

O USO DE DENDRÔMETRO A *LASER* EM FLORESTAS TROPICAIS: APLICAÇÕES PARA O MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA

Delman de Almeida Gonçalves¹, Tim van Eldik², Benno Pokorny³

¹Eng. Agrônomo, M.Sc., EMBRAPA - Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil - delman@cpatu.embrapa.br

²Eng. Florestal, M.Sc., Ecoflorestal Ltda., Belém, PA, Brasil - tim@ecoflorestal.com.br

³Eng. Florestal, Ph.D., CIFOR, Belém, PA, Brasil - bpokorny@cgiar.org

Recebido para publicação: 26/09/2007 – Aceito para publicação: 04/06/2008

Resumo

Este trabalho avaliou a precisão e a aplicabilidade de um tipo de dendrômetro que utiliza tecnologia a *laser*, para medir alturas e diâmetros de árvores em florestas tropicais. Comparou-se o dendrômetro com estimativas visuais nas medições de altura comercial (N = 65). Nas medições de diâmetro do fuste, comparou-se esse equipamento com a fita de circunferência (N = 53). Também avaliou-se o número de vezes que não foi possível realizar a medição de altura e diâmetro através de cada método. Para a altura comercial, os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre os dados levantados pelos métodos comparados. A aplicabilidade do dendrômetro na medição de altura ficou restrita a 51,2% das árvores levantadas, enquanto que foi possível realizar a medição de diâmetro com esse equipamento em 97% das árvores levantadas. O dendrômetro apresentou precisão aceitável nas medições de diâmetro. O dendrômetro apresentou boa complementaridade com os métodos comparados nas medições de altura e diâmetro, combinando precisão e versatilidade. Os resultados deste estudo demonstram que o uso desse tipo de equipamento tem o potencial de melhorar significativamente a tomada de decisões sobre o planejamento operacional de uma empresa florestal, tornando-se, assim, um investimento recomendável àquelas empresas que buscam praticar o manejo florestal de forma criteriosa em florestas tropicais nativas.

Palavras-chave: Dendrometria; equipamento a *laser*; Amazônia.

Abstract

The use of laser dendrometer in tropical forests: applications to forest management in Amazonia. This paper evaluated the accuracy and applicability of a kind of dendrometer, that uses laser technology, to measure heights and diameters of tropical forest trees. The dendrometer was compared with ocular estimations on commercial height measurements (N=65). On bole diameter measurements, this equipment was compared with girth tape (N=53). Further, it was evaluated the number of times that was not possible to measure height and diameter by each method. To commercial height, the results showed that did not have significant difference between data measured by the compared methods. The dendrometer applicability at height measurements was restricted to 51,2% of surveyed trees, while it was possible to do diameter measurement with this equipment on 97% of surveyed trees. The dendrometer presented acceptable accuracy at diameter measurements. The dendrometer presented good complementation with the compared methods on diameter and height measurements, combining accuracy and versatility. The results of this study showed that the use of this kind of instrument has potential to meaningfully improve the decision took about operational planning of a forest company, becoming this way, an advisable investment to that companies that fetch to practice forest management in a discerning way in native tropical forests.

Keywords: Dendrometry; laser instrument; Amazon region.

INTRODUÇÃO

O levantamento dos dados de campo em uma floresta tropical nativa é uma atividade complexa, devido tanto às adversidades inerentes ao ambiente quanto à demanda pela qualidade dos dados a serem coletados. Por exemplo, o processo de medição do diâmetro das árvores é dificultado pela presença de raízes tabulares, raízes altas expostas e cipós lenhosos. Além disso, a densidade e a diversidade de uma

floresta tropical também tornam complexa a coleta dos dados de altura das árvores, tais como as alturas de fuste, comercial e total. Como consequência dessas dificuldades, essas alturas importantes nem sempre são consideradas nos inventários florestais (GRAAF, 1986; ALDER; SYNNOTT, 1992). Considerando que estudos de crescimento e produção em florestas tropicais necessitam de precisão nos dados coletados, torna-se imprescindível a identificação de metodologias e instrumentação que, apesar das dificuldades inerentes, possam gerar dados de boa qualidade.

Os equipamentos utilizados para o levantamento de dados sobre diâmetro podem ser de medição direta (fitas e sutas) e indireta (instrumentos óticos). Comparando os equipamentos de medição direta do diâmetro, podem ser considerados os seguintes pontos: a) apenas as fitas (diamétrica e de circunferência) são usadas para estimar o diâmetro a partir de uma medição na circunferência do fuste; os outros instrumentos medem o diâmetro a partir de um dos eixos do fuste; b) o uso da suta pode minimizar os déficits de convexidade e isoperimétrico a partir da medição do diâmetro de dois eixos do fuste a uma determinada altura, calculando-se o diâmetro médio; c) o uso da fita impossibilita a medição de mais de um diâmetro em uma determinada altura, o que torna os déficits de convexidade e isoperimétrico mais significativos; d) se a árvore tiver uma seção circular de fuste, tais déficits serão minimizados; e) para uma seção circular de fuste, a fita de circunferência superestima a área seccional medida, mas normalmente esse erro é pequeno; f) para uma seção elíptica de fuste, a medição com a suta proporciona uma melhor estimativa da área seccional do que a fita, a partir da medição dos diâmetros do maior e do menor eixo do fuste com aquele instrumento; g) considerando o uso em florestas nativas, a fita é bem mais prática do que a suta, devido a dificuldades de transporte deste instrumento nesse tipo de floresta. Entretanto, tanto as fitas quanto as sutas são equipamentos bem mais precisos e rápidos para a medição do diâmetro do fuste de árvores do que os instrumentos óticos (ALDER; SYNNOTT, 1992; FORESTRY RESEARCH WORKING GROUP 2, 1999).

Segundo Brack (1997), comparando alguns instrumentos óticos (pentaprisma de Wheeler, relascópio de Spiegel e telerrelascópio) utilizados para medição do diâmetro, podem ser considerados os seguintes pontos: a) o pentaprisma tem uma precisão de ± 2 milímetros, enquanto que o telerrelascópio tem uma precisão de 1 % para medição de diâmetro (ex: erro de $\pm 0,5$ centímetros para um diâmetro de 50 centímetros); a precisão do relascópio é calculada a partir da distância de medição e do diâmetro a ser medido (precisão relascópio (%) = distância horizontal x 10/diâmetro do fuste); b) em relação ao custo, o telerrelascópio é mais caro do que o relascópio, o qual é mais caro do que o pentaprisma; c) em relação à resistência contra choque, o relascópio é mais resistente do que o telerrelascópio, que é mais resistente do que o pentaprisma; d) em relação aos limites, o pentaprisma é limitado a diâmetros menores do que 86 centímetros; o relascópio e o telerrelascópio, teoricamente, não têm limites no tamanho do diâmetro que pode ser medido, embora o operador precise se afastar da árvore para medir diâmetros maiores.

Conforme citado, os métodos óticos são menos precisos para medição de diâmetro do que as medições diretas por fita ou suta e, geralmente, são inadequados para determinação do incremento como uma diferença entre medições sucessivas. Entretanto, onde ocorrem árvores muito grandes e portadoras de raízes tabulares, os métodos óticos têm um papel importante na estimação do diâmetro da árvore, especialmente nas alturas de difícil acesso aos aparelhos de medição direta (ALDER e SYNNOTT, 1992; BRACK, 1997).

Segundo Forstreuter; Wakolo (2000), testes de medição de diâmetro mostraram que o dendrômetro a *laser* é mais preciso do que o relascópio. Foi constatado que, além da medição realizada ser mais precisa, o formato desse equipamento evita o consumo de tempo para medir o ângulo de inclinação entre a vista do observador e os pontos de medição na árvore, os quais são necessariamente levantados na medição com relascópio.

Para medições de altura das árvores, existem tipos variados de equipamentos que são usados em nível internacional (BRACK, 1997). Os instrumentos mais comumente utilizados na área florestal para medição de altura de árvores em pé são os hipsômetros. Alguns hipsômetros são baseados em princípios trigonométricos, dos quais podem ser citados os seguintes: Nível de Abney, Jal, Haga e Blume Leiss. Além desses, existem hipsômetros que têm seu funcionamento baseado em outros sistemas. O Vertex Forester é um tipo de hipsômetro eletrônico que tem o funcionamento baseado em ondas sonoras, e além da altura também mede a distância da árvore até o aparelho. O Criterion 400 e o Jenoptik LEM-300 funcionam utilizando raio *laser*. Além da altura, ambos medem também o diâmetro da árvore e a distância de medição do aparelho.

Além desses, existem outros equipamentos que também são utilizados para a medição de altura das árvores, como o Clinômetro Suunto e o Relascópio de Spiegel, sendo ambos baseados em princípios trigonométricos.

Os diferentes hipsômetros têm aspectos positivos e negativos. A significância de cada aspecto vai depender das circunstâncias relacionadas ao propósito e uso de cada instrumento (FORESTRY RESEARCH WORKING GROUP 2, 1999).

Este estudo comparou o uso do dendrômetro a *laser* e das estimativas visuais na obtenção de dados de altura comercial de árvores, assim como o uso do dendrômetro e da fita de circunferência na obtenção de dados de diâmetro do fuste, em parcelas permanentes instaladas em floresta tropical nativa. Para ambas as comparações, foram considerados os quesitos precisão e aplicabilidade. Também foi analisada a possibilidade de se utilizar esse aparelho para calibrar a estimativa visual, que é um método tradicional no levantamento de dados de altura de árvores nesse tipo de floresta.

MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento utilizado para este estudo é o dendrômetro modelo LEDHA GEO, fabricado pela empresa alemã GRUBE (Figura 1). Esse aparelho foi projetado para o uso em pesquisa florestal, para medir dados de diâmetro, altura e azimute. Ele resultou do desenvolvimento tecnológico de métodos óticos de mensuração florestal e utiliza tecnologia eletrônica e a *laser*. As principais especificações técnicas desse aparelho estão descritas na tabela 1.



Figura 1. Dendrômetro a *laser* utilizado com tripé em medição de diâmetro.
Figure 1. Laser dendrometer used with tripod in diameter measurement.

Tabela 1. Especificações técnicas do dendrômetro a *laser* LEDHA GEO.

Table 1. Technical Specifications of LEDHA GEO laser dendrometer.

Peso	2,2 kg (sem bateria); 2,5 kg (com bateria)
Dimensões	250 mm x 205 mm x 90 mm
Limite de medição de ângulo vertical	60°
Limite de medição de distância	até 100 metros
Precisão de distância	± 3 centímetros
Precisão de ângulo vertical	± 0,1°
Limite de medição de azimute	360°, com inclinação máxima de ± 20° de ângulo vertical
Precisão de azimute	± 0,5°
Declinação magnética	pode ser introduzida uma variação de -89° até +90°
Precisão de diâmetro	1 centímetro

Fonte: LEDHA GEO Manual [199-]

Para as medições de altura, o dendrômetro calcula trigonometricamente os dados que são coletados em três pontos do fuste da árvore levantada: o primeiro ponto é na interseção do fuste com o solo, segundo ponto é onde a altura será medida e o terceiro ponto é de localização aleatória, entre o primeiro e o segundo pontos. Para as medições de diâmetro do fuste, o aparelho combina a distância a *laser* e a medição da altura. Em adição, para o cálculo do diâmetro, esse aparelho requer a entrada de valores lidos na escala fixa de sua lente dados pelo enquadramento da seção do fuste no visor, na altura em que se deseja medir o diâmetro. Esses valores lidos na escala fixa variam com a distância do aparelho à árvore medida.

Para testar a viabilidade de uso desse equipamento em campo, foram levantados dados em parcelas permanentes na área de manejo florestal da Empresa Precious Woods Pará Ltda. (3°23'S e 50°17'W), localizada no município de Portel, estado do Pará, Brasil.

Procedimentos adotados para as medições de altura comercial

O dendrômetro a *laser* foi utilizado para medir as alturas comerciais¹ de um total de 65 árvores. Essa mesma variável foi também estimada visualmente para avaliar a qualidade desse tipo de estimativa, assim como para analisar a possibilidade dessas estimativas serem calibradas. Os levantamentos foram feitos em quatro grupos de parcelas permanentes, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Número de árvores amostradas para levantamento dos dados de altura comercial.

Table 2. Amount of sampled trees for commercial height data survey.

Intervalo de altura (m)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Total
0 — 10	4	1	0	0	5
10 — 15	10	3	1	0	14
15 — 20	6	10	3	5	24
20 — 25	0	4	3	4	11
≥ 25	3	2	4	2	11
Árvores com alturas medidas e estimadas visualmente	23	20	11	11	65
Árvores só com alturas estimadas visualmente	29	9	11	12	61
Árvores com as quais não foi possível aplicar nenhum dos métodos	1	0	0	0	1
Total	53	29	22	23	127

Cada grupo corresponde a dados coletados conjuntamente em duas parcelas permanentes, cujas dimensões individuais são de 50 x 100 metros (0,5 hectare) cada uma. Os grupos de parcelas tiveram seus dados levantados em uma sequência temporal, sendo o grupo 1 o primeiro a ser medido e o grupo 4 o derradeiro a ser medido.

¹ A altura comercial considerada neste estudo é similar à altura do início da copa, mas pode ser maior se houver uma continuidade do fuste após a inserção do primeiro ramo, e pode ser menor se houver defeitos no fuste antes da inserção do primeiro ramo.

Para o grupo 1, o procedimento adotado foi o de revelar a medição do aparelho apenas para o anotador, ocultando-a dos demais membros da equipe de levantamento de dados de campo, a qual era formada por mais dois indivíduos além do anotador. Isso fez com que as estimativas para o grupo 1 fossem realizadas sem nenhuma referência de precisão. Para os grupos 2, 3 e 4, levantados em etapas subsequentes, foi adotado o procedimento de revelar a altura medida pelo aparelho à equipe, após as estimativas visuais terem sido feitas e anotadas.

Considerando os níveis de precisão, indicados nas especificações do aparelho, de medição de distância das árvores e de ângulo vertical (Tabela 1), partiu-se do pressuposto de que as medições de altura realizadas pelo aparelho garantiam um elevado grau de precisão. Por isso, a medição do aparelho foi tomada como referência para se verificar o grau de precisão das estimativas visuais. A partir disso, procedeu-se a análise comparativa dos dados levantados nos quatro grupos para se verificar se ocorreu "calibração" gradativa da visão dos estimadores em relação à altura medida com o aparelho. Os resultados obtidos do grupo 1 foram utilizados como testemunha, já que as estimativas foram realizadas sem referência de precisão.

Para se constatar se havia diferença entre as medições do dendrômetro e as estimativas visuais nos diferentes intervalos de altura, procedeu-se a análise comparativa para se verificar em quais intervalos as amplitudes de erro das estimativas visuais eram maiores, quando comparadas com as medições do aparelho.

Para avaliação da aplicabilidade dos métodos de levantamento de dados de altura realizados através do dendrômetro e através das estimativas visuais, foi registrado o número de vezes em que não foi possível realizar medição com o aparelho e o número de vezes em que não foi possível realizar as estimativas visuais das alturas. Para essa avaliação, foi utilizado o cálculo dos pesos percentuais dessas ocorrências sobre o total de árvores amostradas para levantamento da variável *altura comercial*.

Procedimentos adotados para as medições de diâmetro

Foram medidos os diâmetros do fuste de 53 árvores, utilizando-se a fita de circunferência e o dendrômetro. A fita de circunferência foi utilizada sem o auxílio da escada de medição, e por esse motivo só foi aplicada nas árvores em que foi possível medir sem esse equipamento acessório. O ponto de medição do diâmetro pode ser realizado dentro do padrão de 1,30 metros (um metro e trinta centímetros) de altura do solo, ou diâmetro à altura do peito (DAP), em parte das árvores amostradas. Nos casos em que não foi possível aplicar essa altura padrão de medição de diâmetro, devido às características do fuste das árvores (por exemplo, presença de raízes tabulares ou presença de defeitos nos fustes mesmos), foi adotado o procedimento de medir o diâmetro da árvore a 1 (um) metro de altura acima de tais obstáculos e de registrar a altura desse ponto de medição do diâmetro. Devido a essa variação no ponto de medição do diâmetro ser frequente em florestas tropicais, foi adotado para esse estudo o termo "diâmetro de referência", para designar a medição do diâmetro de árvores em alturas variáveis.

Os dados de diâmetro foram organizados para análise, por intervalo de diâmetro, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Número de árvores amostradas para levantamento dos dados de diâmetro do fuste.

Table 3. Amount of sampled trees for trunk diameter data survey.

Intervalo de diâmetro (cm)	Número de árvores
5 — 15	2
15 — 30	9
30 — 50	13
≥ 50	29
Árvores com diâmetros medidos pela fita e pelo dendrômetro	53
Árvores com diâmetros medidos só pelo dendrômetro	75
Árvores em que não foi possível medir o diâmetro por nenhum dos métodos	4
Total	132

Como o aparelho aplica um método ótico que como método indireto de medição é considerado menos preciso do que a medição com fita (ALDER; SYNNOTT, 1992; BRACK, 1997), o diâmetro

medido com fita serviu de referência para se verificar o grau de precisão da medição realizada com o aparelho.

De forma análoga ao levantamento de dados de altura comercial, para avaliar a aplicabilidade dos métodos de medição de diâmetro utilizados nesse estudo, foi registrado o número de vezes em que não foi possível realizar a medição do diâmetro com a fita de circunferência e o número de vezes em que não foi possível realizar a medição dessa variável com o dendrômetro. Para essa avaliação, foi utilizado o cálculo dos pesos percentuais dessas ocorrências sobre o total de árvores amostradas para levantamento da variável diâmetro do fuste.

Análise dos dados

Os dados de altura gerados pela medição através do aparelho e da estimativa visual foram comparados estatisticamente em três etapas: (1) cálculo da média aritmética, do desvio padrão e do coeficiente de variação das diferentes amostragens; (2) aplicação do teste F sobre os dados gerais do aparelho e da estimativa média, para verificar se havia homogeneidade entre as variâncias desses dados ao nível de 5% de probabilidade; (3) aplicação do teste t pareado para comparar as médias dos levantamentos do aparelho e da estimativa média, ao nível de 5 % de probabilidade (FERREIRA, 1991).

Para os dados de diâmetro, foram formados dois conjuntos de dados: diâmetro medido com fita de circunferência e diâmetro medido com aparelho. Para esses dois conjuntos, foram realizados os mesmos procedimentos estatísticos utilizados para a comparação dos dados de altura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura comercial

Na tabela 4 constam os dados de campo medidos com o aparelho e estimados por integrantes da equipe de campo. Os resultados da análise geral dos dados de altura estão apresentados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 4. Alturas comerciais de espécies arbóreas de floresta tropical medidas com o aparelho e estimadas por integrantes da equipe de campo.

Table 4. Commercial heights of tropical forest trees species measured with the LEDHA GEO laser dendrometer and estimated by the field crew.

Grupo	N	Nome Científico	Família	Altura medida (m)	Estimativa 1 (m)	Estimativa 2 (m)	Estimativa média (m)
1	1	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	8,5	7	8	7,5
1	2	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	6	7	6,5	6,8
1	3	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	9,9	12	9	10,5
1	4	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Boraginaceae	6,7	8,5	7	7,8
1	5	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Mimosaceae	12,5	14	11,5	12,8
1	6	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	14,3	11	13	12,0
1	7	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	mimosaceae	12,7	10	13,5	11,8
1	8	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	10,2	10	11	10,5
1	9	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Leguminosae	14,2	10	9	9,5
1	10	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	13,7	10	12	11,0
1	11	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	12,4	10	10	10,0
1	12	<i>Protium heptaphyllum</i> March	Burseraceae	13	14	10,4	12,2
1	13	<i>Licaria Chrysophylla</i> (Meissner) Kosterm	Lauraceae	14,3	14,5	16	15,3
1	14	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	10,7	12	10,5	11,3
1	15	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	19	14	15,5	14,8
1	16	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	18,1	18	21	19,5
1	17	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	mimosaceae	19,4	18	17,4	17,7
1	18	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	19,9	17	16,8	16,9
1	19	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	15,8	17	16	16,5
1	20	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	18,3	17	16	16,5
1	21	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Boraginaceae	26,8	25	23	24,0
1	22	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (W.) Hochr.	Mimosaceae	29,7	30	27	28,5
1	23	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	28,6	20	25	22,5

2	24	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Lecythidaceae	9,8	10	8	9,0
2	25	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	13,5	13	13	13,0
2	26	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	10,6	11,5	10	10,8
2	27	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	14,5	14	15	14,5
2	28	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	15,4	18	17	17,5
2	29	<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Bombacaceae	15,8	16	18	17,0
2	30	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	15,6	13	13	13,0
2	31	<i>Lecythis usitata</i> Miers.	Lecythidaceae	18,6	21	18	19,5
2	32	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	16,4	14,5	14	14,3
2	33	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	20	20	19	19,5
2	34	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	15,3	18,4	15	16,7
2	35	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae	15,5	11,5	14,5	13,0
2	36	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Lecythidaceae	19,4	17,5	18	17,8
2	37	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	19,7	19	18,6	18,8
2	38	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Lecythidaceae	21,4	20	20	20,0
2	39	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	22,6	22	23	22,5
2	40	<i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke	Fabaceae	24,1	21,5	25	23,3
2	41	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	Myristicaceae	22,4	20	21	20,5
2	42	<i>Lecythis usitata</i> Miers.	Lecythidaceae	25,7	25	20	22,5
2	43	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	27,4	22,5	20	21,3
3	44	<i>Virola caducifolia</i> W.A.Rodrigues	Myristicaceae	14,9	15	14	14,5
3	45	<i>Protium heptaphyllum</i> March	Burseraceae	18,8	20	18	19,0
3	46	<i>Ocotea fragrantissima</i> Ducke	Lauraceae	18	18	18	18,0
3	47	<i>Anacardium giganteum</i> Han. ex Engler	Anarcadiaceae	17,7	16	18	17,0
3	48	<i>Ocotea fragrantissima</i> Ducke	Lauraceae	20,1	19	18	18,5
3	49	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	21	18	22	20,0
3	50	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	21,1	16	16,5	16,3
3	51	<i>Peltogyne catingae</i> Ducke	Caesalpiniaceae	25,9	26	26,5	26,3
3	52	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	30,7	25	26	25,5
3	53	<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	25,7	24	24,5	24,3
3	54	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Leguminosae	28	24	22	23,0
4	55	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	18,3	16	17	16,5
4	56	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	18,3	16	17	16,5
4	57	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	20	18	19	18,5
4	58	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	18,7	18	19	18,5
4	59	<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i> (DC.) G.P.Lewis & M.P.Lima	Leguminosae	19,6	15	16	15,5
4	60	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	24,6	24	25	24,5
4	61	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Lecythidaceae	22,3	20	23	21,5
4	62	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	Mimosaceae	24,3	23	26	24,5
4	63	<i>Buchenavia viridifolia</i> Ducke	Combretaceae	22,9	21	20	20,5
4	64	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	25,6	22	23	22,5
4	65	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	30,4	25	28	26,5
Média				18,5	17,1	17,3	17,2
Desvio padrão				5,9	5,2	5,4	5,2
C.V. %				31,8	30,1	31,4	30,2

Tabela 5. Parâmetros estatísticos gerais dos dados de altura das árvores amostradas.
Table 5. General statistics parameters of sampled trees height data.

Parâmetro	Dendrômetro	Estimativa visual média
Média (m)	18,5	17,2
Desvio padrão	5,9	5,2
CV (%)	31,8	30,2

Tabela 6. Resultados dos testes F e t.

Table 6. Tests F and t results.

Grupos de dados testados	teste F	F tab	teste t	t tab
Dendrômetro + estimativa visual	0,30135	3,84	0,000000342	1,96

O resultado do teste F, expresso como $F_{calc} < F_{tab}$ ao nível de 5% de probabilidade, indicou que existe homogeneidade entre as variâncias dos dados analisados.

O resultado do teste t, expresso como $t_{calc} < t_{tab}$ ao nível de 5% de probabilidade, indicou que não existe diferença estatística significativa entre as médias dos dados comparados, ou seja, que não há diferença entre o levantamento dos dados de altura realizado com o aparelho daquele realizado através de estimativa visual, considerando a análise geral do conjunto de dados coletados.

Os resultados da análise comparativa dos dados de altura levantados através do dendrômetro e das estimativas visuais, considerando os grupos de medição, estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Comparação dos dados de altura das árvores amostradas por grupo de medição.

Table 7. Comparison of sampled trees height data by measurement group.

Parâmetros	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Média dendrômetro (m)	15,4	18,2	22,0	22,3
Média estimativa visual (m)	14,2	17,2	20,2	20,5
Desvio dendrômetro	6,4	4,8	4,9	3,8
Desvio estimativa visual	5,5	4,1	4,0	3,7
CV dendrômetro (%)	41,5	26,3	22,3	17,0
CV estimativa visual (%)	38,9	23,8	19,6	18,1
Teste t (dendrômetro + est. visual)	0,00691	0,03121	0,02102	0,00278
t tabelado (5%)	2,02	2,02	2,09	2,09

Os resultados da aplicação do teste t demonstraram que não houve, estatisticamente, diferença significativa entre as médias comparadas dos dados do aparelho e da estimativa média, para todos os grupos. Considerando esses resultados, não foi possível fazer inferências sobre a hipótese da ocorrência de "calibração" gradativa das estimativas visuais em relação às medições do aparelho, já que não ocorreu diferença significativa, inclusive, entre as médias dos dados do aparelho e da estimativa média coletados dentro do grupo 1, indicado como testemunha neste estudo.

Por outro lado, considerando a análise individual dos dados, a figura 2 demonstra que a diferença entre as médias das estimativas visuais e as médias das medições com o aparelho não diminuem, apesar do retorno das medições do dendrômetro dado à equipe. Pode-se considerar que essa ausência aparente do efeito de calibração seja parcialmente causada pelo fato de que as médias das alturas estimadas das árvores se distanciaram das médias das alturas medidas pelo dendrômetro tanto quanto mais alto foi o ponto de medição. Nesse caso, pode-se considerar que existe uma tendência de aumento na amplitude de erro das estimativas visuais.

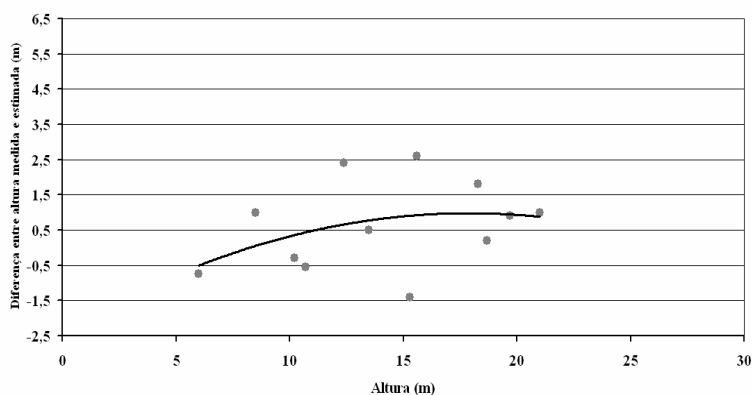


Figura 2. Amplitude de erro das estimativas nas diversas alturas comerciais.

Figure 2. Estimation error amplitude on several commercial heights.

Os resultados da análise comparativa dos dados de altura levantados através do dendrômetro e das estimativas visuais, considerando os diferentes intervalos de altura estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Comparação dos dados de altura das árvores amostradas por intervalo.

Table 8. Comparison of sampled trees height data by interval.

Parâmetros	Intervalo 1 (0—10m)	Intervalo 2 (10—15m)	Intervalo 3 (15—20m)	Intervalo 4 (20—25m)	Intervalo 5 (> 25m)
Média dendrômetro (m)	8,2	13,0	17,8	22,1	27,7
Média estimativa visual (m)	8,3	12,1	16,8	20,8	24,3
Desvio dendrômetro	1,8	1,5	1,6	1,6	1,9
Desvio estimativa visual	1,5	1,8	1,8	2,4	2,2
CV dendrômetro (%)	21,7	11,9	8,9	7,4	7,0
CV estimativa visual (%)	17,7	14,6	11,0	11,7	9,1
Teste t (dendrômetro + est. visual)	0,79113	0,05373	0,02061	0,00397	0,00029
t tabelado (5%)	2,31	2,06	2,02	2,06	2,09

Os resultados da aplicação do teste t, apresentados na tabela 8, demonstraram que não houve, estatisticamente, diferença significativa entre as médias comparadas dos dados do aparelho e da estimativa visual para todos os intervalos de altura das árvores considerados.

Os resultados da análise também demonstram que, entre os intervalos 2 e 5, as médias das estimativas visuais ficaram cada vez mais distantes das médias das alturas medidas pelo aparelho, quanto mais alto foi o intervalo de altura considerado. A partir desses resultados, é possível deduzir que quanto mais elevado for o ponto de altura a ser levantado, maior será a diferença entre a estimativa e a altura medida desse ponto pelo aparelho, e maior a tendência dessa altura ser subestimada através do método da estimativa visual (Figura 3).

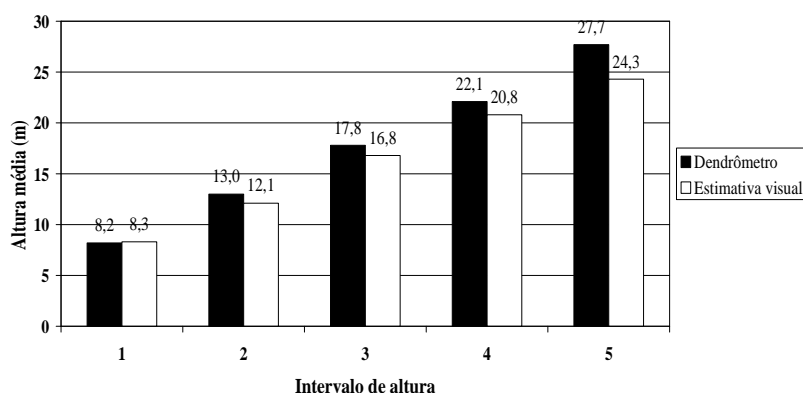


Figura 3. Gráfico comparativo das médias dos dados do dendrômetro e das estimativas visuais, por intervalo de altura.

Figure 3. Comparative chart of dendrometer and ocular estimations data averages, by height interval.

Brack (1999) menciona que a estimativa ocular da altura de árvores é usada na determinação de qualidade de sítio em plantações de *Pinus radiata* de 9 a 10 anos de idade (alturas de até 18 metros) na Austrália, porém esse autor não apresentou dados sobre a margem de erro que ocorreu no estudo mencionado. Já Bechtold *et al.* (1998) referem que o uso de estimativas oculares de altura em inventário florestal tem produzido historicamente erros aceitáveis de amostragem associados com relatório de inventário de volumes. Segundo esses autores, foi alcançada a precisão desejada em 75 % dos casos em que foi utilizado esse método.

Segundo Bechtold *et al.* (1998) e Brack (1999), pode-se esperar um aumento no nível de precisão da estimativa ocular, desde que as pessoas responsáveis pelas estimativas sejam treinadas de forma mais intensiva e realizem uma "calibração" em cada parcela a ser inventariada, através da medição prévia de algumas árvores com aparelhos de medição de altura.

Os resultados do presente trabalho também mostraram que o uso do aparelho em floresta tropical se torna limitado por restrições de visibilidade, pois foi possível realizar as medições com o aparelho em 65 de um total de 127 árvores, ou 51,2 % do total de árvores amostradas. Já as estimativas puderam ser realizadas em mais de 99% dos levantamentos dos dados de altura comercial das árvores amostradas.

Torna-se evidente que, apesar da utilização de instrumentos óticos de alta precisão, é necessário dispor de pessoas que possam estimar visualmente a altura das árvores com razoável precisão (BECHTOLD *et al.*, 1998; BRACK, 1999; FORSTREUTER; WAKOLO, 2000). Além disso, conforme citado em outros estudos, existem indicativos de que o método da estimativa visual da altura de árvores pode ser aprimorado quando é realizado em conjunto, neste caso, com a medição do dendrômetro a *laser*, considerando-se o treinamento adequado e a utilização sistemática em conjunto dos dois métodos.

Diâmetro

Na tabela 9 constam os dados de campo medidos com a fita de circunferência e com o dendrômetro. Os resultados da análise dos dados de diâmetro estão apresentados nas tabelas 10 e 11.

Tabela 9. Diâmetros de espécies arbóreas medidos com a fita e com o dendrômetro a laser.

Table 9. Diameters of the tree species measured with diameter tape and with laser dendrometer.

N	Nome Científico	Família	Diâmetro fita (cm)	Diâmetro dendrômetro (cm)	Ponto de Medição
1	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	34	33	1,3
2	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	52,5	53	1,3
3	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	14,6	15	1,4
4	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	29	28	1,3
5	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	34	34	1,3
6	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	36,6	39	1,3
7	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	28	26	1,3
8	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	9,5	9	1,3
9	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	31,8	29	1,3
10	<i>Protium heptaphyllum</i> March	Burseraceae	32,8	33	1,3
11	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	45,8	49	1,3
12	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	45	44	1,9
13	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	28,5	28	1,3
14	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	21,6	22	1,3
15	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	26,4	24	2,3
16	<i>Licaria Chrysophylla</i> (Meissner) Kosterm	Lauraceae	30	33,4	2,3
17	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	25,4	24	2,1
18	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	55,7	57	1,3
19	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	29	29	1,3
20	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	29,9	28	1,3
21	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	32,5	32	1,3
22	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae	33,7	35	1,3
23	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	30,2	32	1,3
24	<i>Pouteria</i> sp.	sapotaceae	55,9	56	1,3
25	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	74,5	72	1,3
26	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	57	57	1,3
27	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	81,8	82	1,3
28	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae	70,3	72	1,3
29	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	18	6	1,7
30	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	32,5	33	1,3
31	<i>Pouteria</i> sp.	sapotaceae	58	59	1,3
32	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	47,1	47	1,3
33	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Lecythidaceae	58,5	60	1,3
34	<i>Protium heptaphyllum</i> March	Burseraceae	63	65	1,3
35	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Lecythidaceae	93	93	1,3
36	<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	82	82	1,3

37	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	70	75	1,3
38	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Leguminosae	51,2	50	1,3
39	<i>Anacardium giganteum</i> Hancock ex Engler	Anacardiaceae	53	55	1,3
40	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth.	Apocynaceae	52,5	43	1,9
41	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	106	106	1,3
42	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Caesalpiniaceae	59,8	64	1,3
43	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Leguminosae	90	91	1,3
44	<i>Tachigalia alba</i> Ducke	Caesalpiniaceae	60,8	56	1,3
45	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	67,5	70	1,3
46	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Lecythidaceae	52,2	53	1,4
47	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	Mimosaceae	120	108	1,3
48	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chev.	Sapotaceae	96	104	1,3
49	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Caesalpiniaceae	88,2	83	1,3
50	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Sapotaceae	69	67	1,3
51	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	55,4	60	1,3
52	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	54,4	55	1,3
53	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth	Fabaceae	69	69	1,3
Média			51,8	51,5	
Desvio padrão			24,5	24,8	
C.V. %			47,4	48,1	

Tabela 10. Parâmetros estatísticos dos dados de diâmetro das árvores amostradas.

Table 10. Statistics parameters of sampled trees diameter data.

Parâmetro	Diâmetro fita	Diâmetro dendrômetro
Média (cm)	51,8	51,5
Desvio padrão	24,5	24,8
CV (%)	47,4	48,1

Tabela 11. Resultados dos testes F e t.

Table 11. Tests F and t results.

Grupos de dados testados	Teste F	F tab	Teste t	t tab
DAP fita + DAP aparelho	0,93830	3,84	0,59644	1,98

O resultado do teste F, expresso como $F_{calc} < F_{tab}$ ao nível de 5% de probabilidade, indicou que existe homogeneidade entre as variâncias dos dados analisados.

O resultado do teste t, expresso como $t_{calc} < t_{tab}$ ao nível de 5% de probabilidade, indicou que não existe diferença estatística significativa entre as médias dos dados comparados, ou seja, que não há diferença entre o levantamento dos dados de diâmetro através da fita de circunferência e através do dendrômetro, considerando-se a análise do conjunto de dados coletados.

Segundo esses resultados, o dendrômetro a *laser* alcançou um desempenho similar ao levantamento realizado com a fita de circunferência. Esses resultados contrastam com as conclusões apresentadas por Alder; Synnott (1992) e Brack (1997), de que os métodos diretos de medição de diâmetro (sutas e fitas) são bem mais precisos do que os métodos indiretos (instrumentos óticos). Ressalte-se que esses autores não incluíram em suas análises o equipamento testado no presente estudo.

A partir de tais resultados, constata-se que o dendrômetro apresentou uma qualidade inesperada para levantamento de dados de diâmetro do fuste de árvores em floresta tropical úmida.

A figura 4 demonstra que houve pouca discrepância entre os dados das medições realizadas com fita de circunferência e com o dendrômetro.

Os resultados do presente estudo também mostraram que o uso da fita de circunferência (ou diamétrica) se torna limitado pelas dificuldades operacionais já citadas, pois foi possível realizar as medições do diâmetro com a fita em 53 árvores de um total de 132 árvores, ou 40,2 % do total de árvores amostradas. Já a medição de diâmetro do fuste com o dendrômetro pôde ser realizada em 97% do total de árvores amostradas.

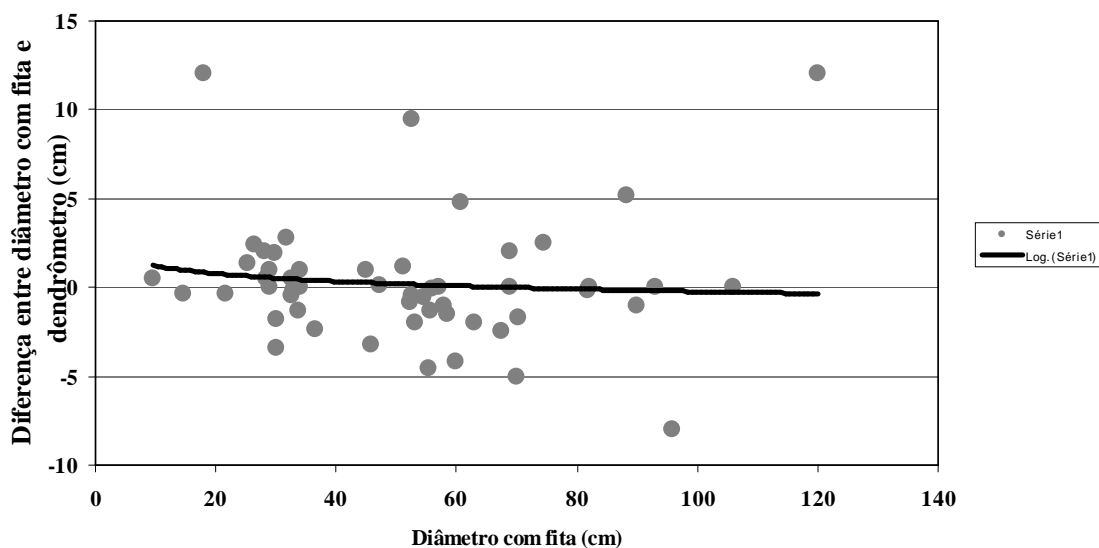


Figura 4. Amplitude de erro das medições do diâmetro com dendrômetro relacionadas às medições com fita.

Figure 4. Dendrometer diameter measurements error amplitude related to tape measurements.

Esses resultados confirmam, em parte, as conclusões apresentadas por Alder e Synnot (1992) e Brack (1997), de que os métodos óticos têm função importante na determinação do diâmetro do fuste, especificamente em árvores grandes portadoras de raízes tabulares, nas quais se torna difícil o uso da fita de circunferência. Porém, as citações desses autores sobre a falta de precisão nos métodos óticos para medição do diâmetro contrastam com os resultados obtidos no presente estudo, no qual foi constatado que não houve diferença significativa entre os dados de diâmetro levantados através da fita de circunferência e os levantados através do dendrômetro (GONÇALVES, 2001).

CONCLUSÕES

A utilização conjunta do dendrômetro a *laser* com a estimativa visual apresenta boa complementaridade no levantamento dos dados de alturas comerciais de árvores em florestas tropicais, pois combina a precisão do dendrômetro a *laser* com a versatilidade da estimativa visual. Os níveis de aplicabilidade e precisão do dendrômetro obtidos nas medições de diâmetro do presente estudo indicam que esse equipamento pode ser utilizado de forma complementar à fita de circunferência na medição do diâmetro do fuste de árvores de florestas tropicais. Considerando tais resultados, o uso desse tipo de equipamento tem o potencial de melhorar significativamente a tomada de decisões sobre o planejamento operacional de uma empresa florestal, tornando-se, assim, um investimento recomendável àquelas empresas que buscam praticar o manejo florestal de forma criteriosa.

REFERÊNCIAS

- ALDER, D.; SYNNOT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992. 124 p. (Tropical Forestry Papers, n. 25).
- BECHTOLD, W. A.; ZARNOCH, S. J.; BURKMAN, W. G. **Comparisons of modeled height predictions to ocular height estimates**. 1998. Disponível em: <<http://www.srs.fs.fed.us/pubs/viewpub.jsp.index=439>>. Acesso em: 19/10/2006.
- BRACK, C. **Comparing diameter measuring instruments**. Last Modified Date Tue, 7 Jan. 1997 Disponível em: <<http://online.anu.edu.au/Forestry/mensuration/toolsd.htm>>. Acesso em: 19/10/2006.

BRACK, C. **Ocular estimation of height.** 1999. Disponível em: <<http://online.anu.edu.au/Forestry/mensuration/toolshgt.htm>>. Acesso em: 19/10/2006.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia.** Maceió: EDUFAL, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, 1991. 437 p.

FORESTRY RESEARCH WORKING GROUP 2. **Code of Forest Mensuration Practice:** a guide to good tree measurement practice in Australia and New Zealand. Wood, Turner and Brack (eds). 1999 Disponível em: <<http://www.anu.edu.au/Forestry/mensuration/rwg2/code> >. Acesso em: 19/10/2006.

FORSTREUTER, W.; WAKOLO, J. Remote sensing for tree measurements in Fiji. **South Pacific GIS e Remote Sensing News**, Fiji, p. 1-2, September/2000.

GONÇALVES, D. de A. **Estudo sobre métodos de monitoramento florestal na escala comercial, em floresta de terra firme do município de Portel-PA.** 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2001.

GRAAF, N. R. de. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rainforest in Suriname.** Wageningen: Agricultural University, 1986. 250 p.

LEDHA GEO Manual. [s.l.]: Grube. [199-]. 36 p.