser calculado da seguinte maneira:

$$\text{Erro (\%)} = [ ( \text{EPE} / \sqrt{n} ) / \text{média} ] * 100$$

Em inventários florestais, o erro (%) aceitável é de 10%. Quanto menor o erro (%), mais preciso é o modelo. A distribuição de resíduos indica a consistência do modelo e tem que ser uniforme, independentemente, do tamanho das árvores. A decisão final sobre o melhor modelo dependerá ainda dos custos de coletas das variáveis independentes durante o inventário florestal.

#### 4.3.2.3. Modelos logarítmicos *versus* não logarítmicos:

Os modelos logarítmicos têm sido os mais indicados para estimar a biomassa de florestas tropicais (Brown e Lugo, 1992, Overman *et al.*, 1994, Higuchi *et al.*, 1998a e Chave *et al.*, 2005). Em geral, a saída (output) na maioria dos pacotes estatísticos, o erro padrão de estimativa (EPE) de modelo logarítmico é apresentado com base no logaritmo, natural (ln) ou na base 10 (log). Neste trabalho, o peso individual acima do solo das árvores de floresta primária variou de 8 a 25634 kg, sendo que a magnitude da diferença entre os dois foi de 3092 vezes. Quando estes pesos foram transformados em logaritmo natural, esta magnitude foi de 4,8 vezes.

Nos modelos logarítmicos, a variável dependente é ln P (logaritmo do peso) e nos não logarítmicos é o P (peso). O ln P é uma boa variável dependente, mas não tem o menor sentido prático porque a comunicação sobre biomassa ou carbono é sempre feita por meio de peso. Portanto, o ln P tem que ser transformado em peso, que é real e facilita a comunicação.

Na literatura, há vários índices recomendados para corrigir o erro padrão de estimativa de modelos logarítmicos. Os principais são:

- (i) Índice de Furnival:  $(\text{EPE}) * \exp (\Sigma \ln P/n)$ ;
- (ii) Sprugel:  $(\text{EPE}) * \exp (\text{EPE}^2 / p)$ ; onde p = número de coeficientes;
- (iii) Santos:  $(\text{EPE}) * \exp (\text{QMR}/2)$ ; onde QMR = quadrado médio dos resíduos;

de acordo com Furnival (1961), Sprugel (1983) e Santos (1996), respectivamente. O índice utilizado por Santos (1996) é adotado pelo curso de Ciências Florestais da Universidade Federal de Viçosa. Nos três casos, o fator de correção é o exponencial ou anti-logaritmo da média dos valores transformados em logaritmos ou do erro ( $s_{y,x}\%$ ) e o erro corrigido é o erro estimado multiplicado por este fator.

Estes índices são recomendados apenas quando há necessidade de comparar os desempenhos de modelos logarítmicos e não logarítmicos. Quando modelos não logarítmicos não são envolvidos, estes índices são, completamente, ignorados. Os erros são sempre muito pequenos. O índice de Furnival, por exemplo, corrige com base no inverso do  $\ln P$  médio. No caso de biomassa acima do solo de floresta primária, o peso médio das 494 árvores pesadas foi de 809 kg; ao tirar o exponencial do  $\ln P$  médio, o peso foi 154 kg. O índice de Furnival corrigiria o EPE multiplicando-o por 154. No entanto, a magnitude da diferença entre o peso médio real (809 kg) e o peso médio do exponencial do  $\ln P$  (154 kg) é omitida na fórmula do índice. É importante não perder de vista que, mesmo o  $\ln P$  é uma função de  $\ln D$  (em modelos de simples entrada) e de  $\ln D$  e  $\ln HT$  (em modelos de dupla entrada). Sendo assim, corrigir o EPE com base apenas na variável não é suficiente; a combinação da variável dependente com as independentes tem que ser levada em consideração.

Neste trabalho, o erro padrão de estimativa foi estimado com base na aplicação do modelo logarítmico aos dados originais. O erro não foi corrigido, apenas foi calculado de forma diferente. A soma dos quadrados dos resíduos (SQR), o quadrado médio dos resíduos e o EPE foram calculados, respectivamente, por meio das seguintes fórmulas:

$$SQR = (P \text{ estimado pelo modelo} - P \text{ observado})^2;$$

$$MQR = SQR / (n - c), \text{ onde } c = \text{número de coeficientes do modelo};$$

$$EPE = \sqrt{MQR} = \text{desvio padrão}$$

e foram comparados com os três índices recomendados pela literatura. Comparando ou não com modelos não logarítmicos, este EPE deve ser calculado conforme a fórmula acima porque é mais real.

#### 4.3.3. Dinâmica da floresta:

##### (a) Floresta primária e manejada:

Na área florestal, seqüestro de carbono pode ser calculado usando a seguinte equação:

$$QA(t) = QA(t_0) + \int_0^t [QE(t) - QS(t)] dt$$

onde:

QA (t) = quantidade de biomassa ou carbono armazenada no sistema (povoamento) com o passar do tempo.

QE (t) = quantidade de biomassa ou C que entra no sistema com o passar do tempo.

QS (t) = quantidade de biomassa ou C que sai do sistema com o passar do tempo.

A quantidade que entra no sistema (QE) é o C fixado pela fotossíntese e pode ser decomposta da seguinte maneira: (i) o estoque de biomassa ou C dos indivíduos recrutados para a primeira classe de diâmetro, (ii) incremento individual dos indivíduos que estavam vivos em  $t_0$  e permaneceram assim em  $t_1$ . A quantidade que sai do sistema (QS) é o C perdido pela respiração dos indivíduos vivos e mortos e pela decomposição da matéria morta; pode ser quantificado usando o estoque de biomassa ou C dos indivíduos vivos em  $t_0$ , mas mortos em  $t_1$ .

Quando  $\int_0^t QE(t) dt > \int_0^t QS(t) dt$ , o povoamento está seqüestrando C da atmosfera; isto acontece nos primeiros anos do reflorestamento ou quando a floresta manejada está respondendo positivamente aos tratamentos silviculturais. Na situação seguinte  $\int_0^t QE(t) dt < \int_0^t QS(t) dt$ , o povoamento está emitindo. Neste caso, o C retirado da atmosfera está sendo usado na manutenção da árvore e a taxa de mortalidade é maior do que a de recrutamento. Em reflorestamentos, QE (t) aparentemente iguala-se ao QS (t) em menos de 10 anos, quando se pratica o desbaste ou o corte raso (para lenha ou celulose, no caso do eucalipto). O engenheiro florestal toma essa decisão porque o interesse maior está no tronco e não na árvore como um todo. No entanto, depois de atingir a máxima fixação de C no tronco, a árvore começa a alocar C nas folhas, nos galhos finos e grossos e raízes, ou seja, continua seqüestrando C da atmosfera.

Este princípio foi aplicado na área de manejo florestal experimental do INPA. Esta pesquisa está sendo executada em uma área de, aproximadamente, 2.000 ha da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, entre os km-21 a km-24 da estrada vicinal ZF-2. Essa área é coberta por floresta tropical úmida densa de terra-firme, típica da parte central da região amazônica. O clima é quente e úmido durante praticamente o ano inteiro. A precipitação anual média é de 2.500 mm. Predominam os latossolos amarelos, pobres em nutrientes e ácidos.

Esta área já foi descrita, mais detalhadamente, por inúmeros trabalhos elaborados a partir de informações oriundas desta área de pesquisa, como Higuchi *et al.* (1985a), Higuchi *et al.* (1985b), Jardim (1985), Higuchi (1987), Jardim e Hosokawa (1986/87), Ribeiro (1996), Vieira (1996) e Brasil (1997). Além destes, o relatório final do Bionte, além de descrever a área, apresenta os resultados preliminares sobre os impactos ecológicos do manejo florestal (Bionte, 1997). São trabalhos com ênfases diferentes sobre o mesmo objeto, os quais são úteis na interpretação dos resultados deste trabalho.

Neste experimento foram aplicados três tratamentos, que representam intensidades diferentes de corte. Além da testemunha (T0), foram aplicados os seguintes tratamentos: corte leve (T1), corte intermediário (T2) e corte pesado (T3). Todos os tratamentos de 4 ha cada, foram replicados três vezes em blocos diferentes. O monitoramento da dinâmica da área manejada é realizado em parcelas permanentes. Cada parcela permanente corresponde a um quadrado de 100 x 100 m (um hectare), localizada no centro de um sub-bloco de 200 x 200 m ou tratamento. Os T1 e T2 foram explorados, seletivamente, em 1987; o T3, em 1988. As parcelas exploradas em 1987 e 1988 já foram analisadas preliminarmente por Higuchi *et al.* (1997). As parcelas deste estudo vêm sendo medidas anualmente desde o ano da exploração seletiva de madeira.

Este experimento foi escolhido para ilustrar a aplicação de modelos alométricos para estimar os estoques de biomassa e diferenças de estoques com o passar do tempo, como se fosse um projeto sob a chancela do Protocolo de Quioto. Foram utilizados intervalos de medições de 5 anos, ou seja, de 1990 a 1995, 1995 a 2000 e 2000 a 2005. No total são 12 parcelas permanentes de 1 ha cada. O peso fresco individual de todas as árvores com DAP  $\geq 10$  cm, contidas em cada parcela permanente foi estimado. Também foram estimados, separadamente, os pesos frescos das árvores que foram recrutadas para a primeira classe de DAP e daquelas que morreram durante o período observado. Ao final, foram apresentados os estoques de carbono da vegetação da área experimental e as incertezas associadas, em cada período observado. As diferenças de estoques foram os incrementos periódicos. O carbono foi estimado da seguinte maneira: peso fresco \* teor de água \* teor de carbono.

(b) Projeção da dinâmica: cadeia de transição probabilística

Foi utilizada a cadeia de Markov, de acordo com as adaptações realizadas por Rocha (2001). A matriz foi montada considerando os seguintes componentes: (i) estados  $i$  e  $j = 1, 2, \dots, m$ ; (ii) tempos de observação  $t = 0, 1, \dots, T$ ; (iii)  $p_{ij}(t+1)$  ( $i, j = 1, 2, \dots, m$ ) = probabilidade do estado  $j$  no tempo  $t+1$ , dado o estado  $i$  no tempo  $t$ .

Um processo Markov é considerado homogêneo em relação ao tempo ou tempo homogêneo, se a probabilidade de transição

$$p_{ij}(t, t+1) = \Pr [x(t+1) = j | x(t) = i], \text{ para } i, j = 1, 2, \dots, m.$$

depender apenas da diferença entre  $t$  e  $t+1$ , mas não de  $t$  e  $t+1$ , separadamente (Chiang, 1980).

A montagem da matriz começa com o cálculo de

$$p_{ij} = n_{ij} / n_j$$

onde:  $n_{ij}$  = número de indivíduos na classe  $j$  no tempo  $t+1$ , dada a classe  $i$  no tempo  $t$  e  $n_j$  = número total de indivíduos na classe  $j$  no tempo  $t$ .

A matriz de transição probabilística de uma cadeia de Markov para um processo de  $n$  estados pode ser montada da seguinte maneira:

$$P = (p_{ij}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} j=1 & j=2 & j=3 & \dots & j=m \end{matrix} \\ \begin{matrix} i=1 \\ i=2 \\ i=3 \\ \cdot \\ \cdot \\ i=m \end{matrix} & \left[ \begin{array}{ccccc} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2m} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots & p_{3m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{m1} & p_{m2} & p_{m3} & \dots & p_{mm} \end{array} \right] \end{matrix}$$

sendo que as probabilidades  $p_{ij}$  são não-negativos e a soma de  $p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{im}$  deve ser igual a 1.

A probabilidade de transição  $p_{ij}$  pode ser de  $n$  passos, tomando a forma de  $p_{ij}^{(n)}$  onde  $n$  indica o número de tentativas, ou seja, a probabilidade que a população vai de um estado  $i$  de uma tentativa para o estado  $j$ ,  $n$  tentativas depois.

Neste caso foi escolhido apenas o tratamento de intensidade de corte considerada intermediária – T2 (BIONTE, 1997), que foi executado em 1987 com três repetições. Cada repetição cobriu uma área de 4 hectares com parcela permanente de 1 ha, instalada no centro da mesma. Neste caso, foram considerados  $t = 1995$  e  $t + 1 = 2000$ . A projeção foi realizada para um passo adiante ( $t + 2 = 2005$ ). Como há medições realizadas em 2005, foi possível testar a seguinte hipótese: A distribuição de frequência projetada pela cadeia de Markov é a mesma que a observada.

Foram montadas uma matriz de transição para as 3 repetições juntas, considerando 15 estados ( $i, j = 1, 2, \dots, 15$ ), onde:



estado 1 = recrutamento (R)

estados de 2 a 14 = classes de diâmetro. As classes de DAP são de 5-5 cm e vão de 10, passando pela classe truncada  $DAP \geq 65$  e a classe “próxima” depois de  $DAP \geq 65$ . A movimentação de uma classe para outra, no caso da classe  $DAP \geq 65$ , pode ser uma árvore com  $DAP = 78$ , em 1995, que passou para a classe seguinte (podendo ser  $DAP = 80$  ou  $DAP = 81$ ), em 2000 ou também uma com  $DAP = 119$ , em 1995, que passou para a classe seguinte, em 2000.

estado 15 = mortalidade (M)

(c) Capoeiras

O LMF não monitora nenhum tipo de capoeira, de forma sistematizada pelo inventário florestal contínuo. Um dos poucos estudos de dinâmica de capoeira é o de Lima (2001). Este estudo envolveu a dinâmica da capoeira da S-8 (formada a partir do abandono em 1991) usando variáveis como espécies dominantes, área basal, volume e biomassa acima do nível do solo. No entanto, segundo Higuchi *et al.* (2003), na Amazônia brasileira a área coberta por capoeiras é de, aproximadamente, 17 milhões de ha. Em tempos de mudanças climáticas globais, esta área não pode ser omitida e seu papel na interação entre biosfera e atmosfera precisa ser mais bem estudado.

No presente estudo, a dinâmica de capoeira foi avaliada com base no método direto. O incremento médio anual foi estimado de acordo com a acumulação de biomassa durante a existência de cada uma. Em geral, os estudos de dinâmica de capoeiras são realizados utilizando-se do método direto (Uhl *et al.*, 1988, Salomão *et al.*, 1988 e Fearnside e Guimarães, 1996).

Além da dinâmica das capoeiras, o alvo deste trabalho é utilizar o método direto para coletar dados para o desenvolvimento de modelos alométricos para este tipo de vegetação. Testes de confiabilidade foram realizados sobre os valores observados, com aplicação de modelos existentes como o de Nelson *et al.* (1999), especialmente, desenvolvido para capoeiras. O modelo de Higuchi *et al.* (1998a), especialmente, desenvolvido para florestas primárias, também foi testado.

Foram envolvidas duas capoeiras neste estudo. A primeira é a da S-8, que no momento da coleta destrutiva, tinha 14 anos de idade. A segunda localiza-se no Núcleo ZF-2, que no momento da coleta, tinha 23 anos de idade. Estas duas capoeiras têm históricos de uso do solo

parecidos. A diferença está no fato que a capoeira de 23 anos foi derrubada e abandonada e não queimada como na capoeira de 14 anos.

#### 4.3.4. Testes estatísticos:

O presente estudo envolveu ainda três frentes que requerem testes estatísticos:

##### (ii) Teores de água e de carbono:

As amostras para as determinações dos teores de água e de carbono foram retiradas de três pontos (alturas ou comprimentos) diferentes do tronco, galho grosso e raízes grossas. A pergunta é: os teores são diferentes nas diferentes alturas ou comprimentos? A resposta foi obtida com aplicação da análise de variância (teste-F), de acordo com Neter e Wasserman (1974) e Weiss e Hassett (1982). Se foi significativa, a coleta em 3 pontos diferentes é obrigatória; caso contrário, a coleta em apenas 1 ponto é suficiente.

##### (ii) Modelos alométricos:

Os dados de biomassa coletados de forma destrutiva foram ajustados aos modelos lineares aditivos descritos no item 5.3.2.1. Em cada modelo testado, foram executadas análises de variância (teste-F) e testes de correlação (teste-t) de acordo com Draper e Smith (1966), Neter e Wasserman (1974) e Weiss e Hassett (1982).

(iii) Estoques de biomassa e diferenças de estoques em floresta primária e floresta manejada:

Os estoques dos diferentes estádios sucessionais em tempos determinados foram comparados utilizando a análise de variância de simples entrada, segundo Neter e Wasserman (1974) e Weiss e Hassett (1982). As diferenças de estoques com o passar do tempo foram testadas usando a análise de variância para parcelas repetidas, de acordo com Miliken e Johnson (1984), Gurevitch e Chester Jr. (1986), Potvin *et al.* (1990) e von Ende (1993).

#### 4.4. Intensidade de amostragem, tempo e custos de coletas:

##### 4.4.1. Intensidade de amostragem:

De forma empírica, a intensidade de amostragem para o desenvolvimento de equações alométricas foi definida para a área estudada, considerando apenas a biomassa acima do nível do solo da floresta primária. Para este estudo específico, foram excluídos os modelos contendo a altura comercial (v. 5.3.2.1). Os modelos utilizados foram:

$$(1) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \ln \varepsilon_i,$$

$$(2) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln HT_i + \ln \varepsilon_i,$$

$$(4) \ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i^2 HT_i + \varepsilon_i$$

$$(5) P_i = \beta_0 D^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

$$(6) P_i = \beta_0 D^{\beta_1} HT^{\beta_2} + \varepsilon_i$$

Estes modelos foram aplicados nos seguintes conjuntos de dados:

- a) ZF-2: todos os dados de biomassa acima do solo deste trabalho,  $n = 494$ .
- b) ZF-2 + dados de Tomé-Açu (Araújo *et al.*, 1995):  $494 + 127 = 621$
- c) Quadrados ZF-2 para raízes: campanha realizada para incluir a biomassa de raízes grossas; neste estudo, foram considerados apenas os dados de biomassa acima do solo,  $n = 131$ .
- d) Simulação 1:  $n = 200$  de um sorteio realizado no conjunto da ZF-2; este sorteio foi repetido 5 vezes.
- e) Simulação 1:  $n = 100$  de um sorteio realizado no conjunto da ZF-2; este sorteio foi repetido 5 vezes.
- f) Simulação 1:  $n = 50$  de um sorteio realizado no conjunto da ZF-2; este sorteio foi repetido 5 vezes.

O erro padrão em % (v. 5.3.2.2) foi utilizado como indicador de desempenho dos modelos aplicados nos diferentes conjuntos. O objetivo deste estudo específico é ver, empiricamente, se os diferentes modelos aplicados nos diferentes conjuntos de diferentes intensidades não ultrapassam o limite de 10% de erro.

#### 4.4.2. Tempo e custos de coletas:

Neste caso, o tempo e os custos foram calculados, empiricamente, para coletar a biomassa total (acima do solo + raízes grossas) e apenas a biomassa acima do solo de floresta primária. Nos dois componentes foram consideradas apenas as coletas realizadas em parcelas fixas. A biomassa total foi coletada em quadrados de  $100 \text{ m}^2$  cada e a biomassa acima do solo, em quadrados de  $400 \text{ m}^2$  cada. Estes custos são apenas de coletas de campo e não são incluídos custos de deslocamentos e nem de equipamentos. O trabalho de biomassa é, normalmente, executado por trabalhadores com contratos temporários.

Para efeito de comparações entre a utilização do método direto (verdade de campo) e o indireto (inventários florestais para biomassa), o tempo e os custos de inventários florestais foram também calculados, empiricamente. Foram considerados apenas os inventários florestais realizados, recentemente, pelo laboratório de manejo florestal do INPA. Os inventários avaliados foram: da Resex do Baixo Juruá (Juruá), da empresa MIL Madeireira (Itacoatiara), da empresa ST-Manejo Florestal (Lábrea), da Embrapa BR-174 (Rio Preto da Eva) e da Floresta Estadual de Maués (Maués).