

EDUARDO AGUIAR GIRARD

**VOLUME, BIOMASSA E RENDIMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DO
CRAVEIRO (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum)
EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Henrique S. Koehler

CURITIBA

2005

A Deus,
Aos meus pais, Antonio e Ana Maria,
Aos meus irmãos Rafael, Ricardo, Carolina e Fernando,
os quais são exemplo de amor e honestidade,
DEDÍCO.

BIOGRAFIA

EDUARDO AGUIAR GIRARD, filho de Antonio Candido Fernandes Girard e Ana Maria Aguiar Girard, nasceu em São Paulo, Estado de São Paulo, aos 11 de fevereiro de 1980.

Cursou o primeiro grau na Escola Estadual Ivens Vieira, em Angatuba e o segundo grau no Colégio Anglo, em Itapetininga, São Paulo.

Ingressou na Pontifícia Universidade Católica do Paraná em 1998, graduando-se Engenheiro Agrônomo em 2002.

Iniciou em abril de 2003, na Universidade Federal do Paraná, o curso de mestrado em Ciências Florestais, na área de concentração em Manejo Florestal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente:

À Universidade Federal do Paraná e ao Curso de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realizar este curso;

Ao Prof. Dr. Henrique Soares Koehler, pela amizade, compreensão, confiança e firme orientação em todos os momentos deste estudo;

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PUCPR, proprietária da área em estudo, em especial ao Decano de Ciências Agrárias e Ambientais, Professor Dr. Sylvio Péllico Netto, pelo apoio na realização e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta pela valiosa co-orientação;

Ao Prof. Dr. Cícero Deschamps, pela sempre pronta colaboração e disponibilidade de orientação na área de óleos essenciais;

Pela concessão de bolsa de estudos agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, em especial seus Coordenadores, Nivaldo Eduardo Rizzi e Franklin Galvão, agradeço por me concederem esta oportunidade;

Ao Professor M.Sc. Alexandre Koehler pelo incentivo e decisivo apoio à realização deste curso;

Aos funcionários da secretária de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR, especialmente, Reinaldo Mendes de Souza, sempre prestativo para esclarecer as dúvidas inerentes a prazos e obrigações;

Ao amigo Ricardo Cetnarski Filho, pelo incentivo e apoio;

À gerente, Silvia Maria Cardozo dos Santos, e aos funcionários do Programa de Ação Comunitária e Ambiental de Tijucas do Sul-PR (PROAÇÃO-PUCPR), pelo apoio concedido nas horas de alimentação e estadia durante a realização dos trabalhos de campo;

A minha família por todo o apoio, suporte e amor que ofereceram durante todo o tempo, sem os quais não teria tido forças e vontade de chegar ao final; e

Obrigado a todos aqueles aqui citados, e aos que contribuíram indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|------|
| | LISTA DE TABELAS | vii |
| | LISTA DE FIGURAS | viii |
| | LISTA DE ANEXOS | x |
| | RESUMO | xi |
| | ABSTRACT | xii |
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 | DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE PESQUISADA | 3 |
| 2.2 | VOLUMETRIA | 5 |
| 2.3 | BIOMASSA..... | 10 |
| 2.4 | ÓLEOS ESSENCIAIS..... | 16 |
| 2.5 | MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS..... | 22 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 24 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS DA FLORESTA..... | 25 |
| 3.3 | ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS | 25 |
| 3.4 | ESCOLHA DAS EQUAÇÕES | 26 |
| 3.5 | QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA..... | 28 |
| 3.6 | EQUAÇÕES DE BIOMASSA TESTADAS | 30 |
| 3.7 | EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL..... | 30 |
| 3.8 | ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL..... | 32 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 4.1 | EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS | 34 |
| 4.2 | EQUAÇÕES DE BIOMASSA AÉREA..... | 36 |
| 4.3 | EQUAÇÕES DE BIOMASSA DO FUSTE..... | 38 |
| 4.4 | EQUAÇÕES DE BIOMASSA DAS FOLHAS..... | 40 |
| 4.5 | EQUAÇÕES DE BIOMASSA DOS GALHOS VIVOS..... | 41 |
| 4.6 | DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA AÉREA..... | 42 |
| 4.7 | RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL..... | 44 |
| 4.8 | ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL | 45 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 50 |
| | REFERÊNCIAS | 52 |
| | ANEXO | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| TABELA 1 | RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM OS VOLUMES COMERCIAIS COM CASCA, EM m ³ , EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R ² E s _{yx} % | 34 |
| TABELA 2 | RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA AÉREA SECA, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R ² E s _{yx} % | 37 |
| TABELA 3 | RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DO FUSTE , EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R ² E s _{yx} % | 39 |
| TABELA 4 | RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DAS FOLHAS, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R ² E s _{yx} % | 40 |
| TABELA 5 | RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DOS GALHOS VIVOS, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R ² E s _{yx} % | 41 |
| TABELA 6 | ESTIMATIVAS DE BIOMASSA AÉREA SECA, EM kg, PARA O FUSTE, GALHOS VIVOS E FOLHAS PARA AS SEIS ÁRVORES AMOSTRADAS..... | 42 |
| TABELA 7 | RESULTADOS DE DENSIDADE (g ml ⁻¹) E RENDIMENTOS ABSOLUTO E RELATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL, EM BASE SECA (μg g ⁻¹), PARA AS SEIS ÁRVORES AMOSTRADAS..... | 44 |
| TABELA 8 | RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS FOLHAS, EM kg ha ⁻¹ , MÉDIA POR ÁRVORE, EM kg, E DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL EM BASE SECA, EM g ha ⁻¹ PARA AS ÁRVORES DE CRAVEIRO (<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>) NAS TRÊS PARCELAS DO PELD – PUCPR | 46 |
| TABELA 9 | RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS FOLHAS, EM kg, E DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL EM BASE SECA, EM g, PARA AS ÁRVORES DE CRAVEIRO (<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>) NAS TRÊS PARCELAS DO PELD – PUC/PR..... | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| FIGURA 01 | ÁRVORE DE <i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> EM UM REMANESCENTE FLORESTAL PERTENCENTE À PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ, NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL, ESTADO DO PARANÁ | 4 |
| FIGURA 02 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO | 24 |
| FIGURA 03 | ESQUEMA GENÉRICO PARA CUBAGEM DE UMA ÁRVORE INTEIRA POR SMALIAN, UTILIZANDO COMPRIMENTOS (l) DIFERENTES..... | 26 |
| FIGURA 04 | DISTRIBUIÇÃO DIÂMETRICA DAS ÁRVORES DE CRAVEIRO (<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>) ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO..... | 29 |
| FIGURA 05 | SISTEMA CLEVENGER PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL..... | 32 |
| FIGURA 06 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 1 (MEYER) | 35 |
| FIGURA 07 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 2 (STOATE)..... | 35 |
| FIGURA 08 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (SCHUMACHER-HALL)..... | 35 |
| FIGURA 09 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 5 (STOATE)..... | 37 |
| FIGURA 10 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 6 (PÉLLICO)..... | 38 |
| FIGURA 11 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER) | 39 |
| FIGURA 12 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 5 (STOATE)..... | 39 |
| FIGURA 13 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER) | 40 |
| FIGURA 14 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER) | 42 |
| FIGURA 15 | DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 6 (PÉLLICO)..... | 42 |
| FIGURA 16 | DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS COMPONENTES DA BIOMASSA AÉREA DE CRAVEIRO (<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum), PARA SEIS ÁRVORES ABATIDAS, EM TIJUCAS DO SUL, PR..... | 43 |

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 17 | RELAÇÃO ENTRE A ALTURA COMERCIAL MÉDIA POR CLASSES DE DIÂMETROS E O PONTO MÉDIO DA CLASSE..... | 46 |
|-----------|--|----|

LISTA DE ANEXOS

| | | |
|---------|---|----|
| ANEXO 1 | MODELO DA FICHA DE CAMPO UTILIZADA NA COLETA DOS DADOS DE BIOMASSA VERDE, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE | 63 |
|---------|---|----|

RESUMO

O craveiro, *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum, foi objeto da presente pesquisa, por possuir óleo essencial com elevados teores de eugenol, com bom potencial de aproveitamento para indústria de perfumes, cosméticos e material de higiene, entre outros usos. O objetivo principal do presente estudo, foi ajustar equações de regressão lineares que expressem, para a espécie em questão, o volume total com casca, a biomassa aérea seca total e por compartimentos – tronco, galhos e folhas – e determinar o rendimento de seu óleo essencial. A coleta dos dados dendrométricos necessários foi feita no Município de Tijucas do Sul, Estado do Paraná, em área de Floresta Ombrófila Mista pertencente a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). A base de dados para o ajuste das diferentes equações testadas foram 40 árvores, submetidas à cubagem relativa em pé. Para a determinação da biomassa seca e rendimento do óleo essencial foram derrubadas seis árvores, representativas das classes de diâmetros encontradas, que por meio de método destrutivo foram medidas e pesadas por compartimentos, sendo a matéria seca determinada posteriormente em laboratório. Dentre os modelos testados para a obtenção das estimativas do volume com casca, o escolhido foi $v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$, com um coeficiente de determinação de 0,90 e um erro padrão da estimativa de 10,2 %. O modelo escolhido para as estimativas da biomassa seca aérea foi $y = h(b_0 + b_1d + b_2d^2)$ com $R^2 = 0,97$ e $s_{yx} = 8,2\%$, e para biomassa seca de fuste $y = b_0 + b_1h + b_2d^2 + b_3d^2h$ com $R^2 = 0,97$ e $s_{yx} = 7,9\%$. Para biomassa seca de folhas e galhos vivos o modelo que apresentou melhores resultados foi $y = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2 + b_4d^2h + b_5dh$ com um coeficiente de determinação de 0,95 e 0,99, e erro padrão da estimativa de 10,1 % e 3,14 %, respectivamente. A produção de biomassa aérea seca média do craveiro para as árvores cubadas foi de 21,96 kg, sendo 76 % dessa biomassa pertence ao fuste, 19% aos galhos vivos e 5 % as folhas. As estimativas por ha apresentaram 394,7 kg ha⁻¹ de biomassa aérea seca total e 15,2 kg ha⁻¹ de biomassa seca de folhas. O rendimento de óleo essencial determinado para as seis árvores cubadas foi de 26,4 µg g⁻¹, o que representa um rendimento de 2,64 %. O rendimento de óleo essencial, estimado por ha, a partir das estimativas de biomassa de folhas foi de 402,4 g ha⁻¹ em base seca. As estimativas individuais apresentaram, em média, 45,5 kg de biomassa aérea total seca, 1,8 kg de biomassa seca de folhas e um rendimento médio de óleo essencial de 46,4 g em base seca.

Palavras-chave: *Pimenta pseudocaryophyllus*, funções volumétricas, biomassa, óleo essencial

ABSTRACT

Pimenta pseudocaryophyllus (Gomes) Landrum, has been chosen as subject of this research due to the high content of eugenol in its essential oil composition, showing a great potential for the perfumery, cosmetic and hygienic industries, among others. The main objective of the present study was to fit linear equations to estimate over bark volume, dry total and per compartments above ground biomass, as well as determine essential oil yield. Dendrometric data were taken at Tijucas do Sul, Paraná State, in an area of mixed araucaria-hardwoods forest, belonging to the Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Basic dendrometric data were composed of relative measures on 40 trees of the species. Data for dry biomass and essential oil yield determination came from six cut trees, representing the DBH classes found in the area. Biomass measurements for the different compartments were done by destructive method, with dry weights determined later at the laboratory. Among the fitted models for volume estimation, $v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$, showed a coefficient of determination of 0.90 and a standard error of 10,2 %. The model chosen for estimation of above ground dry biomass was $y = h(b_0 + b_1d + b_2d^2)$ with $R^2 = 0,97$ e $s_{yx} = 8,2$ %. For estimation of bark dry biomass the chosen model was $y = b_0 + b_1h + b_2d^2 + b_3d^2h$, showing $R^2 = 0,97$ e $s_{yx} = 7,9$ %. Dry branches and dry leaves biomass were estimated by the equation $y = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2 + b_4d^2h + b_5dh$, which showed 0,95 and 0,99 as coefficient of determination and 10,1 % 3,14% as standard error, respectively. Dry biomass production for the cut trees was 21.96 kg, being 76 % of the dry biomass belonging to the stem, 19 % to the branches and 5 % to the leaves. The estimates by hectare were 394.7 kg ha⁻¹ of dry above ground biomass and 15.2 kg ha⁻¹ of dry leaves. Oil production yield for the cut trees was 26.4 µg g⁻¹ (D/W), which represents 2.64 % (w/w% DW). The essential oil yield from leaves estimated by hectare was 402.4 g ha⁻¹. Individual estimations showed, on average, 45.5 kg of total dry above ground biomass, 1.8 kg of dry leaves biomass and 46.4 g (d/w) of average essential oil yield.

Key Words : *Pimenta pseudocaryophyllus*, volume functions, biomass, essential oil

INTRODUÇÃO

A existência de extensas áreas florestais no Estado do Paraná foi ponto fundamental para uma colonização abrangente e para o exercício do desenvolvimento da atividade florestal extrativista. As florestas começaram a ser derrubadas aproximadamente em 1895, quando o Estado do Paraná dispunha de uma área de florestas primitivas em torno de 167.824 km², sendo que cerca de 73.780 km² eram compostas de floresta natural de pinheiro (MAACK, 1968).

Dentre as espécies presentes nas florestais remanescentes, existem espécies que possuem óleos essenciais cujo aproveitamento é explorado desde muito, destacando-se entre elas o craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum) da família das Myrtaceae.

Existe um desconhecimento da composição química de óleos essenciais não só das mirtáceas, como também de toda flora brasileira, tão rica no que se refere aos metabólicos secundários.

GOTTLIEB e MORS (1980) citam que cerca de 99,6% de nossa flora é quimicamente desconhecida. O óleo essencial contém inúmeras substâncias cuja atividade biológica recentemente tem sido objeto de investigações.

O óleo essencial obtido do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum) possui inúmeras aplicações, desde o uso em aromatizantes, perfumes, cosméticos e inseticidas até na indústria fármaco-medicinal, dada suas propriedades antibacterianas, analgésicas e sedativas.

O estudo do craveiro poderá fornecer subsídios para formulação de planos de diversificação da forma de utilização racional das florestas, ampliando o leque de produtos não madeiráveis passíveis de aproveitamento sustentável.

LULLEZ (1991) estimou que existem de 500.000 a 750.000 espécies de plantas superiores no globo terrestre e que apenas cerca de 10% foram pesquisadas em seus constituintes químicos. Em tais plantas, graças ao aroma agradável, os óleos essenciais são usados em muitas indústrias para conferir aromas e odores especiais a inúmeros produtos, tais como perfumes, cosméticos, sabonetes, desodorantes, condimentos, doces entre outros. São empregados também para mascarar odores desagradáveis em ambientes de

trabalho e instalações sanitárias, além de serem também usados como solventes e como insumos de produtos das indústrias de plásticos, tintas, borrachas, inseticidas. Possui grande utilidade também na indústria fármaco-medicinal onde são utilizados como antibacterianos, analgésicos, sedativos e na composição de vários medicamentos.

A extração do óleo de folhas de craveiro é discutida neste estudo como alternativa, que pode ser viabilizada por meio de manejo florestal apropriado, sem sacrificar as árvores nativas, que poderiam ser cultivadas e melhoradas.

Considerando a carência de informações sobre essa espécie, este trabalho teve como objetivo testar modelos matemáticos, selecionando os de melhor ajuste e acuidade; que expressem relação com variáveis dendrométricas de fácil obtenção, para estimar:

- o volume comercial do craveiro (m^3);
- a biomassa seca total e por compartimentos do craveiro (kg);
- a produtividade de óleo essencial a partir das folhas ($ml\ ha^{-1}$).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE PESQUISADA

O craveiro, *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum, também é conhecido como louro-cravo, louro, craveiro-do-mato, chá-de-bugre e cravo.

Segundo LORENZI (1998), a espécie é uma planta aromática, de 4 - 10 m de altura, dotada de copa arredondada muito característica, com ramos novos e superfície abaxial das folhas glabras ou densamente cobertas por pelos prateados ou amarelados. Em algumas regiões ocorre como arbusto. Tronco geralmente ereto, de 20 - 30 cm de diâmetro, com casca fissurada, e folhas prateadas na face inferior, de 5 -10 cm de comprimento por 2 – 4 cm de largura, sobre pecíolo de 1 - 2 mm. Possui inflorescências em panículas ou dicásios, com 7 - 15 flores brancas muito perfumadas. Seu fruto é uma baga subglobosa, de polpa suculenta, contendo 1 - 2 sementes mais duras. Segundo o autor a planta é semidecídua, heliófita, seletiva xerófila, pioneira, característica e exclusiva de matas de altitude e da caatinga. Pouco exigente quanto à qualidade do solo, geralmente ocorre como população homogênea em solos pobres, bem arenosos e drenados. As formas que ocorrem na caatinga da Bahia e na mata Atlântica do alto de Serra do Mar desde o Estado de São Paulo até o Estado de Santa Catarina são consideradas variedades distintas. Produz anualmente moderada quantidade de sementes viáveis.

Para BRANDÃO (2002), é uma árvore dotada de tronco escuro, fissurado e copa arredondada, com altura que varia de 4 -10 m, e aromática. Possui folhas glabras e densamente recobertas em suas faces inferiores por pêlos prateados ou amarelados. Seu tronco possui de 20 - 30 cm de diâmetro, apresentando inflorescências axilares em dicásios, com 7 a 15 flores brancas perfumadas. O fruto é uma drupa globosa, elipsóide, escura quando madura, com uma só semente, também globóide, de polpa suculenta. Floresce em dezembro e janeiro e frutifica de maio a julho.

A Figura 1 mostra um exemplar de craveiro encontrado na área estudada.

FIGURA 1 - ÁRVORE DE *Pimenta pseudocaryophyllus* EM UM REMANESCENTE FLORESTAL PERTENCENTE À PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ, NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL, ESTADO DO PARANÁ



FONTE: Autor, 2004

O craveiro, *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum, trata-se de uma espécie arbórea bastante comum no Sul do Brasil, sobretudo na Floresta Ombrófila Mista, onde divide o espaço do sub-bosque com inúmeras outras mirtáceas, lauráceas, aquifoliáceas, entre outras. Essa árvore tem característica exclusiva da vegetação típica das partes elevadas da Serra do Mar, nos domínios da Floresta Ombrófila Densa, se comportando como espécie esciófila e hidrófila, ocorrendo principalmente nas encostas rochosas de solos poucos profundos do alto dos morros, em matas densas e baixas. Ocorre também com expressão na borda oriental do planalto Sul do Brasil, na região da Floresta Ombrófila Mista Montana.

Segundo LORENZI (1998), a espécie ocorre no Brasil nos Estados da Bahia, de Minas Gerais, de Goiás até o Estado de Santa Catarina, nas regiões de altitude, tanto em florestas como em caatingas.

Conforme BRANDÃO (2002), no Estado de Minas Gerais, ocorre na Floresta Semidecídua de altitude, estendendo-se desde os Estados da Bahia e Goiás até o Estado de Santa Catarina, no mesmo tipo de formação.

O craveiro possui um óleo essencial muito aromático, o eugenol, com bom potencial de aproveitamento pela indústria de perfumes e cosméticos em geral. As bagas da espécie,

depois de secas, podem ser utilizadas como substituto ao Cravo-da-Índia, conforme costume datado nos meados de 1800 (LULLEZ, 1991).

Segundo LORENZI (1998), a madeira do craveiro é pesada (densidade $1,00 \text{ g/cm}^3$), dura, de textura fina a média, utilizada pelas pequenas dimensões disponíveis apenas localmente para obras internas em carpintaria, bem como para lenha e carvão. Os frutos são muito procurados por pássaros. A árvore possui qualidades ornamentais que a recomendam para arborização urbana, principalmente para ruas estreitas e sob redes elétricas. É recomendada também para reflorestamentos energéticos e preservacionistas.

Segundo (LULLEZ, 1991), o eugenol é usado como flavorizante em produtos alimentícios, especialmente em carnes e salsichas, sendo também usado em condimentos. Nos produtos de perfumaria é usado em perfumes, cosméticos e perfume para sabonetes, e na medicina é usado como germicida também servindo de matéria prima para a produção do isoeugenol para a fabricação da vanilina (baunilha). Segundo o mesmo autor, o Brasil inclui-se entre os maiores exportadores de óleos essenciais de folhas de mirtáceas, onde esta família encontra-se melhor representada quanto ao número de gênero e espécies. Mesmo assim o Brasil importa muito óleo essencial devido ao desconhecimento da composição química dos óleos essenciais de novas mirtáceas.

KILLEN *et al* (1993) divulgaram que o gênero *Pimenta* Lindl. é economicamente importante na Bolívia, com espécies como a *Pimenta dióica*, espécie da qual se utilizam os frutos como condimento. O gênero possui 14 espécies, sendo distribuídas desde as Antilhas e o sudeste do México até o Brasil e a Bolívia.

2.2 VOLUMETRIA

A dificuldade da tomada de medições de árvores individuais na rotina diária do trabalho florestal propiciou o surgimento no século passado, segundo SPURR (1952), da utilização de métodos para estimativas volumétricas. Dentre os métodos então existentes, o das tabelas de volume foi o mais importante para a época, sendo utilizados por longo tempo. O mérito da elaboração da primeira tabela de volume foi de Heinrich Cotta, em 1817, quando estabeleceu que o volume de uma árvore é dependente dos diâmetros superiores, altura e forma. Para Cotta, quando o volume correto de uma árvore for determinado, ele é válido para todas as outras árvores de mesmo diâmetro, altura e forma.

CHAPMAN e MEYER (1949) mencionam a existência de vários métodos desenvolvidos para o preparo de tabelas de volume, podendo ser classificados em quatro

grupos que são: método gráfico pela elaboração de curvas harmonizadas, cálculos considerando o fator de forma, cálculos por meio de métodos estatísticos (método dos mínimos quadrados) e cartas de alinhamento. Cada um destes tem suas vantagens, e a escolha de um deles depende dos instrumentos disponíveis para cálculos e habilidade técnica do operador.

Segundo PÉLLICO NETTO (1982), para a estimativa do volume de árvores (total ou parcial), pode-se destacar a existência de quatro processos, quais sejam, o cálculo de um fator de forma, equações volumétricas, série absoluta de forma e série relativa contínua de forma.

SPURR (1952) afirma que, para se elaborar tabelas ou se obter estimativas de volume de árvores por meio do método gráfico de nomograma, são necessárias informações acuradas de volume de um certo número de árvores amostra. O uso de fórmulas ou técnicas gráficas para determinar o volume do tronco requer a definição da parte do mesmo, cujo volume deseja determinar, e a tomada de medições diamétricas em vários intervalos ao longo desse tronco.

A estimativa do volume de uma árvore (V_i), por meio do fator de forma, é feita por uma equação volumétrica em função das variáveis diâmetro (d), altura (h), ou outra variável capaz de explicar a forma da árvore (λ), na fórmula:

$$v = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot \lambda}{4}$$

$$\lambda = \frac{v_r}{v_c}$$

onde:

v = volume da árvore em m^3 ;

d = diâmetro, geralmente medido por convenção a 1,30 metros (DAP);

h = altura da árvore em m;

λ = variável complementar de redução ou correção da forma;

v_r = volume real em m^3 ;

v_c = volume do cilindro em m^3 .

Segundo SPAIN (1982), um modelo matemático resulta da formalização do modelo conceitual em termos quantitativos, usualmente expresso como uma equação descrevendo a resposta de um sistema para alguma variável, ou ainda, o modelo matemático pode

também ser derivado das análises estatísticas de dados experimentais, ou pela combinação destes dois princípios. O modelo matemático pode ser simples como uma equação isolada relacionando uma variável com outra, ou pode envolver várias variáveis, desde que correlacionadas.

Segundo MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003), a variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e à altura total (H) ou altura comercial. Uma terceira variável independente que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma.

Segundo ainda os autores, a modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes começou a ser desenvolvida na primeira metade do século XX, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. O uso dessas técnicas começou a ser mais utilizada a partir da década de 50, com o advento dos computadores. Complementam relatando que muitos modelos matemáticos foram gradualmente criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar do uso de alguns desses modelos serem consagrados, nenhum deles será sempre o de melhor ajuste para todas as espécies e condições. Por isso é recomendável testar vários deles para, por meio de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso.

AHRENS (1990), por exemplo, que comparou modelos teóricos e empíricos, afirma que os modelos teóricos são aqueles desenvolvidos com base em alguma teoria biológica do crescimento (não necessariamente crescimento de árvores ou de povoamentos florestais). Nestes casos, os coeficientes de um modelo matemático são associados a algum fenômeno ou característica biológica, sendo denominados também como modelos biológicos. Os modelos biológicos mais utilizados são o de Chapman-Richards e o de Gompertz, os quais têm sido amplamente empregados na ciência florestal.

Volume, variável amplamente estimada no setor florestal, é a magnitude tridimensional de um objeto, expresso em unidades cúbicas, o qual é derivado de algumas unidades fundamentais de comprimento. No campo florestal expressa-se este mais freqüentemente em metros cúbicos (m^3), segundo HUSCH *et al* (1972).

É importante destacar que esta relação depende do crescimento do volume real da árvore, que pode ser determinado por vários métodos, sendo os mais conhecidos, os de

SMALIAN, HUBER, NEWTON e HOHENADL. Pelo uso do método de HOHENADL resulta o fator de forma natural, obtido por medições dos diâmetros em posições relativa do fuste (PÉLLICO NETTO, 1982).

HUSCH *et al* (1972) citam que a determinação do volume de uma árvore ou de partes da mesma é feita em árvores amostra, onde são obtidos os dados básicos para o desenvolvimento das relações entre as dimensões da árvore e o seu volume. Relações deste tipo são utilizadas para estimar o volume de outras árvores com iguais características.

As equações volumétricas são modelos matemáticos que tratam de explicar o comportamento da variável dependente, volume, com outros parâmetros, DAP e altura, que distribuídos nos eixos cartesianos dão a tendência da curva e que pode ser linear, polinomial ou exponencial.

LOETSCH *et al* (1973) diz que a derivação de equações do volume apresenta três fases distintas: a coleta de um número suficientemente grande de árvores de amostras representativas, a medição das estimativas dos parâmetros das árvores que definirão as variáveis dependentes e independentes dos modelos e testes dos diferentes modelos pelo uso de computadores, e a seleção do melhor.

Do conjunto dos modelos ajustados, poderá ter maior aceitação aquele que possuir poucas variáveis e que sejam fáceis de mensurar com exatidão. Isto é, deve apresentar alto valor do coeficiente de correlação múltipla (R), indicando alta correlação com a variável dependente, baixo valor do erro padrão da estimativa percentual ($s_{yx}\%$) e baixa variação residual. A estatística s_{yx} é mais apropriada do que o R^2 para a seleção das equações de regressão, segundo (DRAPER e SMITH, 1966).

Segundo MAZAROTTO (1989) os modelos logaritmizados apresentaram melhores ajustes quando comparados com modelos aritméticos para árvores de bracatinga, quer seja para cada idade em separado ou quando foram agrupadas. GUIMARÃES (1985) verificou que os modelos logaritmizados apresentaram melhores ajustes quando comparados com modelos aritméticos.

WENDLING (1998), depois de fazer uma revisão bibliográfica extensa, testou modelos matemáticos consagrados na prática, e indicou treze equações dentre as inúmeras citadas por LOETSCH *et al* (1973), para se estimar volumes individuais de árvores em pé, quais sejam:

$$v = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h \quad \text{MEYER}$$

$$v = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h \quad \text{MEYER}$$

$$v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3dh^2 + b_4h^2 \quad \text{NASLUND (modificada)}$$

| | |
|--|-------------------|
| $v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$ | STOATE |
| $v = d^2 (b_0 + b_1h)$ | OGAYA |
| $v = b_0 + b_1d^2h$ | SPURR |
| $v = b_0 + b_1d + b_2d^2$ | HOHENADL-KRENN |
| $v = b_0 + b_1d^2$ | KOPEZKI-GEHRHARDT |
| $\log v = b_0 + b_1\log d + b_2\log^2 h + b_3\log h + b_4\log^2 h$ | PRODAN |
| $\log v = b_0 + b_1\log d + b_2\log h$ | SCHUMACHER-HALL |
| $\log v = b_0 + b_1\log (d^2h)$ | SPURR |
| $\log v = b_0 + b_1\log d + b_2/d$ | BRENAC |
| $\log v = b_0 + b_1 \log d$ | B. HUSCH |
| $v = h (b_0 + b_1d + b_2d^2)$ | PÉLLICO |

onde:

v = volume comercial com casca;

d = diâmetro à altura do peito com casca, medido a 1,30 m do solo;

h = altura da árvore, do solo até o extremo superior da copa;

b_0, b_1, \dots, b_j = coeficientes de regressão.

LOETSCH *et al* (1973) afirmam que ao serem utilizados comprimentos relativos das seções, a fórmula de Huber produz erros consideráveis, especialmente na base do tronco. Estes podem ser evitados aumentando-se o número de seções medidas.

HUSCH *et al* (1972) desenvolveram estudo que consistiu na determinação do volume de toras por meio da aplicação das fórmulas de Newton, Smalian e Huber, e comparação dos valores determinados por deslocamento líquido. Os erros percentuais médios obtidos foram de aproximadamente 0% para a formula de Newton, 9% para a formula de Smalian e 3,5% a menos para a formula de Huber. Para seções de até 1,2 m de comprimento os erros foram insignificantes para as três fórmulas.

Segundo AVERY (1970), as fórmulas mais utilizadas para a determinação dos volumes individuais de uma árvore são as formulas de Huber, Smalian e Newton.

Fórmula de Smalian

$$v = \frac{g_0 + g_u}{2} \cdot l$$

Fórmula de Huber

$$v = g_m \cdot l$$

Fórmula de Newton

$$v = \left(\frac{g_0 + 4g_m + g_u}{6} \right) \cdot l$$

onde:

v = volume da seção;

g_0, g_u = áreas transversais nos extremos inferiores, superiores respectivamente;

g_m = área transversal na metade do tronco;

l = comprimento do tronco.

LOETSCH *et al* (1973) recomendam o método de Hohenadl para o cálculo de volume de árvores individuais. O método consiste em dividir o tronco em seções de comprimentos relativos iguais, medindo-se os diâmetros em 10, 30, 50, 70 e 90% da altura total.

2.3 BIOMASSA

Até pouco tempo as indústrias florestais usavam como medida de crescimento e produção das florestas somente o volume de madeira por unidade de área. Embora a variável volume seja a mais usual para representar a produção, pode não ser a mais adequada, dependendo do uso final que se queira dar à madeira, especialmente no caso da produção de carvão, em que o uso do peso de matéria seca é o mais indicado.

Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e as folhas e ramos diminui, gradativamente (CROMER *et al*, 1975; ANDRAE e KRAPFENBAUER, 1982; LARCHER 1984).

Segundo SANQUETTA (2002), biomassa é o termo utilizado para o material de origem biológica, viva ou morta, vegetal ou animal. Na área florestal pode significar toda massa existente na floresta ou em algum compartimento que a compõe, sendo também utilizado o termo fitomassa para referir-se à biomassa de origem vegetal.

O aumento da biomassa dos vegetais depende do potencial genético de cada material para fixar carbono e absorver água e nutrientes, que variam em função de fatores edafoclimáticos como radiação solar, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, e de fatores bióticos como doenças, pragas e competição com outras plantas (BARROS *et al*, 1986).

A acumulação de biomassa é afetada por fatores ambientais e por fatores inerentes à própria planta. Segundo KRAMER e KOZLOWSKI (1960) a acumulação de biomassa é influenciada por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Para os referidos autores, os principais fatores são luz, temperatura, concentração de CO₂ do ar, umidade e fertilidade do solo.

SATOO (1982) observou que uma floresta pode ser definida como um conjunto de árvores que ocupam uma certa área de terra, formando um ecossistema juntamente com muitos outros organismos vivos e mortos em um meio inorgânico que inclui o solo mineral e a atmosfera. As florestas são caracterizadas pela acumulação de biomassa e incluem ecossistemas terrestres, possuindo a maior biomassa por unidade de área de terra. A biomassa de plantas menores é influenciada pelas do estrato superior, tanto qualitativamente como quantitativamente.

O termo fitomassa, segundo BRIGADÃO (1992), é usado para medir material seco de planta, que combinado com zoomassa corresponde a biomassa. Embora nesta definição não seja feita menção sobre a unidade de medida do material seco, deixa implícito que o termo fitomassa corresponde à medida em termos de massa, obtida em plantas individuais, sejam estas florestais ou não.

Segundo ALEMDAG (1980), biomassa é a quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa.

MARTINELLI *et al* (1994) acrescentam que os componentes de biomassa geralmente estimados são: biomassa viva horizontal acima do solo, composta por árvores e arbustos, biomassa morta acima do solo, composta pela serapilheira e troncos caídos, e biomassa abaixo do solo, composta pelas raízes. A biomassa total é dada pela soma de todos os referidos componentes.

A biomassa de erva cidreira brasileira, *Lippia alba* (Mill.), foi estudada por CASTRO (2001) que procurou determinar a melhor época de colheita para a produção de biomassa, rendimento e a composição dos óleos essenciais, considerando variáveis como variação sazonal sobre as diferentes partes da planta e diferentes ambientes de secagem.

A avaliação do potencial produtivo de sítio, por meio de produção de biomassa, é um dos aspectos fundamentais para as decisões de manejo florestal e para o planejamento da indústria que depende de matéria-prima florestal (PEREIRA, 1990).

AVERY e BURKHART (1983) 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).

Todo procedimento de um inventário florestal deve se fundamentar em uma amostragem que seja representativa, ou seja, a amostra deverá refletir de forma igual e sem tendências a população amostrada. Por isso, na quantificação de biomassa é indispensável utilizar métodos e processos de amostragem adequados para que seja possível obter estimativas confiáveis (SANQUETTA, 2002).

Os primeiros trabalhos foram realizados por OVINGTON e MADWICK (1959), que determinou a biomassa como peso seco mediante o corte e secagem em laboratório, de amostras de uma ou varias árvores de dimensões médias, identificadas nos povoamentos.

SCHUMACHER *et al* (2002) utilizaram o método da árvore individual (árvore média da classe diamétrica), onde foram inventariadas algumas parcelas, divididas em classes de diâmetro e selecionada a árvore média de cada classe, sendo esta analisada quando a biomassa em seus diversos compartimentos.

Os modelos de regressão mais utilizados para estimar a biomassa dos diversos componentes das árvores são os modelos logaritmos cujas variáveis independentes freqüentemente utilizadas são DAP e altura total das árvores (CAMPOS e VALENTE, 1993).

Em povoamentos de eucalipto, a madeira contribui com o maior percentual de biomassa da parte aérea das árvores, seguida por casca, galhos e folhas. Essa distribuição de biomassa é variável segundo o porte das árvores. As árvores de grande diâmetro acumulam grande proporção de biomassa no tronco e pouca biomassa nas folhas. Nas árvores com pequeno diâmetro, é grande a proporção de casca e de copa (BELLOTE, 1979).

PARDÉ (1980) observa que as porcentagens de caules, ramos, folhas e raízes na biomassa total certamente variam consideravelmente dependendo da espécie, idade, sítio, e tratamento silvicultural.

A biomassa de folhas e galhos, expressa em peso, pode ser determinada diretamente, por meio da avaliação do peso verde de cada componente, e pelo uso de uma amostra representativa dos componentes da copa para estimar o teor de umidade e calcular o peso seco de cada compartimento. Este procedimento foi aplicado por POGGIANI *et al* (1983) e LEAL (1988).

A avaliação indireta da biomassa procura correlacionar o peso dos galhos e folhas com variáveis de fácil obtenção, como o DAP (SOARES e HOSOKAWA, 1984 e FERREIRA, 1984), apesar de outras variáveis como a altura, comprimento de copa e área basal também serem utilizadas com freqüência.

Segundo SATOO (1982), a estimativa do peso de vegetação na floresta é uma operação que consome tempo. Freqüentemente, este trabalho é realizado em localidades

remotas de modo que métodos eficientes precisam ser empregados. Duas situações distintas podem ser consideradas. Uma é a situação típica de pesquisa, em que amostras de árvores e vegetação subordinada podem ser pesadas em campo. Alternativamente, pode-se estimar o peso de um povoamento usando equações de predição embasada em amostragem sobre uma área geográfica ampla.

A relação alométrica é uma boa maneira de relacionar a biomassa e outras variáveis da floresta, mas outras funções têm sido usadas e segundo WENDLING, (1998), os modelos são os seguintes:

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

$$ps = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 h_t$$

$$ps = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^2 h_t$$

$$ps = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h_t$$

$$ps = b_0 + b_1 d + b_2 h_t$$

$$ps = b_0 d^{b_1} h_t^{b_2}$$

onde:

b_0, b_1, b_2 e b_3 = coeficientes estimados por regressão;

ps = peso de matéria seca (kg);

h_t = altura total (m);

d = diâmetro à altura do peito (cm).

ANDRAE e KRAPFENBAUER (1982), em seu estudo com *Eucalyptus saligna*, ajustaram alguns modelos e decidiram que, neste caso, as equações que melhor estimariam a biomassa seriam:

| | | |
|---------|--------------------------------------|-----------------|
| Folhas: | $ps = 4219,7 - 122,11d + 1,1949 d^2$ | $(R^2=0,979)$; |
|---------|--------------------------------------|-----------------|

| | | |
|---------------|------------------------------|-----------------|
| Galhos vivos: | $ps = -711,03 + 0,61049 d^2$ | $(R^2=0,842)$; |
|---------------|------------------------------|-----------------|

| | | |
|----------------|---------------------------|-----------------|
| Galhos mortos: | $ps = -314,45 + 15,507 d$ | $(R^2=0,808)$; |
|----------------|---------------------------|-----------------|

| | | |
|--------|-----------------------------|-----------------|
| Fuste: | $ps = -810,44 + 1,5119 d^2$ | $(R^2=0,988)$; |
|--------|-----------------------------|-----------------|

| | | |
|--------|---------------------------|-----------------|
| Casca: | $ps = -1487,5 + 43,626 d$ | $(R^2=0,964)$. |
|--------|---------------------------|-----------------|

BROWN *et al*(1989) testaram vários modelos para estimar a biomassa total aérea para árvores individuais na Amazônia, baseando no DAP, altura total e densidade básica da madeira. Os modelos testados foram os seguintes:

$$ps = b_1 + b_2 d + b_3 d^2$$

$$ps = b_1 + b_2(dh_t)$$

$$ps = b_1 + b_2(d^2h_t s)$$

$$\ln(ps) = b_1 + b_2 \ln(d)$$

$$\ln(ps) = b_1 + b_2 \ln(d^2 h_t)$$

$$\ln(ps) = b_1 + b_2 \ln(d^2 h_t s)$$

onde:

ps = peso de matéria seca (kg);

d = diâmetro à altura do peito (cm);

h_t = altura total (m);

s = densidade básica da madeira (g/cm^3).

Para WHITTAKER e WOODWELL (1968), o volume forneceu a melhor estimativa da biomassa da vegetação estudada. JORDAN e UHL (1978) utilizaram o diâmetro ao quadrado multiplicado pela altura ($d^2 \cdot h$) para estimar biomassa. SICCAMA *et al* (1994), por outro lado, afirmaram que as equações que utilizam altura e o diâmetro são mais precisas.

Para HIGUCHI e CARVALHO JR. (1994), altura e diâmetro aplicados em diferentes modelos desenvolvidos para floresta densa de terra firme na Amazônia produzem estimativas confiáveis de biomassa. Afirmaram que a vantagem de se usar o diâmetro como única variável independente, a facilidade de sua obtenção em campo, com poucos riscos de erros amostrais. A vantagem de se acrescentar a altura nos modelos é que permite estimar diferentes biomassas para árvores de diferentes estaturas.

Segundo OVERTON *et al* (1967), a amostragem deve refletir a média do povoamento para evitar erros significativos na determinação do seu peso, isto é, a escolha das árvores deve ser representativa do todo.

HIGUCHI e CARVALHO JR. (1994) relatam que para a determinação da fitomassa, o método de coleta pode ser o destrutivo e, dependendo do objetivo do estudo, pode ser realizado em parcelas de tamanho fixo ou tomando-se a árvore individual como unidade de amostra. Os pesquisadores observaram que tendo-se o peso verde de cada árvore, o passo seguinte é ajustar os modelos matemáticos para o ajuste dos dados observados, que são similares aos modelos utilizados para ajuste de volume.

Conforme SALATI (1994), os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de áreas florestais de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis, determinando, assim, o valor da biomassa seca por hectare, para então ser feita uma extrapolação para a área total considerada. As variáveis comumente disponíveis nos

inventários são os diâmetros medidos nas árvores na altura do peito (DAP), as alturas das árvores e os volumes comerciais de madeira (volume do fuste até o primeiro galho).

Segundo HIGUCHI e CARVALHO JR (1994), os métodos para a obtenção de estimativas de biomassa podem tanto ser diretos como indiretos. Os diretos consistem na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em unidades amostrais de área fixa, enquanto que os indiretos, são aqueles que se baseiam normalmente em dados de inventários florestais.

De acordo com SALATI (1994), as técnicas associadas aos métodos diretos são o abate e pesagem em uma área pré-definida ou por árvores individuais. Segundo o mesmo autor a técnica de abate e pesagem em uma área pré-definida consiste no corte de todas as árvores em determinada área, e medição do volume e da massa dos indivíduos.

PARDÉ (1980) afirma que a estimativa da biomassa pode ser executada pelo procedimento do método da colheita. Segundo o autor, o método da colheita é possível para períodos idênticos, para se obter uma estimativa de biomassa de um povoamento completo e também para efetuar estudos de regressão, relacionando dados facilmente mensurados com biomassa. Um corte raso é feito primeiro sobre um ponto amostral de uma área conhecida. As árvores derrubadas são mensuradas e pesadas (peso verde e seco). Isto fornece dados exatos de biomassa, para uma área conhecida de um povoamento. Dependendo da maior ou menor irregularidade do povoamento, a determinação da biomassa pode ser obtida utilizando-se informações coletadas em outro ponto amostral.

Ainda segundo PARDÉ (1980), a determinação da biomassa de árvores individuais pode ser obtida mediante o método da árvore média. Primeiro requer que um inventário de um povoamento florestal tenha sido feito, usando algum critério para descrição da estrutura, como por exemplo, por classe de diâmetro à altura do peito (DAP). De posse dessas informações, é possível obter, a partir deste inventário, a árvore média do povoamento. Para povoamentos equiâneos e de mesma espécie, a árvore de área basal média parece ser a melhor. Um certo número de árvores médias (5 a 10, por exemplo) são em seguida derrubadas e suas biomassas mensuradas e os valores médios de biomassa para o caule, ramos, e demais porções da árvore, são determinados para uma árvore média. Multiplicando-se o valor da árvore média pelo número de árvores do povoamento, o total de biomassa é obtido.

Segundo HIGUCHI e CARVALHO JR (1994), em campo são obtidos, separadamente, os pesos verdes para o tronco, galhos (grossos e finos), folhas e serragens produzidas pela divisão do tronco e galhos. Em seguida, deve-se retirar discos de aproximadamente três cm de espessura, tanto do tronco como dos galhos, em diferentes

pontos (relativamente ao comprimento total e também em disco na altura do DAP). Todas as amostras do tronco e galhos grossos (discos), galhos finos e folhas devem ser colocados em estufa até estabilizarem-se em peso para a obtenção do peso seco, tendo em vista que os resultados de fitomassa obtidos são normalmente reportados na base do peso seco e não do peso verde.

2.4 ÓLEOS ESSENCIAIS

As plantas alimentícias, forragens e culturas de fibras não são as únicas de importância no mercado atualmente. Outras espécies, cujo metabolismo secundário é valorizado por suas características aromáticas e terapêuticas, ou por serem matéria-prima para a indústria, quer como ingredientes ativos de sabor e fragrâncias da indústria de perfumaria e cosméticos, quer como constituintes nas formulações de produtos para higiene e saúde, além de serem também muito utilizados na medicina alternativa, também possuem importância econômica. Devido a isso, a demanda por óleos essenciais tem aumentado. Alguns constituintes específicos desses óleos são utilizados como auxiliares na química orgânica sintética e nas transformações de estruturas comuns, visando a obtenção de substâncias altamente funcionais de reconhecido valor econômico.

Os óleos essenciais são matérias-primas de origem natural, extraídos de diversas espécies vegetais, a partir das suas folhas, frutos, caule e raízes. Estes compostos naturais possuem intensa propriedade fragrante e aromatizante, sendo largamente utilizados como matéria-prima na produção de fragrâncias para as indústrias de perfumaria, cosmética e higiene pessoal, bem como a aromatização de alimentos e bebidas. Em geral, apresentam-se como misturas de substâncias químicas de natureza terpênica, incluído seus derivados alcoólicos, e aldeídicos, dentre outros. SANTOS (2001) constatou que para o período de 1990 a 2000 a ascensão e predominância dos óleos essenciais cítricos, responsáveis por 80 % das exportações atuais deste setor, decorrente da liderança mundial da indústria citrícola brasileira, no cultivo da laranja e exportação de seu suco. O óleo essencial de laranja apresenta-se, também, como o primeiro item na pauta nacional de produção deste segmento. No entanto, esta elevada participação não foi capaz de evitar a inversão ocorrida na balança comercial dos óleos essenciais, passando de um superávit de US \$ 26 milhões em 1995 para um déficit de US \$ 14 milhões em 2000. SANTOS (2001) também aponta a maior utilização das essências aromáticas naturais e das substâncias químicas deles extraídas, por parte, principalmente das empresas de alimentos, perfumaria, cosmética e

higiene pessoal. Isto se deve pela tendência mundial de aromatização dos bens de consumo e a existência de uma demanda mundial crescente, por parte do consumidor final, por aromas e fragrâncias exclusivamente obtidos a partir de fontes vegetais, obrigando a utilização acentuada dos óleos essenciais na produção industrial.

As espécies produtoras de óleos essenciais não são restritas a grupos taxonômicos específicos, mas ocorrem amplamente no reino vegetal. A escala de distribuição de plantas produtoras de óleos essenciais na ampla variedade de grupos taxonômicos é limitada pelas estruturas celulares epidérmicas que sintetizam e armazenam óleos essenciais por uma grande amplitude de combinações qualitativas e quantitativas dos constituintes químicos dos óleos voláteis dessas plantas.

Em geral, terpenóides são os constituintes predominantes nos óleos essenciais das plantas, mas muitos desses óleos são também compostos de outros químicos, tais como fenilpropanóides. Na realidade, quase todos os óleos essenciais são extremamente complexos em sua composição, em função da presença de uma grande variedade de compostos, pertencentes a diferentes classes químicas (monoterpenóides, sesquiterpenóides, fenilpropanóides, entre outros). Essas classes são mais adiante diversificadas como pertencentes a uma grande variedade tipos de suporte, tais como limonina, mircínea, terpenos e eugenol. As espécies aromáticas, suas variantes genéticas e os óleos essenciais delas extraídos, são freqüentemente reconhecidos com base nos constituintes químicos que elas possuem.

Dentre as espécies produtoras de óleos essenciais que contribuem significativamente no volume mundial comercializado, pode-se destacar a menta (*Mentha piperita*), a citronela (*Cymbopogon winterianus*), o capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*), o eucalipto (*Eucalyptus*), a rosa (*Rosa damacena*), o gerânio (*Pelargonium graveolens*), a lavanda (*Lavandula officinalis*), a camomila (*Chamomilla recutita*), o sândalo (*Santalum album*), a manjerona (*Origanum majorana*) e sálvia (*Salvia officinalis*).

Os óleos essenciais dessas plantas, contidos nas folhas e ou nas estruturas reprodutivas, bem como nas raízes e algumas vezes no tronco, são usualmente extraídos por destilação da biomassa. A produção de óleos essenciais depende não somente do estado metabólico e síntese dos tecidos, mas também é altamente integrada com a fisiologia de toda a planta. Por outro lado, a produtividade do óleo essencial está relacionada com fatores ambientais. Comercialmente essas culturas são vendidas frescas, secas ou na forma de óleo delas destilado, dependendo da tecnologia disponível ou de seu uso final.

Os constituintes dos óleos essenciais das plantas pertencem a duas classes químicas distintas, os terpenóides e os fenilpropanóides. Apesar dos terpenos

representarem os componentes principais, ocorrendo muito mais freqüente e abundantemente, os fenilpropanóides presentes são indispensáveis no sentido de fornecer sabor e odor aos óleos. Biogeneticamente, terpenóides e fenilpropanóides são originados de precursores metabólicos primários diferentes e são gerados por meio de rotas biossintéticas específicas. Os terpenóides são sintetizados a partir de cinco unidades de carbono de pirofostato de isopentenil, e seu isômero, pirofosfato de dimetilalil. Apesar dos fenilpropanóides não serem constituintes comuns nos óleos essenciais, algumas espécies contêm porções significantes desse componente. Quando ocorrem, sua natureza e propriedades alteram significativamente o valor sensorial do óleo. Estes compostos são sintetizados a partir do aminoácido aromático fenilalamina, daí o nome desta classe.

Uma das características mais importantes do acúmulo de óleo é sua dependência no estágio ou fase de desenvolvimento da planta como um todo, bem como com as partes, órgãos, tecidos e células. TURNER *et al* (2000) observaram que a formação de tricomas glandulares (local de síntese e armazenamento de óleo essencial) de *M. piperita* ocorre até o momento em que a expansão do tecido foliar cessa.

A ontogenia também afeta a composição do óleo, mas somente em poucos casos de forma extensiva. Por exemplo, DHAR e DHAR (1997) verificaram na espécie *C. jwarancusa*, que o rendimento mais baixo na produção de óleo foi no estágio I (plantas verdes) com (0,5%), e o maior rendimento no estágio nove (quando as plantas apresentaram um terço das folhas na coloração marrom), com rendimento de (1,64%). CHALCHAT *et al* (1994) extraíram óleo em diferentes estágios de floração da *Artemisia annua* e verificaram que no pico da floração o rendimento foi maior, ficando na ordem de 0,5%. FRANCIS (1971) verificou na extração do óleo de gerânio (*Pelargonium graveolens*) que o volume de óleo tende a aumentar no pico da floração.

Os estudos conduzidos por SERGEEVA e SOLZNEVA (1979), com *Mentha piperita* e os de SAKATA e MITSUI (1980), com *Mentha arvensis*, mostraram que os níveis do mentol foram maiores em folhas maduras. Conforme WEISS (1997), as folhas novas de *Eucalyptus citriodora* tem freqüentemente um nível maior de óleo do que as folhas mais velhas.

Os óleos voláteis das plantas são sintetizados e armazenados em estruturas epidérmicas ou mesófilas, cuja estrutura tende a ser característica do grupo taxionômico a qual pertencem. Essas estruturas estão presentes nas folhas, raízes, tronco, partes florais e frutos incluem glândulas secretoras (eucalipto) e pêlos ou tricomas glandulares.

A partição do carbono fixado fotossinteticamente é um importante componente do mecanismo fisiológico da produção de óleos essenciais. Desse modo, as características

fotossintéticas e o desempenho dos tecidos, entre outros fatores, são o estágio central na construção de carbono divisível ou disponível para a síntese dos componentes dos óleos.

Parâmetros climáticos, tais como temperatura atmosférica e precipitação têm sido apontadas como fatores que influenciam a composição e conteúdo de óleo essencial em várias plantas aromáticas. Por exemplo, em gerânio, um aumento na temperatura máxima reduz o conteúdo de óleo, aumentando, no entanto a percentagem de citronelol e seu éster formiato. THAPPA *et al* (2004), observaram em plantas de *Echinacea purpurea* (L.) que tanto a temperatura como a umidade afetam o índice e a composição do óleo essencial.

O fotoperíodo possui um forte componente de suporte no desempenho das plantas, especialmente no que diz respeito aos óleos essenciais de plantas que estão presentes nas folhas, onde a proliferação vegetativa e biomassa foliar são normalmente consideradas como a “colheita de óleo”. Além disso, o fotoperíodo pode manifestar sua influência pela modulação dos mecanismos metabólicos relevantes das plantas, a partir da produção e partição fotossintética de carbono em diferentes vias metabólicas, levando às classes (terpenóides e/ou fenilpropanóides) ou aos grupos (monoterpenóides, sesquiterpenóides) dentro das classes de metabólitos secundários, ou na seqüência final da transformação metabólica específica. A qualidade e quantidade de radiação eletromagnética também afetam a biossíntese dos óleos essenciais. FAROOQI *et al* (1999) observaram com *Mentha* sp. que a concentração do óleo aumentou em plantas sob dia curto afetando também a composição do óleo.

A aplicação de fertilizantes geralmente afeta a produção de óleo essencial, aumentando a quantidade de biomassa produzida por unidade de área. O alto custo e a demanda por fertilizantes exigem um ajuste fino quanto às necessidades e manejo das culturas.

Dentre os insumos agronômicos, reguladores de crescimento de plantas têm influenciado de modo favorável a produção e qualidade dos óleos essenciais, em capim-limão, menta e sálvia. Aplicações foliares de reguladores de crescimento aumentam significativamente o número de ramificações, produção de folhas e conteúdo de óleo essencial em seus componentes.

Limitação na quantidade de água é uma restrição ambiental importante para a produtividade das plantas. Deficiências de umidade não apenas limitam o crescimento e a sobrevivência das plantas, mas também induzem várias respostas metabólicas e fisiológicas, tais como fechamento dos estômatos, declínio na taxa de crescimento, acúmulo de solutos e antioxidantes e na expressão de genes específicos do estresse. A produção de metabólitos secundários também pode ser estimulada por um estresse ambiental. As

quantidades de óleos essenciais produzidos sobre condições de déficit hídrico podem ser alteradas ou não, dependendo da espécie e da magnitude do estresse, como por exemplo, no capim-limão. THAPPA *et al* (2004) verificaram com *Echinacea purpurea* (L.), que essa espécie floresce de junho até dezembro e os fatores climáticos tais como a temperatura e a umidade afetam o índice e a composição do seu óleo essencial.

A salinidade do solo, além de ser um problema agroecológico, limita a produção de várias culturas em todo o mundo. A tolerância de culturas convencionais é vasta no que diz respeito aos efeitos da salinidade em várias culturas, porém é rara na produção de óleos essenciais. O aumento no estresse salino e ácido causa a redução na produção de brotos e raízes em citronela e capim-limão. ANSARI *et al* (1988), comparando o efeito de diferentes níveis de cloreto de sódio (NaCl) em três espécies de *Cymbopogon*, concluíram que a salinidade resultou na supressão do crescimento das plantas e um declínio na concentração de óleos essenciais e na produção dessas espécies.

As folhas velhas pertencentes ao dossel de gramíneas aromáticas são inclinadas a sofrerem danos devido à formação de orvalho durante o inverno. Em algumas espécies de citronela e capim-limão, a maior parte das folhas sofre danos irreversíveis ou sofre longos períodos de recuperação após a retomada de temperaturas favoráveis. O efeito da temperatura na qualidade do óleo de citronela, cultivada sob temperaturas controladas de 21° a 27° C, produziram óleo com elevado nível de citronelol quando comparadas com aquelas sob regimes de temperatura variando de 27° a 32° C. KIM *et al* (2005) verificaram que a composição de monoterpenos variou significativamente com a espécie e a idade. As maiores emissões destes compostos para as espécies *C. japonica* e *P. koraiensis*, foram encontradas em árvores mais velhas, enquanto que na espécie *C. obtusa* isto ocorreu em árvores mais novas. As taxas mais elevadas da emissão do monoterpene nestas espécies foi encontrada no verão, comparados com as emissões do outono e do inverno.

No que tange ao craveiro, BARROSO *et al* (1984) relatam que essa espécie compreende cerca de 100 gêneros e abrange, aproximadamente, 3500 espécies, distribuídas na América tropical e Austrália.

Segundo CAMPOS CORRÊA e GOTTLIEB (1970), o *Pseudocaryophyllus pabstianus* Legrand é uma espécie arbórea que foi descoberta na floresta do Corcovado, no Estado do Rio de Janeiro. Por arraste de vapor, obteve-se um óleo essencial, a partir das folhas, com rendimento entre 0,8 e 1,2%. A análise cromatográfica do óleo essencial revelou dez diferentes componentes. Entre eles estão: α -pipeno, limoneno e geraniol como componentes menores e citronelal, isopulegol e citronelol como componentes mais abundantes.

Conforme CRAVEIRO *et al* (1981), o *Pseudocaryophyllus jaccoudii* Mattos, que tem o nome comum de “erva-doce do mato”, é uma árvore cujas folhas são empregadas na confecção de chás medicinais, tendo sido obtido das folhas 2% de óleo essencial, cujos componentes principais identificados foram o anetol, trans-anetol e cis-anetol.

FENIK (1972) descreve o *Pseudocaryophyllus guili* (Speg), como uma mirtácea presente na selva montanhosa subtropical. Por hidrodestilação obteve-se o óleo essencial, a partir das folhas, com rendimento entre 0,17 e 0,21%. A análise cromatográfica gasosa identificou o metileugenol como constituinte principal, além de ácidos graxos e fenóis.

LEHTONEN (1982) identificou o eugenol como principal componente do óleo essencial extraído das folhas de craveiro, e segundo o mesmo autor, o eugenol foi identificado em 31 marcas de whiskies de vários países, utilizando a análise por cromatografia gasosa. CRAVEIRO *et al* (1981) citam a presença de eugenol como constituinte principal da *Pimenta pseudocaryophyllus*, vulgarmente conhecida como craveiro-da-terra.

PINHEIRO (2002) avaliou o rendimento de óleo essencial de arnica (*Lychnophora pinaster* Mart.) por meio de diferentes métodos de secagem e triagem fito-química. Os resultados demonstraram que o maior rendimento foi obtido de plantas frescas.

Trabalhando com *Eucalyptus smithii* R. T. Bker, FABROWSKI (2002), avaliou a produção de óleo essencial no Município de Colombo, Estado do Paraná, com o intuito de explorar a essência desta espécie para a comercialização no mercado brasileiro de óleos essenciais e para a exportação, procurando caracterizar esta espécie e ampliando as informações já existentes, bem como da sua inclusão na Farmacopéia Brasileira.

SETH (2003) estudou a importância das árvores com referência à produção de alimento, açúcar, condimentos, combustível, fibras, taninos, borracha, gomas, resinas, cortiça e óleos essenciais. SARANGI *et al* (2000) estudaram o sândalo, *Santalum album*, uma espécie arbórea, para a produção de óleo de sândalo utilizando técnicas de micro-propagação.

SVOBODA *et al* (2001) estudaram a bioatividade do óleo essencial de eucalipto na Austrália e Tasmânia, onde esta espécie é endêmica. Existem aproximadamente 500 espécies de eucaliptos com 200 variedades híbridas, que possuem madeira dura e, devido a grande diversidade do gênero, estão adaptadas a um amplo espectro de condições ambientais. A composição dos óleos essenciais variam de espécie para espécie, permitindo desta forma uma grande amplitude de usos que vão desde aplicações medicinais, perfumaria e industriais. Dentre as 20 espécies que podem produzir quantidades de óleo comercialmente viáveis, somente de 10 a 12 espécies são responsáveis por toda a

produção mundial. REZZI *et al* (2001) estudaram a composição do óleo essencial extraído de acículas de *Pinus nigra*, na Córsega, estabelecendo por meio de análise de componentes principais dois grupos de óleos essenciais, que podem ser identificados a partir da quantidade de determinadas substâncias químicas.

2.5 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Os métodos de extração variam conforme a localização do óleo essencial na planta e com a finalidade de utilização do mesmo. Segundo SIMÕES *et al* (1999), existem cinco métodos de extração de óleos essenciais, a saber, os métodos de enfloração, prensagem, extração com solventes orgânicos, extração por fluido supercrítico e extração por arraste de vapor d'água.

O método de enfloração já foi muito utilizado, mas atualmente é empregado apenas por algumas indústrias de perfumaria. É principalmente aplicado em algumas plantas com baixo teor de óleo, mas de alto valor comercial. É empregado para extrair o óleo essencial de pétalas de flores. Essas pétalas são depositadas, a temperatura ambiente, sobre uma camada de gordura, durante um certo tempo. Em seguida, as pétalas esgotadas são substituídas por novas até a saturação total, quando a gordura é tratada com álcool. Para se obter o óleo essencial, o álcool é destilado a baixa temperatura e o produto é assim obtido, conforme SIMÕES *et al* (1999).

O método de prensagem é normalmente empregado para a extração dos óleos essenciais de frutos cítricos. Os pericarpos desses frutos são prensados e a camada que contém o óleo essencial é, então, separada. Posteriormente, o óleo essencial é separado da emulsão formada com a água por decantação, centrifugação ou destilação fracionada.

Os óleos essenciais podem ser extraídos com solventes (éter ou diclorometano), porém, outros compostos lipofílicos são também extraídos, além do óleo essencial, e por isso, os produtos assim obtidos raramente possuem valor comercial.

O método de extração por fluido supercrítico é atualmente um dos métodos de opção para extração industrial de óleos essenciais, pois permite recuperar os aromas naturais de vários tipos, e não somente óleo essencial, de modo bastante eficiente. Nenhum traço de solvente permanece no produto obtido, tornando-o mais puro do que aqueles obtidos por outros métodos. Para tal extração, o CO₂ é primeiramente liquefeito por compressão e, em seguida, aquecido a uma temperatura superior a 31 °C. Nessa temperatura, o CO₂ atinge um quarto estado, no qual sua viscosidade é equivalente a de um gás, mas sua capacidade

de dissolução é elevada como a de um líquido. Uma vez efetuada a extração, faz-se o CO_2 retornar ao estado gasoso, resultando na sua total eliminação.

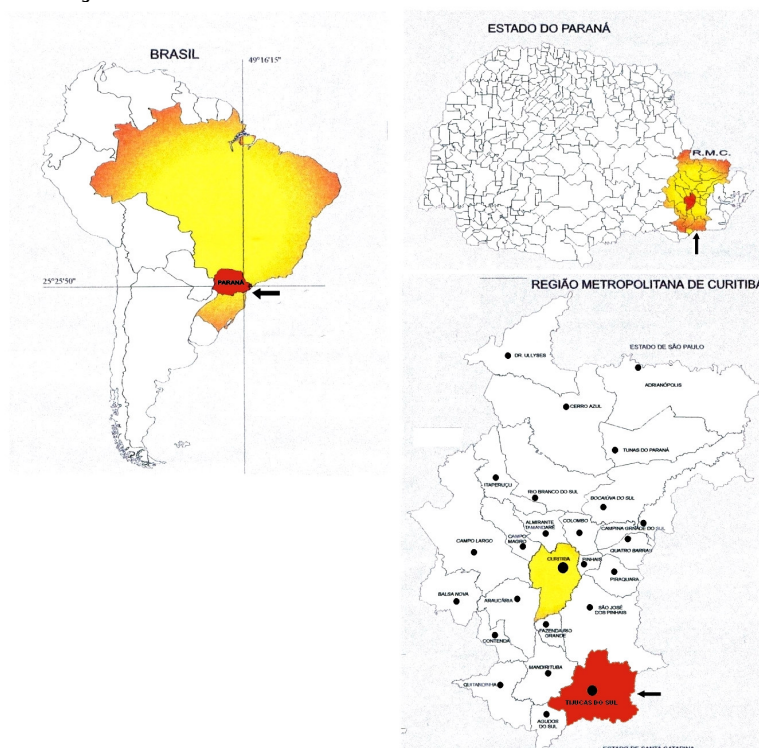
Na indústria de óleos essenciais existem três tipos de extrações distintas de arraste por vapor d'água. Essa distinção é feita pela forma na qual se estabelece o contato entre a amostra e a água, na fase líquida ou de vapor. A primeira é chamada de hidrodestilação, onde a amostra fica imersa na água contida numa caldeira. Na segunda, chamada de destilação pela água e vapor, a amostra permanece contida em um recipiente logo acima da caldeira, ficando assim separada da água. Na terceira, chamada propriamente de destilação pelo vapor de água, a amostra é mantida em recipiente separado e o vapor de água que flui provém de um gerador próprio independente. A indústria utiliza, preferencialmente, a extração por vapor d'água por ser reduzido o contato da amostra com a água.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no município de Tijucas do Sul, Estado do Paraná, em uma área pertencente à Pontifícia Universidade Católica do Paraná. O remanescente florestal insere-se nos domínios da Floresta Ombrófila Mista Montana, situada a uma altitude média de 900 metros, latitude sul 25°10'11" e longitude oeste 49°12'30", sendo o clima regional, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cfb, clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrência de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca, com temperaturas dos meses mais quentes abaixo de 22° C e dos meses mais frios abaixo de 18° C. O solo predominante é latossolo vermelho-amarelo, com topografia suave ondulado. A Figura 2 apresenta a localização da área de estudo.

FIGURA 2- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO



FONTE: AUTOR, 2005

3.2 CARACTERÍSTICAS DA FLORESTA

A área do estudo é composta por uma floresta com cerca de 16 hectares. A tipologia predominante na área é de uma Floresta Ombrófila Mista Montana Secundária, não obstante existirem alguns exemplares da floresta primária, sobretudo de *Araucaria angustifolia*, os quais fortemente identificam este tipo de floresta.

As últimas intervenções de retirada de madeira ocorreram em 1975, onde as principais espécies exploradas foram a imbuía (*Ocotea porosa*), o pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), o cedro (*Cedrela fissilis*) e o craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*).

Em períodos alternados, o antigo proprietário da área tinha por costume soltar alguns animais no interior da floresta. Este processo não é mais vigente há cerca de nove anos.

A escolha dessa área para execução do presente estudo deu-se em função da abundância do craveiro, bem como pela proximidade e facilidade de acesso e circulação interna.

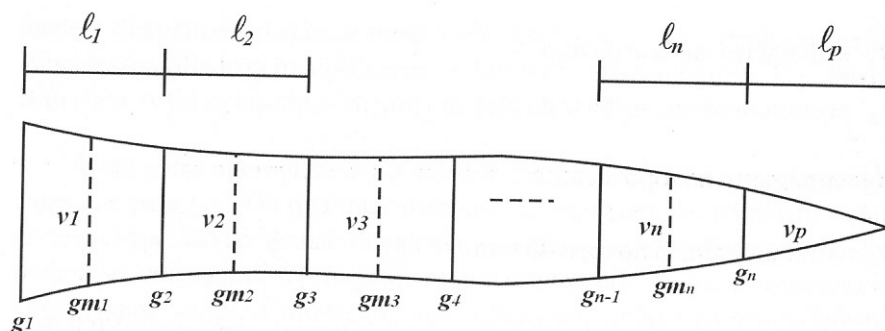
Os trabalhos de campo para a coleta de dados do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*) foram realizados em três etapas distintas:

- a) estimativas volumétricas;
- b) estimativas da biomassa;
- c) estimativas da produção de óleo.

3.3 ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS

Foram amostradas 40 árvores na área, as quais foram cubadas em pé com o auxílio de uma escada, segundo a metodologia de cubagem proposta por Smalian, tomando medidas de circunferências à alturas relativas ao longo do fuste, até o ponto de inversão morfológica da árvore. A marcação dos pontos de medição foi realizada em 14 posições relativas à altura comercial da árvore, sendo elas 0,0%, 1,0%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85%, 95% e 100% dessa altura, bem como foi marcada a posição a 1,30 metros (CAP). Os volumes foram calculados pela fórmula de Smalian, segundo esquema de cubagem apresentado na Figura 3, e cuja fórmula de cálculo é apresentada a seguir.

FIGURA 3 - ESQUEMA GENÉRICO PARA CUBAGEM DE UMA ÁRVORE INTEIRA POR SMALIAN, UTILIZANDO COMPRIMENTOS (l) DIFERENTES



(FONTE: ADAPTADO DE MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003)

Fórmula de Smalian para cálculo do volume:

$$v_i = \left[\frac{g_1 + g_2}{2} \right] \cdot l$$

onde:

v_i = volume da secção i ;

g_1 = área transversal da parte inferior da secção;

g_2 = área transversal da parte superior da secção;

l = comprimento da secção;

$v_p = 0$ (volume comercial).

3.4 ESCOLHA DAS EQUAÇÕES

A partir dos volumes reais individuais com casca, calculados com o uso dos dados obtidos na cubagem das árvores e dos dados dendrométricos coletados durante a cubagem, foram ajustados modelos de equações lineares simples e múltiplas para a obtenção das estimativas volumétricas com casca.

Uma vez obtidas as equações, as estimativas dos diferentes parâmetros são feitas substituindo-se as variáveis independentes da equação pelos valores medidos no campo, para cada árvore. Dessa forma, a partir do diâmetro a 1,30 metros do solo (DAP) medido em cada indivíduo, é possível estimar a variável dependente desejada, por meio das equações ajustadas.

Os modelos testados foram os seguintes:

| | |
|---------------|--|
| Meyer | $v = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h$ |
| Stoate | $v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$ |
| Schumacher | $\log v = b_0 + b_1\log d + b_2\log h$ |
| Spurr | $v = b_0 + b_1d^2h$ |
| Péllico | $v = h (b_0 + b_1d + b_2d^2)$ |
| Husch | $\log v = b_0 + b_1 \log d$ |
| Spurr | $\log v = b_0 + b_1\log (d^2h)$ |
| Hohenadl Kren | $v = b_0 + b_1d + b_2d^2$ |

onde:

v = volume com casca em m^3 ;

d = diâmetro a 1,30 metros do solo (DAP) em cm;

h = altura comercial em m.

A seleção das melhores equações foi feita considerando-se as estatísticas Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Padrão da Estimativa (s_{yx}) e Somatório dos Resíduos. O Coeficiente de Determinação indica o quanto da relação existente entre a variável resposta e as variáveis explicativas foram absorvidas pelo modelo ajustado. Quanto mais próximo de 1 (um) for seu valor, melhor o modelo ajustado. O Erro Padrão da estimativa indica o erro médio que se comete quando se utiliza a equação ajustada para se obter uma estimativa. Quanto mais próximo de zero for seu valor, melhores são as estimativas obtidas. O Somatório dos Resíduos representa a soma das diferenças entre os valores reais utilizados para o ajuste da equação e os valores estimados pelo uso da equação ajustada. Quanto mais próximo de zero for a soma dos resíduos, melhor o modelo ajustado. Foram escolhidas as equações que apresentaram melhores estimativas para as estatísticas acima descritas.

Para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação logarítmica, foi necessário recalcular o erro padrão da estimativa, corrigindo pelo fator de correção de discrepância logarítmica de Meyer, a fim de que se pudesse comparar as estatísticas obtidas para os diferentes modelos testados.

Esse recálculo foi feito utilizando as seguintes fórmulas:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(v_o - v_e)^2}{n - k - 1}}$$

Fator de correção de discrepância logarítmica de Meyer:

$$s_{yx} = e^{0,5(s_{yx})^2}$$

$$s_{yx} \% = \frac{s_{yx}}{\bar{v}} \cdot 100$$

onde:

v_o = volume observado em m^3 ;

v_e = volume estimado em m^3 ;

\bar{v} = volume médio em m^3 ;

n = número de observações;

k = número de variáveis independentes;

s_{yx} = erro padrão da estimativa;

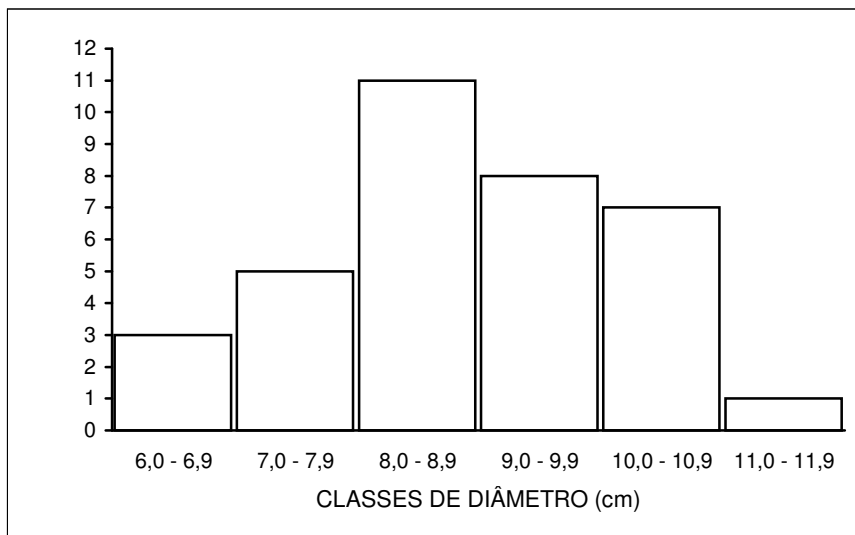
$s_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em %.

3.5 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA

A quantificação da biomassa verde do craveiro, aqui entendida como a porção acima do solo, foi realizada usando-se o método destrutivo, onde o indivíduo é abatido e seus componentes separados nos diferentes compartimentos, considerando cada árvore como uma unidade de amostra. Foram selecionadas seis (6) árvores de craveiro, uma em cada classe de diâmetro das árvores encontradas na área em estudo, como mostra a Figura 4. O número de árvores abatidas foi limitado, pois existem restrições de abate que visam minimizar os danos causados na floresta, sob o ponto de vista ecológico e ambiental.

Cada uma das árvores abatidas foi cortada e separada em porções referentes aos galhos vivos, folhas, fuste com casca e a porção denominada miscelânea (material que não se enquadrava em nenhuma das classes anteriores). Os componentes maiores da biomassa, após serem separados em porções menores, foram pesados no campo com balança de braço tipo pescador, com capacidade para pesar até 15 kg e com precisão de 100 gramas.

FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DAS ÁRVORES DE CRAVEIRO (*Pimenta pseudocaryophyllus*) ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO



Para a determinação do teor de umidade de cada componente procedeu-se de modo diferenciado. Na porção relativa ao fuste, que compreende a madeira e a casca, foram retirados três discos do tronco da árvore, o primeiro na base, o segundo no meio e o terceiro na ponta, abaixo do ponto de inversão morfológica (altura comercial).

A determinação da biomassa verde dos galhos vivos, folhas e miscelânea foi feita separando-se e pesando-se cada porção. Os dados de biomassa verde obtidos foram transcritos na ficha apresentada no Anexo 1.

Os diferentes tipos de amostras coletadas, que contemplam o tronco com casca, os galhos vivos e as folhas foram acondicionados em sacos de papel, identificados e enviados ao Laboratório de Solos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Em laboratório essas amostras foram secas em estufa de renovação e circulação de ar, a uma temperatura constante de 75° C até atingir o peso constante, para posterior determinação dos pesos secos.

Com base nos dados relativos a biomassa verde e teores de umidade, para cada componente amostrado nas árvores abatidas, foram calculados as quantidades de biomassa seca, pelo uso da seguinte fórmula:

$$bs = bv \cdot (1-u)$$

onde:

bs = biomassa seca (kg);

bv = biomassa verde (kg);

u = teor de umidade (%).

3.6 EQUAÇÕES DE BIOMASSA TESTADAS

Tendo obtido os pesos em kg, de cada um dos componentes das seis (6) árvores abatidas, para determinação da biomassa verde e posterior transformação em biomassa seca, e de posse dos dados dendrométricos obtidos durante a cubagem das mesmas árvores, foram ajustados modelos de equações lineares simples e múltiplas para a obtenção das estimativas das quantidades de biomassa seca para o craveiro.

Os modelos testados foram os seguintes:

$$ps = b_0 + b_1d$$

$$ps = b_0 + b_1d + b_2h$$

$$ps = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2 + b_4d^2h + b_5dh$$

$$ps = b_0 + b_1d^2h$$

$$ps = b_0 + b_1h + b_2d^2 + b_3d^2h$$

$$ps = h (b_0 + b_1d + b_2d^2)$$

onde:

ps = peso seco em kg;

d = diâmetro à altura do peito em cm;

h = altura comercial em m;

b_0, b_1, \dots, b_n = coeficientes estimados.

A seleção das melhores equações foi feita considerando-se as estatísticas Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Padrão da Estimativa (s_{xy}) e Somatório dos Resíduos.

3.7 EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

Para as seis (6) árvores abatidas, representativas de todas as classes diamétricas existentes na área, foi determinada a fitomassa total de folhas de cada árvore e a partir delas foram retiradas amostras e encaminhadas para o laboratório de Engenharia de Alimentos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

As folhas foram coletadas com o auxílio de uma tesoura de poda em quatro pontos distintos da copa das árvores e misturadas, formando amostras compostas, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas para o laboratório de extração de óleo essencial.

Uma vez no laboratório, as folhas foram retiradas dos sacos, cortadas em tiras de 1 cm de largura, no sentido transversal do seu pedúnculo para facilitar a entrada no balão volumétrico. Depois de cortadas, foram pesadas 200 gramas de folhas para que se determinasse a quantidade de água a ser utilizada na extração. Para o processo de extração foi utilizada água deionizada, em proporção de três vezes o peso da amostra.

O processo de extração de óleo utilizado foi o de destilação por arraste de vapor de água, num sistema de Clevenger (Figura 5), onde as folhas foram colocadas no balão de extração volumétrico, que foi aquecido até 80°C.

O rendimento foi calculado para a relação massa do óleo, medida por sua densidade a partir do volume de óleo obtido no sistema de extração, dividido pela massa seca da amostra. O rendimento de óleo obtido de cada amostra foi então calculado pela fórmula:

$$R\% = \frac{\text{volume}_{\text{óleo}} \times \text{densidade}}{\text{massa}_a} \times 100$$

onde:

R% = rendimento em porcentagem;

volume_{óleo} = volume de óleo extraído em ml;

densidade = massa de um ml de óleo em g;

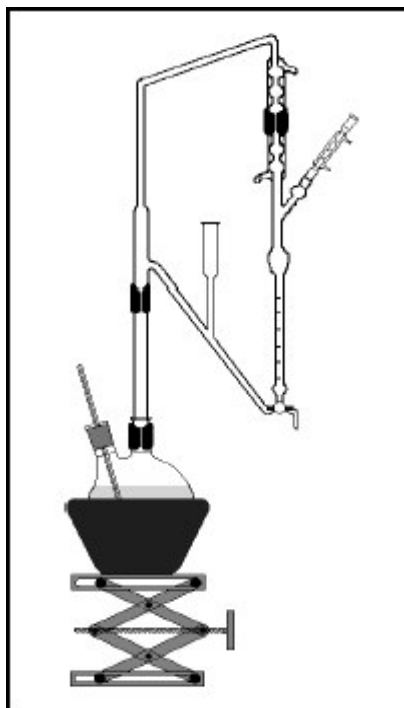
massa_a = massa seca da amostra de folhas em g.

Para a realização do procedimento de extração foram utilizados como líquido de arraste água deionizada, e o conjunto extrator tipo Clevenger, que é composto de balão de destilação de 1000 ml, condensador de bolas e manta de aquecimento, conforme mostra a Figura 5.

Foi observado que, à medida em que o volume de óleo aumentava na superfície do aparelho de Clevenger, pequenas gotículas retornavam ao balão de destilação e, quando o volume de óleo na superfície do aparelho aumentava consideravelmente, havia o retorno do mesmo em forma de gotas para o balão de destilação. Isto foi devido a densidade do óleo essencial ser muito próximo à da água e, também, o vencimento da tensão superficial do aparelho de Clevenger, resultando assim, um menor rendimento na extração do óleo essencial. Para evitar a perda de rendimento, foi necessário retirar o óleo toda vez que

atingisse um certo volume e, assim, foi possível obter um maior rendimento na extração do óleo, o que também foi observado por LULLEZ (1991).

FIGURA 5- SISTEMA CLEVINGER PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL



FONTES: AUTOR, 2005

3.8 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL

A partir dos dados de três amostras de um hectare cada, integrantes da rede de parcelas permanentes do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD), localizadas na Fazenda Experimental de Tijucas do Sul, Estado do Paraná, pertencentes à Pontifícia Universidade Católica do Paraná, a quantidade de biomassa verde das folhas das árvores de craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*) presentes em cada amostra foi estimada por meio da equação biomassa de folhas estimada. A altura comercial das árvores foi estimada pela função:

$$hc = b_0 d^{b_1}$$

onde:

hc = altura comercial em m;

d = diâmetro à altura do peito em cm;

b_0, b_1 = coeficientes da equação.

O total de óleo essencial de cada amostra foi obtido pela soma das quantidades individuais estimadas, tendo sido também estimada a média e o intervalo de confiança da quantidade de óleo essencial por árvore:

$$IC = [\bar{x} - (t_{\alpha} \cdot s_{\bar{x}}) \leq \mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha} \cdot s_{\bar{x}})] = 1 - \alpha$$

onde:

IC = intervalo de confiança;

\bar{x} = estimativa da média;

t_{α} = valor tabelado ao nível de 5% probabilidade;

$s_{\bar{x}}$ = erro padrão;

μ = média paramétrica;

α = nível de probabilidade (5%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS

Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem o volume comercial individual do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*), em m³, em função do diâmetro a altura do peito e da altura comercial estão apresentados no Tabela 1.

TABELA 1 - RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM OS VOLUMES COMERCIAIS COM CASCA, EM m³, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R² E s_{yx}%

| EQUAÇÃO | F | R ² | s _{yx} % |
|---|--------|----------------|-------------------|
| 1 - $v = 0,000096 - 0,001637 d - 0,005883 h + 0,000307 d^2 - 0,000105 d^2h + 0,001983 dh$ | 84,45 | 0,91 | 9,9 |
| 2 - $v = - 0,000059 + 0,000512 d^2 + 0,000121 d^2h + 0,000038 h$ | 125,54 | 0,90 | 10,2 |
| 3 - $\log v = - 8,703208 + 1,891482 \log d + 0,597721 \log h$ | 139,12 | 0,88 | 10,5 |
| 4 - $v = 0,003449 + 0,000064 d^2h$ | 218,81 | 0,84 | 12,9 |
| 5 - $v = h (- 0,00114 + 0,0000028 d + 0,000081 d^2)$ | 100,43 | 0,83 | 16,3 |
| 6 - $\log v = - 7,206412 + 1,549400 \log d$ | 74,29 | 0,65 | 18,8 |
| 7 - $\log v = - 4,751421 + 0,003089 \log(d^2h)$ | 122,33 | 0,76 | 16,1 |
| 8 - $v = - 0,000451 + 0,001369 d + 0,000132 d^2$ | 52,66 | 0,72 | 17,8 |

Os resultados obtidos mostraram que as equações 1 (Meyer), 2 (Stoate) e 3 (Schumacher-Hall) apresentaram os melhores coeficientes de determinação, bem como os menores erros padrão da estimativa em porcentagem. As diferenças encontradas nos valores do coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa em porcentagem são desprezíveis do ponto de vista estatístico, apresentando valores aceitáveis do ponto de vista florestal, levando-se em conta tratar-se da estimativa de volume de uma espécie que ocorre em florestas naturais.

A distribuição dos resíduos dos modelos 1 (Meyer), 2 (Stoate) e 3 (Schumacher-Hall) pode ser observada nas Figuras 6, 7 e 8. Pela análise gráfica das distribuições, verifica-se que os três melhores modelos não apresentam diferenças marcantes quanto sua dispersão, permitindo dessa forma escolher o modelo 2 (Stoate) como o mais apropriado, visto que esse modelo é mais simples do que o modelo 1 (Meyer), com estatísticas iguais do ponto de vista prático.

FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 1 (MEYER)

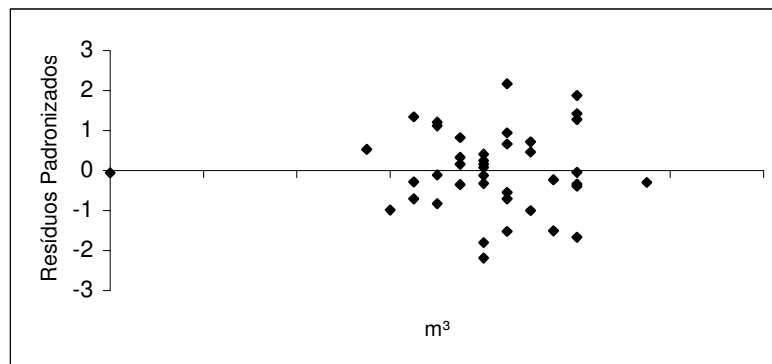


FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 2 (STOATE)

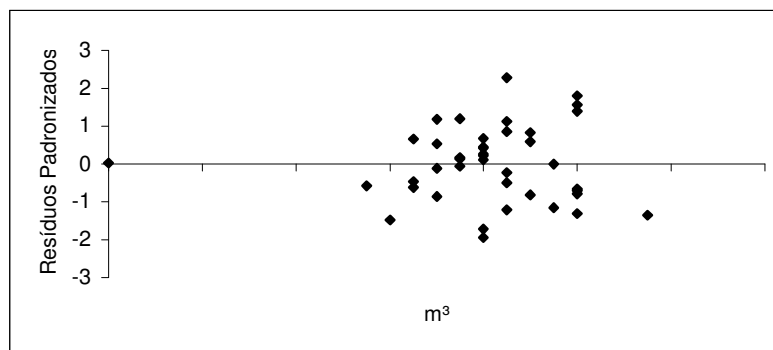
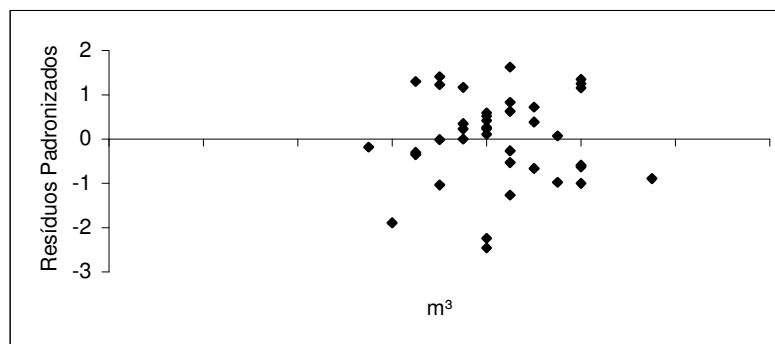


FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (SCHUMACHER-HALL)



Como exemplo de ajuste de equações de volume, PATON (1984), dentre treze modelos testados para a confecção da tabelas de volume comercial com casca para a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), escolheu a equação logarítmica de SPURR,

$$\text{Log } v = - 4,48820703 + 1,044443097 \log d^2h$$

que apresentou coeficiente de correlação múltipla de 0,99, erro padrão da estimativa $s_{yx} = 0,044$ e erro padrão da estimativa em porcentagem de 16,01 %, como a de melhor ajuste, seguida pela equação de SCHUMACHER e HALL.

WATZLAWICK (2003) e KOEHLER(2002), trabalhando ambos em Floresta Ombrófila Mista, utilizaram para a estimativa dos volumes totais do fuste a integração parcial da função polinomial de quinto grau desenvolvido por PETERS (1971) que resultou na equação:

$$y = 1,2000 - 1,5093 x + 3,1739 x^2 - 0,5433 x^3 - 8,9023 x^4 + 4,8832 x^5$$

onde:

$$y = d_i/d;$$

$$x = h_i/hc;$$

h_i = altura parcial do fuste em metros;

hc = altura comercial da árvore em metros;

d = diâmetro à altura do peito em cm;

d_i = diâmetro parcial do fuste em cm.

e cujos coeficientes de determinação e erro padrão da estimativa em porcentagem foram respectivamente de 0,92 e 13,43 %.

4.2 EQUAÇÕES DE BIOMASSA AÉREA

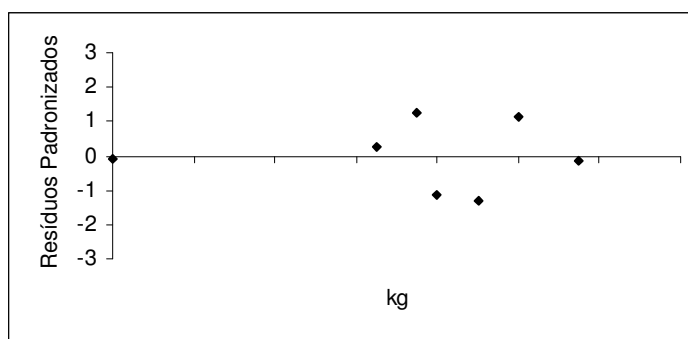
Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem a biomassa aérea seca do craveiro, entendida como aquela acima do solo, em kg, em função do diâmetro à altura do peito e da altura comercial estão apresentados no Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA AÉREA SECA, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R² E s_{yx} %

| EQUAÇÃO | F | R ² | S _{yx} % |
|---|--------|----------------|-------------------|
| 1 - $y = 5,092633 + 1,830661d$ | 8,48 | 0,55 | 30,2 |
| 2 - $y = 3,423637 + 0,994122 d + 2,130317 h$ | 5,29 | 0,58 | 29,0 |
| 3 - $y = 0,003297 + 1,730917 d + 6,253799 h + 0,165655 d^2 - 0,03107 (d^2h) - 0,60033 (dh)$ | 31,25 | 0,96 | 8,9 |
| 4 - $y = 13,15335 + 0,019166 (d^2h)$ | 1,36 | 0,06 | 44,0 |
| 5 - $y = 0,08562 + 5,147161 h + 0,364603 d^2 - 0,08531 (d^2h)$ | 123,61 | 0,98 | 5,7 |
| 6 - $y = h (0,077154 + 5,875792 d - 0,37259 d^2)$ | 88,13 | 0,97 | 8,2 |

Os menores erros padrão da estimativa em porcentagem foram os das equações 5 (Stoate) e 6 (Péllico). As diferenças encontradas nos valores dos erros padrão da estimativa desses modelos são pequenas e desprezíveis do ponto de vista estatístico e florestal. O modelo 6 (Péllico) apresenta um coeficiente de determinação igual ao modelo 5 (Stoate), porém, mesmo apresentando um erro padrão da estimativa maior, é um modelo mais simples, o que é sempre desejável. Os resíduos padronizados de ambos os modelos estão apresentados nas Figuras 9 e 10.

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 5 (STOATE)



SOCHER (2004), modelando biomassa em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, obteve dentre 22 modelos testados, como melhor modelo para estimar a matéria seca das árvores, a equação:

$$ps = 26,3634 + 0,0859 d^2ht - 0,7699 d^2 + 0,8993 d_{base} - 1,6643 ht - 1,7464 h_{pim}$$

onde:

ps = peso de matéria seca da árvore, em kg;

d = diâmetro a 1,30 m do solo em cm;

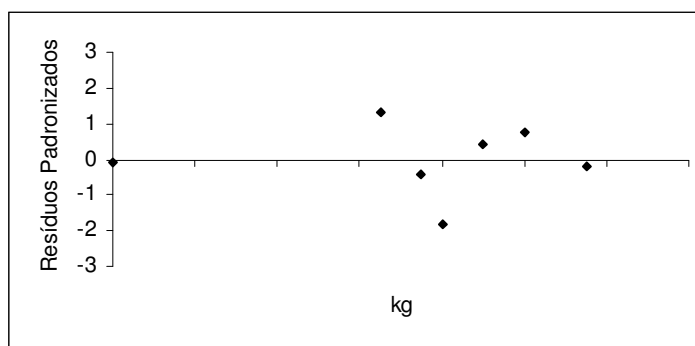
ht = altura total em m;

d_{base} = diâmetro na base a 0,10 m de altura em cm;

h_{pim} = altura do ponto de inversão morfológica em m.

Essa equação apresentou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,95$, com um erro padrão da estimativa em porcentagem $s_{yx}\% = 23,84\%$.

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 6 (PÉLLICO)



WATZLAWICK (2003) estimou a biomassa arbórea de uma Floresta Ombrófila Mista Montana em função de respostas espectrais das diferentes bandas e índices de vegetação das imagens de satélite, encontrando para o melhor modelo um coeficiente de determinação de 0,71 e um erro padrão da estimativa de 30,87%.

4.3 EQUAÇÕES DE BIOMASSA DO FUSTE

Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem a biomassa do fuste do craveiro, em kg, em função do diâmetro a altura do peito e da altura comercial são apresentados no Tabela 3.

Os modelos 5 (Stoate), 3(Meyer) e 6 (Péllico) apresentaram os melhores coeficientes de determinação e erro padrão da estimativa em porcentagem. O melhor modelo foi o 5 (Stoate) com 0,97 de coeficiente de determinação para um erro padrão da estimativa de 7,9 %. As distribuições dos resíduos padronizados para os dois melhores modelos são apresentados nas Figuras 11 e 12.

TABELA 3 - RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DO FUSTE, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R^2 E $s_{yx}\%$

| EQUAÇÃO | F | R^2 | $s_{yx}\%$ |
|---------|---|-------|------------|
|---------|---|-------|------------|

| | | | |
|--|-------|------|------|
| 1 - $y = 3,800501 + 1,39986 d$ | 8,48 | 0,55 | 30,4 |
| 2 - $y = 2,559296 + 0,77774 d + 1,584282 h$ | 5,16 | 0,58 | 29,5 |
| 3 - $y = 0,002882 - 0,15163 d + 8,038167 h + 0,320486 d^2 - 0,02016 (d^2h) - 0,93215 (dh)$ | 23,86 | 0,95 | 10,2 |
| 4 - $y = 9,919864 + 0,014806 (d^2h)$ | 1,40 | 0,06 | 44,1 |
| 5 - $y = 0,002348 + 3,881021 h + 0,281033 d^2 - 0,06516 (d^2h)$ | 65,47 | 0,97 | 7,9 |
| 6 - $y = h (0,106232 + 4,379396 d - 0,27444 d^2)$ | 40,36 | 0,93 | 12,1 |

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER)

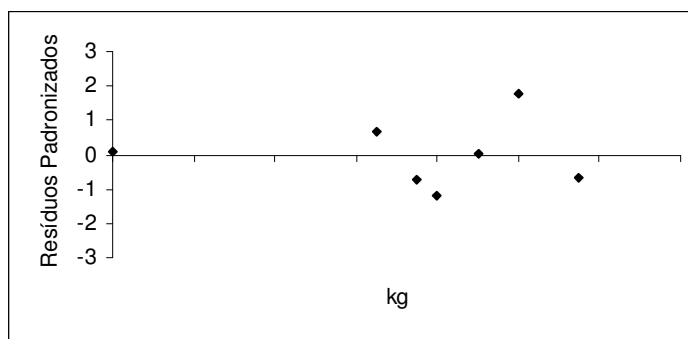
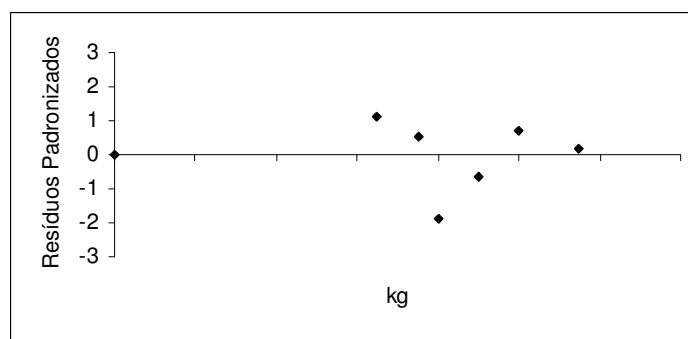


FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 5 (STOATE)



O melhor modelo para a estimativa do peso da matéria seca do fuste obtido por SOCHER (2004) apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,94 para um erro padrão da estimativa de 20,21%.

4.4 EQUAÇÕES DE BIOMASSA DAS FOLHAS

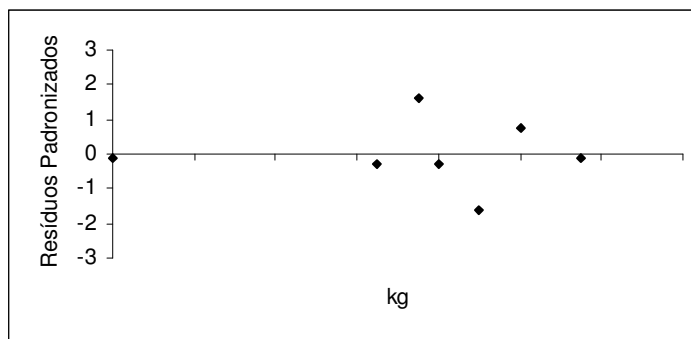
Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem a biomassa das folhas do craveiro, em kg, em função do diâmetro à altura do peito e da altura comercial são apresentados no Tabela 4.

TABELA 4 - RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DAS FOLHAS, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R² E s_{yx}%

| EQUAÇÃO | F | R ² | s _{yx} % |
|---|-------|----------------|-------------------|
| 1 - $y = 0,256002 + 0,094084 d$ | 8,80 | 0,56 | 29,8 |
| 2 - $y = 0,130481 + 0,03117 d + 0,160216 h$ | 11,12 | 0,77 | 21,6 |
| 3 - $y = 0,000193 + 0,361624 d + 0,360391 h - 0,03018 d^2 + 0,006867 (d^2h) - 0,09442 (dh)$ | 23,68 | 0,95 | 10,1 |
| 4 - $y = 0,616273 + 0,001168 (d^2h)$ | 2,20 | 0,17 | 41,3 |
| 5 - $y = 0,017182 + 0,263115 h + 0,012081 d^2 - 0,0029 (d^2h)$ | 30,62 | 0,93 | 11,4 |
| 6 - $y = h (0,017406 + 0,28652 d - 0,01772 d^2)$ | 31,56 | 0,91 | 13,5 |

O modelo 3 (Meyer), que relaciona a biomassa das folhas de craveiro em função do diâmetro a altura do peito e da altura comercial, foi o modelo que apresentou os melhores resultados para o coeficiente de determinação (0,95) e para o erro padrão da estimativa (10,1%). A distribuição dos resíduos para esse modelo é apresentada na Figura 13.

FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER)



SOCHER (2004), obteve um ajuste dos modelos que estimam o peso de matéria seca das folhas com um coeficiente de determinação de 0,71 e um erro padrão da estimativa de 62,8%.

As estatísticas encontradas para o modelo 3 (Meyer) foram superiores as reportadas por SOCHER (2004), tanto que diz respeito ao ajuste do modelo quanto ao erro padrão da estimativa em porcentagem.

4.5 EQUAÇÕES DE BIOMASSA DOS GALHOS VIVOS

Os resultados dos ajustes dos modelos de equações que exprimem a biomassa dos galhos vivos do craveiro, em kg, em função do diâmetro à altura do peito e da altura comercial são apresentados no Tabela 5.

TABELA 5 - RESULTADOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE ESTIMAM A BIOMASSA SECA DOS GALHOS VIVOS, EM kg, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO E DA ALTURA COMERCIAL E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS F, R² E s_{yx}%

| EQUAÇÃO | F | R ² | s _{yx} % |
|--|--------|----------------|-------------------|
| 1 - $y = 1,036129 + 0,336717 d$ | 6,12 | 0,46 | 34,6 |
| 2 - $y = 0,73386 + 0,185212 d + 0,385818 h$ | 3,44 | 0,45 | 34,9 |
| 3 - $y = 0,000222 + 1,520921 d - 2,14476 h - 0,12465 d^2 - 0,01777 (d^2h) + 0,426239 (dh)$ | 268,66 | 0,99 | 3,14 |
| 4 - $y = 2,617217 + 0,003192 (d^2 h)$ | 0,91 | 0,01 | 47,5 |
| 5 - $y = 0,06609 + 1,003025 h + 0,07149 d^2 - 0,01725 (d^2h)$ | 11,50 | 0,84 | 18,8 |
| 6 - $y = h (- 0,04648 + 1,209876 d - 0,08043 d^2)$ | 65,52 | 0,95 | 9,9 |

Os modelos 3 (Meyer) e 6 (Péllico) foram os que apresentaram os melhores resultados de ajuste. Os coeficientes de determinação foram de 0,99 e 0,95 e os erros padrão da estimativa foram 3,14% e 9,9% respectivamente. A distribuição dos resíduos padronizados dos dois melhores modelos são apresentadas nas Figuras 14 e 15.

Pela análise dos coeficientes de determinação, dos erros padrão da estimativa e da distribuição dos resíduos padronizados, fica claro que o modelo 3 (Meyer) foi o que apresentou o melhor ajuste.

SOCHER (2004), no ajuste dos modelos que estimam o peso de matéria seca dos galhos vivos encontrou resultados inferiores ao modelo selecionado, com um coeficiente de determinação de 0,79 e um erro padrão da estimativa de 53,91%.

FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 3 (MEYER)

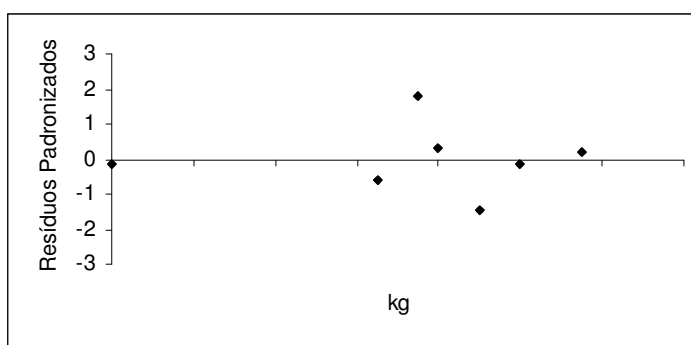
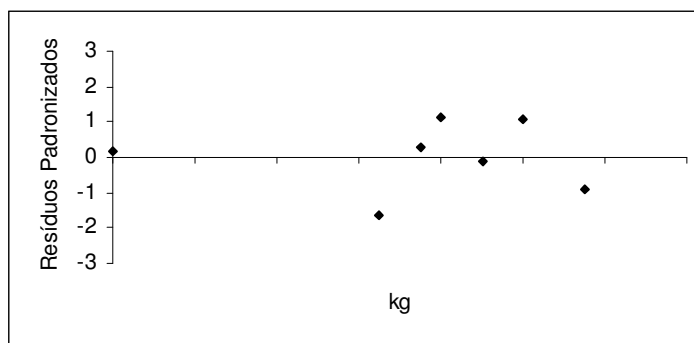


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA O MODELO 6 (PÉLLICO)



4.6 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA AÉREA

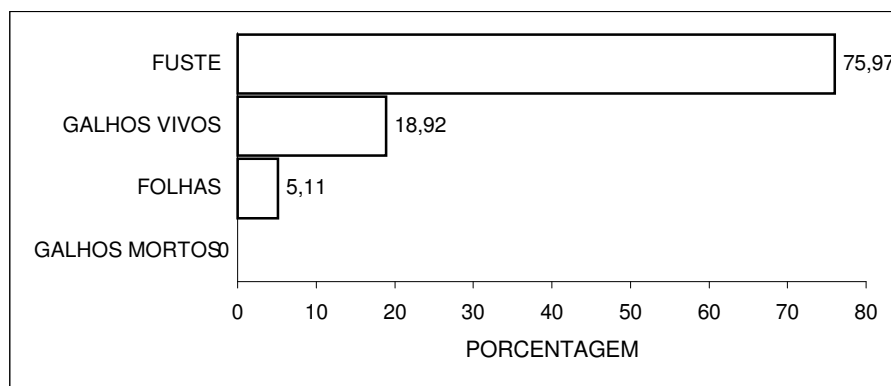
As estimativas da biomassa aérea seca do fuste, dos galhos vivos e das folhas, determinadas pelo método destrutivo para as seis árvores amostradas, apresentaram os resultados mostrados na Tabela 6 e Figura 16.

TABELA 6 - ESTIMATIVAS DE BIOMASSA AÉREA SECA, EM kg, PARA O FUSTE, GALHOS VIVOS E FOLHAS PARA AS SEIS ÁRVORES AMOSTRADAS

| Árvore Nº | Peso Seco em kg | | | |
|-----------|-----------------|--------------|--------|--------|
| | Fuste | Galhos Vivos | Folhas | Total |
| 1 | 14,11 | 2,97 | 1,04 | 18,12 |
| 2 | 17,09 | 4,32 | 1,12 | 22,54 |
| 3 | 18,95 | 3,95 | 1,29 | 24,19 |
| 4 | 16,91 | 4,58 | 1,15 | 22,64 |
| 5 | 18,06 | 4,30 | 0,97 | 23,34 |
| 6 | 14,98 | 4,81 | 1,15 | 20,93 |
| Média | 16,68 | 4,16 | 1,12 | 21,96 |
| % | 75,97 | 18,92 | 5,11 | 100,00 |

O fuste (casca e madeira) apresentou 16,68 kg de biomassa seca em média, representando 75,97 % da biomassa seca total. As folhas e galhos vivos apresentaram em média 1,12 kg e 4,16 kg de biomassa seca respectivamente, o que representa 24,03 % da biomassa seca total. Não foi verificada a existência de galhos mortos nas árvores amostradas. A distribuição da biomassa aérea seca seguiu a ordem: fuste > galhos vivos > folhas > galhos mortos.

FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS COMPONENTES DA BIOMASSA AÉREA DE CRAVEIRO (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum), PARA SEIS ÁRVORES ABATIDAS, EM TIJUCAS DO SUL, PR



CURLIN (1970) e PEREIRA *et al.* (1997), afirmam que normalmente entre os compartimentos arbóreos, a produção de biomassa seca obedece a ordem, lenho > galhos > casca > folhas.

Trabalhando em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro, Estado do Paraná, WATZLAWICK (2003) encontrou de 45,01 % de biomassa seca nos galhos vivos, 50,52 % no fuste com casca, 1,16 % nos galhos mortos, 2,40 % nas folhas e 0,97 % na porção denominada miscelânea.

SOCHER (2004) determinou para uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial a biomassa seca, sendo que as proporções encontradas foram de 52,84 % para o fuste, 40,31 % para galhos vivos e 6,86 % para os demais compartimentos.

RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001), quantificando biomassa em Floresta de Terra Firme e Floresta Alagável, encontraram uma distribuição percentual de cada componente em relação a biomassa total de 59,77 % no fuste com casca, 35,53 % nos galhos e 4,70 % nas folhas para Floresta de Terra Firme e 57,18 % no tronco, 37,06 % nos galhos e 5,76 % nas folhas para a floresta alagável.

A biomassa de folhas é componente importante no craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*) pois são delas que se extraem os óleos essenciais, sem a necessidade de se destruir as árvores. Para SANCHEZ (1976), de maneira geral, em média as folhas contribuem entre 4 a 6 % da biomassa total. A biomassa de folhas estimada no presente trabalho encontra-se entre os valores encontrados por WATZLAWICK (2003) com 2,40% e SOCHER (2004) com 6,86 %, ainda que essa quantidade não represente somente a porção folhas.

4.7 RENDIMENTO DO ÓLEO ESSENCIAL

Os resultados obtidos para o rendimento de óleo essencial do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*), calculados em base úmida e seca, estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – RESULTADOS DE DENSIDADE (g ml^{-1}) E RENDIMENTOS ABSOLUTO E RELATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL, EM BASE SECA ($\mu\text{g g}^{-1}$), PARA AS SEIS ÁRVORES AMOSTRADAS

| ÁRVORE | DENSIDADE (g ml^{-1}) | RENDIMENTO | |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------|------|
| | | $\mu\text{g g}^{-1}$ | % |
| 1 | 1,13025 | 29,23 | 2,92 |
| 2 | 1,10996 | 25,14 | 2,51 |
| 3 | 1,12684 | 30,22 | 3,02 |
| 4 | 1,08982 | 24,30 | 2,43 |
| 5 | 1,11422 | 25,40 | 2,54 |
| 6 | 1,11422 | 24,17 | 2,42 |
| MÉDIA | 1,11422 | 26,41 | 2,64 |
| DESVIO PADRÃO | 0,01853 | 2,63 | 0,26 |
| COEFICIENTE DE VARIAÇÃO % | 1,66 | 9,96 | 9,96 |

Considerando que o tempo de extração foi de 5 horas, os resultados obtidos para a densidade revelaram uma amplitude de variação de 1,09 a 1,13 g ml^{-1} , com um coeficiente de variação de 1,66%. Os rendimentos, em base seca, variaram de 24,17 a 30,22 $\mu\text{g g}^{-1}$. Os rendimentos em porcentagem apresentaram variação de 2,42 a 3,02%. LULLEZ (1991) obteve um rendimento de óleo essencial para a mesma espécie na ordem de 1,00 % com densidade 1,08 g ml^{-1} .

FENIK (1972), com a espécie *Pseudocaryophyllus guili* (Spog), obteve um óleo com rendimento variando de 0,17 e 0,21%, enquanto que CORREA (1979), com a espécie *Pseudocaryophyllus pabstianus* Legrand, obteve um óleo essencial com rendimento variando de 0,8 e 1,2%. CRAVEIRO (1981), com a espécie *Pseudocaryophyllus jaccoudii* Mattos, obteve um óleo essencial com rendimento de 2,0 %.

4.8 ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL

Foram identificadas 26 árvores de craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*) nas três amostras, de um hectare cada, integrantes da rede de parcelas permanentes do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD), na Fazenda Experimental de Tijucas do Sul, Estado do Paraná que pertence à Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Em cada amostra foram encontradas 16, 5 e 5 árvores da espécie, respectivamente. A obtenção da estimativa da altura comercial de cada árvore foi feita utilizando uma função hipsométrica ajustada para

tanto. Essa função foi ajustada a partir dos dados obtidos na cubagem de 40 árvores, sendo que as alturas comerciais médias das classes de diâmetro foram usadas e correlacionadas com os pontos médios das classes. A razão para tal procedimento deveu-se à grande variação encontrada nos dados referentes às alturas e respectivos diâmetros a altura do peito. Observou-se, nos dados coletados para a cubagem, que no craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*), a altura comercial decresce com o aumento do diâmetro, provavelmente refletindo o aumento da proporção da copa das árvores com a idade, o que causa uma grande influência nas estimativas de biomassa aérea e de folhas. Em que pese o baixo número de classes, e como decorrência disso, o baixo número de pares de valores usados no ajuste da equação, esta apresentou um coeficiente de determinação de 0,89 e um erro padrão da estimativa de 5,16 %. A equação resultante é apresentada abaixo e a tendência da relação entre as variáveis é mostrada na Figura 17.

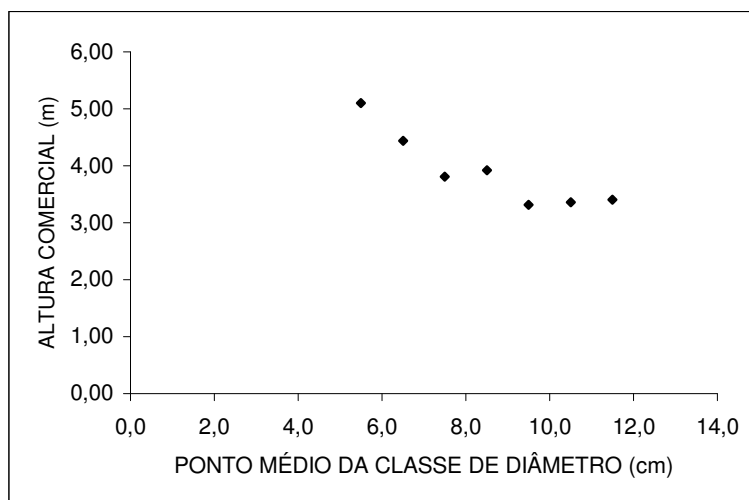
$$hc = 13,017 d^{-0,5756}$$
$$R^2 = 0,89 \quad s_{yx}\% = 5,16 \%$$

onde:

hc = altura comercial em m;

d = diâmetro à altura do peito em cm.

FIGURA 17 - RELAÇÃO ENTRE A ALTURA COMERCIAL MÉDIA POR CLASSES DE DIÂMETROS E O PONTO MÉDIO DA CLASSE



Uma vez estimada a altura comercial individual, e de posse dos valores dos diâmetros disponibilizados pelo projeto PELD para cada uma das árvores, foi estimada a biomassa seca da parte aérea e das folhas, cujos resultados são apresentados por parcela na Tabela 8 e por indivíduo na Tabela 9.

TABELA 8 - RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS FOLHAS, EM kg ha^{-1} , MÉDIA POR ÁRVORE, EM kg, E DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL EM BASE SECA, EM g ha^{-1} , PARA AS ÁRVORES DE CRAVEIRO (*Pimenta pseudocaryophyllus*) NAS TRÊS PARCELAS DO PELD – PUCPR

| PARCELA | Biomassa Seca | | | Rendimento de Óleo Essencial (g ha^{-1}) |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---|
| | Aérea (kg ha^{-1}) | Folhas (kg ha^{-1}) | Folhas Média Árvore ⁻¹ (kg) | |
| 1 | 816,96 | 31,07 | 1,94 | 820,26 |
| 2 | 180,32 | 7,22 | 1,44 | 190,52 |
| 3 | 186,79 | 7,43 | 1,49 | 196,27 |
| Total | 1184,06 | 45,72 | 4,87 | 1207,04 |
| Média | 394,69 | 15,24 | 1,62 | 402,35 |
| Desvio Padrão | 365,71 | 13,71 | 0,28 | 361,93 |
| Coeficiente de Variação % | 92,66 | 89,95 | 17,00 | 89,95 |

TABELA 9 – RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA E DAS FOLHAS, EM kg, E DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL EM

BASE SECA, EM g, PARA AS ÁRVORES DE CRAVEIRO (*Pimenta pseudocaryophyllus*) NAS TRÊS PARCELAS DO PELD – PUC/PR

| Parcela | Árvore | Biomassa Seca | | Rendimento Base Seca (g) |
|---------------------------|--------|---------------|-------------|--------------------------|
| | | Aérea (kg) | Folhas (kg) | |
| 1 | 1 | 29,10 | 1,24 | 32,76 |
| | 2 | 25,97 | 1,16 | 30,60 |
| | 3 | 33,06 | 1,35 | 35,71 |
| | 4 | 81,92 | 2,87 | 75,81 |
| | 5 | 186,02 | 6,23 | 164,57 |
| | 6 | 25,60 | 1,15 | 30,36 |
| | 7 | 181,43 | 6,08 | 160,62 |
| | 8 | 29,10 | 1,24 | 32,76 |
| | 9 | 34,34 | 1,39 | 36,69 |
| | 10 | 33,06 | 1,35 | 35,71 |
| | 11 | 27,65 | 1,20 | 31,73 |
| | 12 | 25,97 | 1,16 | 30,60 |
| | 13 | 27,65 | 1,20 | 31,73 |
| | 14 | 25,24 | 1,14 | 30,13 |
| | 15 | 25,60 | 1,15 | 30,36 |
| | 16 | 25,24 | 1,14 | 30,13 |
| Total | | 816,96 | 31,07 | 820,26 |
| Média | | 51,06 | 1,94 | 51,27 |
| Desvio Padrão | | 53,57 | 1,70 | 44,84 |
| Coeficiente de Variação % | | 104,91 | 87,47 | 87,47 |
| 2 | 17 | 28,60 | 1,23 | 32,40 |
| | 18 | 38,59 | 1,52 | 40,02 |
| | 19 | 43,44 | 1,66 | 43,89 |
| | 20 | 37,84 | 1,49 | 39,43 |
| | 21 | 31,84 | 1,32 | 34,79 |
| Total | | 180,32 | 7,22 | 190,52 |
| Média | | 36,06 | 1,44 | 38,10 |
| Desvio Padrão | | 5,86 | 0,17 | 4,54 |
| Coeficiente de Variação % | | 16,25 | 11,92 | 11,92 |
| 3 | 22 | 26,78 | 1,18 | 31,13 |
| | 23 | 58,11 | 2,12 | 55,90 |
| | 24 | 33,06 | 1,35 | 35,71 |
| | 25 | 32,44 | 1,33 | 35,24 |
| | 26 | 36,39 | 1,45 | 38,29 |
| Total | | 186,79 | 7,43 | 196,27 |
| Média | | 37,36 | 1,49 | 39,25 |
| Desvio Padrão | | 12,10 | 0,37 | 9,65 |
| Coeficiente de Variação % | | 32,40 | 24,59 | 24,59 |

Conforme apresentado na Tabela 08, a média de biomassa seca da parte aérea para as três parcelas do projeto PELD foi de 394,7 kg ha⁻¹, de biomassa seca de folhas de 15,2 kg ha⁻¹ e por árvore de 1,6 kg. A média do rendimento de óleo essencial para as três parcelas foi de 402,4 g ha⁻¹. As diferenças na produção de biomassa seca e rendimento de óleo essencial entre as parcelas são devidas ao diferente número de indivíduos por parcela. As parcelas que apresentaram o mesmo número de árvores de craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*), mostraram resultados semelhantes para as variáveis analisadas.

Considerando individualmente as árvores de craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*), foi obtida uma biomassa seca média da parte aérea de 45,5 kg, e uma média de 1,8 kg para as folhas. A biomassa seca da parte aérea apresentou um coeficiente de variação na ordem de 93,2 %, enquanto que para a biomassa das folhas o coeficiente de variação foi de 76,6 %. O rendimento médio de óleo essencial, em base seca, foi de 46,4 g. Os intervalos de confiança para as médias de biomassa seca da parte aérea, das folhas e do rendimento de óleo essencial, ao nível de 95 % de probabilidade, são apresentados abaixo.

a) biomassa seca da parte aérea em kg:

$$IC = (28,39 \leq \mu \leq 62,69) = 95 \%$$

b) biomassa seca de folhas em kg:

$$IC = (1,21 \leq \mu \leq 2,30) = 95 \%$$

c) rendimento de óleo essencial em g:

$$IC = (32,06 \leq \mu \leq 60,79) = 95 \%$$

Imaginando-se a hipótese de um cenário onde houvesse um plantio homogêneo de craveiro, no espaçamento 3 x 3 metros, poder-se-ia inferir que, com uma biomassa seca média de folhas de 1,62 kg por árvore e um rendimento na ordem de 2,64 %, obter-se-ia um rendimento de 47,0 kg de óleo essencial por hectare.

Comparações dos resultados obtidos com os de trabalhos similares são difíceis, em função da inexistência de trabalhos envolvendo biomassa individual de espécies nativas. SOCHER (2004), WATZLAWICK (2003) e RESENDE, MERLIN e SANTOS (2001), entre outros, apresentam resultados para diferentes tipologias florestais, sem apresentarem, no entanto, valores para espécies nativas individuais em florestas naturais, que foi o caso do presente trabalho.

No que tange a produção de óleo essencial, NAKAOKA *et al.* (1994), trabalhando com a mesma espécie obtiveram rendimento de óleo essencial de 2,1%, em base úmida. CAMPOS CORRÊA e GOTLIEB (1970) estudando os componentes de *Pseudocaryophyllus pabstianus* Legran, obtiveram rendimentos que variaram entre 0,8 % a 1,2 %, enquanto que JARDIN e JACCOUD (1965) encontraram para a mesma espécie 2% de óleo essencial.

FABROWSKI (2002), pesquisando óleo essencial de *Eucalyptus smithii*, verificou que no armazenamento do material vegetal ao ar, a umidade, em termos de massa absoluta de material úmido, conduz a rendimentos expressivamente diferentes levando a interpretações distintas, sendo indicado para os estudos de rendimentos a utilização de material recém coletado ou em termos de base seca. Nestas condições, o autor encontrou um rendimento de 2,51 % para as folhas adultas recém colhidas, 2,30 % para as folhas adultas e ramos terminais, 2,12 % para as folhas juvenis e ramos terminais e 1,60 % para folhas adultas e ramos terminais mofados.

DUNLOP *et al.* (2000) extraíram óleo essencial de folhas de seis clones de *Eucalyptus camaldulensis*, na Austrália, e encontraram rendimento de óleo variando de 0,6 % a 2,8% em base seca, dependendo do clone utilizado. LI e MADDEN (1995) encontraram em folhas adultas de diferentes espécies de eucalipto, rendimentos, em base seca, variando de 0,7% a 6,1%, dependendo da espécie.

KALADHARAN *et al.* (1990) reportam ser possível seis colheitas por ano de folhas de *Ocimum gratissimum* cv. Clocimum, correspondendo a uma produção potencial de 720 kg ha⁻¹ em condições controladas e 400 kg ha⁻¹ em condições de campo.

BROPHY e DORAN (2004), trabalhando com óleos essenciais de folhas de *Melaleuca ericifolia* na Austrália, determinaram um rendimento em base seca que variou de 0,6 % a 3,2 %. LEDO (1999) determinou um rendimento máximo de 2,22 % em estudo de extração de óleo essencial de hortelã japonesa (*Menta arvensis* L.) com secagem a temperatura ambiente durante 12 dias.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir e recomendar para o craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*) que:

- Dentre os modelos testados para a obtenção das estimativas de volume individual com casca, o de melhor ajuste foi obtido com o modelo proposto por Staote, que apresentou estatísticas dentro de limites aceitáveis ($R^2 = 0,90$ e $s_{yx} = 10,2\%$);
- A utilização de modelos lineares mostrou ser superior aos modelos logarítmicos testados para o volume;
- O modelo ajustado para obtenção das estimativas de volume individual com casca, deve ser utilizado com restrições, recomendando-se sua aplicação somente dentro da amplitude de diâmetros e alturas comerciais incluídos nessa pesquisa, devendo ser considerada a amplitude de variação abrangida pelos dados amostrais. O uso do modelo para outras situações e localizados em diferentes sítios, implica em teste prévio de precisão e acuidade do mesmo;
- A produção de biomassa seca aérea individual, em kg, obedeceu um gradiente, onde foram determinadas maiores quantidades no fuste, seguido dos galhos vivos e das folhas;
- Dentre os modelos ajustados para obtenção de biomassa aérea seca individual, em kg, o modelo escolhido apresentou estatísticas que indicam um ajuste muito bom (0,97) e erro padrão da estimativa em porcentagem baixos (8,2 %);
- Os modelos ajustados para a obtenção de estimativas da biomassa seca do fuste, em kg, apresentaram estatísticas que revelaram um ajuste muito bom (0,97), com um erro padrão da estimativa na ordem de 7,9 %;
- O modelo escolhido para a obtenção da biomassa seca de folhas, em kg, apresentou um coeficiente de determinação de 0,95 para um erro padrão da estimativa de 10,1 %;
- O melhor modelo ajustado para a obtenção de estimativas da biomassa seca dos galhos vivos, em kg, apresentou estatísticas na ordem de 0,99 para o coeficiente de determinação e 3,14 % para o erro padrão da estimativa;
- No estudo, verificou-se que as variáveis coletadas foram suficientes para o ajuste dos modelos testados que estimam a biomassa seca dos diferentes compartimentos,

sendo que a inclusão de outras variáveis como a altura total e o diâmetro da copa poderiam contribuir para a melhoria do ajuste e das estimativas;

- O rendimento porcentual da produção de óleo essencial foi de 2,64 %, em base seca, com um coeficiente de variação na ordem de 10 %;
- Que se determine a composição química do óleo essencial obtido, visando à ampliação de sua utilização em novos produtos e processos;
- Tendo em vista que os indivíduos amostrados eram jovens, um estudo sobre a quantificação de biomassa aérea e produção de óleos essenciais numa área onde a espécie esteja representada com idades superiores é recomendada;
- Dado o alto rendimento na produção de óleo essencial a partir das folhas, sugere-se um manejo florestal em que seja implantado um sistema de poda das folhas que proporcione a regeneração foliar, sem danos ecológicos ao bioma onde a espécie se encontra. Além disso o óleo essencial produzido poderá ser mais valorizado por apresentar um processo produtivo ecologicamente correto.

REFERÊNCIAS

AHRENS, S. **Modelos de crescimento e de produção**. In: CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, Curitiba, 1990, Trabalho de tópico especial. Curitiba: Universidade Federal do Paraná UFPR. Setor de Ciências Agrárias, 1990. 46 p.

ALEMDAG, I.S. **Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships**. Canada: Minister of Supply and Services Canada, 1980. 38 p.

ANDRAE, F.; e KRAPPENBAUER, A. Estudo da situação de biomassa e nutrientes de um reflorestamento de quatro anos com *Eucalyptus saligna* Smith em Santa Maria, RS. **Pesquisas Austro-brasileiras 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lamberti* e *Eucalyptus saligna***. 1982. p. 68-85.

ANSARI, S.H., QADRY, J.S. e JAIN, V.K. 1988. Effect of plant hormones on the growth and chemical composition of volatile oil of *Cymbopogon jwarancusa* (Schutt). **Industrial Journal of Forestry**. v.11, p.143-145.

AVERY, E.T. e BURKHART, E.H. **Forest measurements**. New York: MacGraw-Hill, 1983. 331 p.

AVERY, T.E. **Natural resources measurements**. New York, McGraw-Hill, v.2, p. 440, 1970.

BARROS, N.F., NOVAIS, R.F., CARDOSO, J.R., NEVES, J.C.L Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v.10, n.1, p.112-120, 1986.

BARROSO, G.M. et al. 1984. Myrtaceae. In: **Sistemática de Angiospermas do Brasil**. Viçosa, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa- MG, n.2, 1984.

BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acúmulo e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis*, em função da idade**. Piracicaba: 1979. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BRANDÃO, M. **Árvores nativas do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 528 p.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de Ecologia**. Rio de Janeiro: Toop books Editora e Distribuidora Ltda, 1992. 344 p.

BROPHY, J.J. e DORAN J.C. Geographic variation in oil characteristics in *Melaleuca ericifolia*. **Journal of Essential Oil Research**, USA., v.1, n.16, p. 4-8, 2004.

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

CAMPOS CORRÊA, R.G. e GOTTLIEB, O.R. **Óleo essencial da Mirtácea *Pseudocaryophyllus pabstianus***. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, v.11, p. 1-5, 1970.

CAMPOS, J.C.C.; VALENTE, O.F. **Considerações sobre o inventário de povoamentos florestais, com ênfase na biomassa e na sua transformação em carvão vegetal.** Viçosa: SIF, 1993. p. 19, Boletim Técnico, 1.

CASTRO, D.M. **Efeito da variação sazonal, colheita selecionada e diferentes temperaturas de secagem sobre a produção de biomassa, rendimento e composição de óleos essenciais das folhas de *Lippia alba*.** Botucatu: 2001. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Horticultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

CHALCHAT, J.C.; GARRY R.P. e LAMY J. 1994. Influence of harvest time on yield and composition of *Artemisia annua* oil produced in France. **Journal of Essential Oil Research.** v.6, p.261-268.

CHAPMAN, H.H. e MEYER, W.H. **Forest mensuration.** New York, McGraw-Hill, p. 522, 1949.

CORREA, R.G.; CAMPOS et al. Óleos essenciais de espécies do gênero *Pseudocaryophyllus*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, v.44 (Suppl.), p. 307-309, 1979.

CRAVEIRO, A.A. et al.. **Óleos essenciais de plantas do nordeste.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 209 p., 1981.

CROMER, R.N.; RAUPACH, M.; CLARKE, A.R.P.; CAMERSON, J.N. *Eucalyptus* plantations in Australia: the potencial for intensive production. **Appita**, v.29, p. 165-173, 1975.

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

DHAR, R.S. e DHAR A.K. Ontogenic variation in the essential oil concentration and its constituents in the five genotypes of *Cymbopogon jwarankusa* Schultz **Journal of Essential Oil Research.** v. 9, p. 433-439, 1997.

DRAPER, N.R., SMITH, H. **Applied regression analysis.** 2^{ed}. New York, John Wiley, 407 p., 1966.

DUNLOP, P.J.; BIGNELL, C.M.; HIBBERT, D.B. Use of gas chromatograms of essential leaf oils to compare clones of *Eucalyptus camaldulensis*. **Biochemical Systematics and Ecology.** Londres. v. 28, n.4, p. 383-391, 2000.

FABROWSKI, F.J. **Caracterização de *Eucalyptus smithii* R. T. BKER (Myrtaceae) como espécie produtora de óleo essencial em Colombo-PR.** Curitiba: 2002. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FAROOQI, A.H.A.; SAMGWAN, N.S.; SANGWAN, R.S. Effect of different photoperiodic regimes on growth, flowering and essential oil in *Mentha species*. **Plant Growth Regulation. Biochemical Systematics and Ecology.** Índia. v.3, n.29, p. 181-187, 1999.

FENIK, Inês J.S. de, RETAMAR, Juan A. El aceite assencial de *Pseudocaryophyllus guili*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, v. 44 (Suppl.), p. 175-180, 1972.

FERREIRA, M. das G.M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “Cerrado” region in Brazil: a nutrient cycling approach.** British Columbia: 1984. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculty of Forestry, University of British Columbia.

FRANCIS, M.J.O. 1971 In: Goodwin T. W. (ed.), **Aspects of Terpenoid Chemistry and Biochemistry.** Academic Press, London, 29 p.

GOTTLIEB, O.R. e MORS, W.B. 1980. Potential interligation of Brazilian wood extractives. **Journal of Agricultural and Food. Chemistry**, v.28, p. 196-215.

GUIMARÃES, D.P. **Estimativa do volume de *Eucalyptus* spp. através de posições absolutas no tronco.** Curitiba: 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

HIGUCHI, N. e CARVALHO JR., J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p 125-153.

HUSCH, B.; MILLER, C.H. e BEERS, F. **Forest mensuration.** New York: Ronald Press, 1972. 410 p.

JARDIM, A.S. e JACCOUD, R.J.S. 1965. Estudo farmacognóstico da “erva doce do mato”. **Revista Brasileira de Farmacologia.** Rio de Janeiro, n.46, v.3, p. 3 -17.

JORDAN, C.F. e UHL, C. Biomass of a tierra firme forest of the Amazon Basin. 1978. **Oecologia Plantarum**, n.13, p. 387-400.

KALADHARAN, N.; VIMALAN, A.K.; DAMODARAN, N.P. Studies on Indian essential oils and their isolantes. **Indian Perfumer.** India. v. 2, n.34, p. 115-122, 1990.

KILLEN, T.; GARCIA, E.; BECK, S.G. **Guia de Arboles de Bolivia.** La Paz: Herbario Nacional de Bolivia/ Missouri Botanical Garden, 1993. 958 p.

KIM, J.C.; KIM, K.J.; KIM, D.S.; HAN, J.S. **Chemosphere.** Oxford. v.11, n.59, p. 1685-1696, 2005.

KOEHLER, H.S. **Sistema computacional de dinâmica para florestas naturais.** 2002. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores.** Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1960. 745 p.

LARCHER, W. **Oekologie der pflanzen.** Stuttgart: Eugen Ulme Gmbh e Co, 1984. 320 p.

LEAL, P.G.L. **Produção de biomassa e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciadas pela aplicação de fosfato natural em solos de cerrado.** Viçosa: 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

LEDO, P.G.S. **Construção de um extrator de óleos essenciais**. Rio Grande do Norte: 1999. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LEHTONEN, M. Phenols in Whisky. **Chromatographia**, v.16, p. 201-203, Aug.1982.

LI, H. e MADDEN, J.L. Analysis of leaf oils from a *Eucalyptus* species trial. **Biochemical Systematics and Ecology**. Austrália. v.2, n.23, p. 167-177, 1995.

LOETSCH, F.; ZOHER, F. e HALLER, K.E. **Forest inventory**. Munchen, BLV, v.2, 1973.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2 ed. Nova Odessa: Harry Lorenzi, 1998. 452 p.

LULLEZ, J. C. **Identificação de metileugenol, eugenol e chavibetol no óleo essencial da folha de *Pseudocaryophyllus acuminatus* (Limk) Burret**. Curitiba: 1991. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: CODEPAR, 1968. 350 p.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO, A. **Dendrometria** Curitiba, 2003. 309 p.

MARTINELLI, L.A.; MOREIRA, M.Z.; BROWN, I.F.; VICTORIA, R.L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

MAZAROTTO, E.B., **Modelos matemáticos para estimar o volume em metros cúbicos com casca de bracatinga *Mimosa scabrella* Bent em diferentes idades**. Curitiba: 1989. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NAKAOKA, S.M.; AGUIAR, O.T.de; YATAGAI, M.; IGARASHI, T. **Óleo essencial de *Pimenta pseudocaryophyllus* var. *pseudocaryophyllus* (Gomes) Ladrum (Myrtaceae) I: Cromatografia a gás/espectrometria de massa (CG/EM)**. Revista do Instituto Florestal- São Paulo, v. 6 (único), p. 53-61, 1994.

OVINGTON, J.D.; FORRES, W.G.; ARMSTRONG, J.E. Tree biomass estimation. In: **Symposium on primary productivity and mineral cycling in natural ecosystems**. Ecological Society of America. American Association for the Advancement of Science. Annual Meeting. New York City, v.27, 1967 (H.E. Young, Chairman). p. 4-31.

OVINGTON, S.D. e MADWICK, H.A.I. Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of scots pine. **Forest Science**, v.5, p. 344-355, 1959.

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

PATON, P.S. **Estimativa de volumes individuais expressos em metros cúbicos sólido e estéreos, para bracatinga *Mimosa scabrella* Benth. em povoamentos naturais maduros**. Curitiba: 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PÉLLICO NETTO, S. **Estimativas volumétricas de árvores individuais síntese teórica.** Curitiba, V Seminário sobre atualidades e Perspectivas Florestais, p. 15-27, 1982.

PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região do cerrado.** Viçosa: 1990. 167 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; ANDRADE, D.C.; CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região de cerrado. **Brasil Florestal**, Brasília, n.59, p. 27-37, 1997.

PETERS, R. **Konstruktion eines massentafelmodells-dargestrlltam beispiel der baumart *Araucaria araucana* (Moh.) C. Koch.** Diss. D. Albert-Ludwigs-Universitat Freiburg, 1971. 95 p.

PINHEIRO, R.C. **A abordagem fotoquímica e rendimento do óleo essencial em *Lichnophora pinaster* Mart. por diferentes métodos de secagem.** Lavras: 2002. 41 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) - Universidade Federal de Lavras.

POGGIANI, F.;COUTO, H.T.Z. do; SUITER FILHO, W. **Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*.** IPEF, Piracicaba, n.23, p. 37-42, 1983.

RESENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Seqüestro de carbono: uma experiência concreta.** Palmas: Instituto Ecologia, v.2, revisada e ampliada, 2001. 178 p.

REZZI, S.; BIGHELLI A.; MOUILLOT D. e CASANOVA J. Composition and chemical variability of the needle essential oil of *Pinus nigra* subsp laricio from corsica. **Sussex. Flavour and fragrance journal**, v.5, n.16, p. 379-383, 2001.

SAKATA, I. e MITSUI T. Seasonal variation in menthyl glucoside, menthol, menthone and related monoterpenes in developing Japanese peppermint. **Journal of Agricultural Chemistry Society.** Japan. 1980. v.54, p. 1037-1043.

SALATI, E. Emissão x Seqüestro de CO₂- Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL,1994. Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p 15-37.

SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics.** John Wiley and Sons. New York, 1976. 409 p.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono.** Curitiba, 2002. p.119 -140.

SANTOS, A.S. **Análise técnica, econômica e de tendências da indústria brasileira dos óleos essenciais.** Rio de Janeiro: 2001. 274 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SARANGI, B.K; ARUNA GOLAIT; REKHA THAKRE. High frequency in vitro shoot regeneration of sandalwood. **Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences**. India. v. 1, n.22, p. 322-329, 2000.

SATOO, T. **Forest Biomass.**, Holanda, 1982. Kluwer Academic Publishers Group. Distribution Center. 150 p.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R; CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acácia mearnsii* De Wild. Plantadas no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. p.141-152.

SERGEEVA, S. e SOLZNEVA, V.A. 1979. Essential oil accumulation and changes in its qualitative composition during peppermint ontogeny. **Fiziol Biokhim Kult Rast**. v.11, p. 268-270.

SETH, M.K. Trees and their economic importance. **Botanical Review**. New York. v.4, n.69, p. 321-376, 2003.

SICCAMA, T.G., HAMBURG, S.P., ARTHUR, M.A., YANAI, R.D., BORMANN, F.H. e LIKENS, G.E. 1994. Corrections to allometric equations and plant tissue chemistry for Hubbard Brook Experimental. **Forest Ecology**. v.75, p. 246-248.

SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da panta ao medicamento**, Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 1999, 821 p.

SOARES, R.V.; HOSOKAWA, R.T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracinga. **Brasil Florestal: Boletim Técnico**, Brasília, n.8, p.37-48, ago.1984.

SOCHER, L.G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de Floresta Ombrófila Mista aluvial no município de Araucária, Paraná**. Curitiba: 2004. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SPAIN, J.D. **Basic Microcomputer Models in Biology**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts: 1982. 354 p.

SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York, Ronald Press, 1952. 476 p.

SVOBODA, K.P.; JUHASZ, A.; HAMPSON, J.B. Bioactivity of essential oils and their components – *eucalyptus* (Part 6). **Aroma Research**. Scotland. v.2, n.2, p. 208-213, 2001.

THAPPA R.K.; BAKSHI, S.K.; DHAR, P. L.; AGARWAL, S.G.; KITCHLU, S.; KAUL, M.K. significance of changed climatic factors on essential oil composition of *Echinacea purpurea* under subtropical conditions. **Flavour and Fragrance Journal**. Índia. v.5, n.19, p. 452-454, 2004.

TURNER, G.W.; GERSHENZON, J.; CROTEAU, R.B. Distribution of peltate glandular trichomes on developing leaves of peppermint. **Plant Physiology**. USA. v.2, n.124, p. 655-663, 2000.

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**. Curitiba:

2003. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WEISS, E.A. 1997 In: Essential Oil Crops. **CAB International**, p. 24-58.

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

WHITTAKER, R.H. e WOODWELL, G.M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. **Journal of Ecology**. v.56, p. 1-25.

ANEXO

ANEXO 1 - MODELO DA FICHA DE CAMPO UTILIZADA NA COLETA DOS DADOS DE BIOMASSA VERDE, PARA OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE

FICHA DE CAMPO-

Data:

Árvore n°:
DAP_{cm}:
Hcomercial_m:

PESOS TOTAIS

FUSTE:

Pesos: Total kg:

GALHOS VIVOS:

Pesos: Total kg:

GALHOS MORTOS:

Pesos: Total kg:

COPA-FOLHAGEM:

Pesos: Total kg:

PESOS DAS AMOSTRAS

GALHOS VIVOS:

Peso: g

COPA-FOLHAGEM:

Peso: g

GALHOS MORTOS:

Peso: g

FUSTE Peso g Superior:

Médio:

Inferior:
