

RELAÇÃO ENTRE VOLUME DE MADEIRA E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM UM POVOAMENTO DE *Pinus* spp.: ESTUDO DE CASO¹

Claudia de Albuquerque Linhares², Flávio Jorge Ponzoni² e Yosio Edemir Shimabukuro²

RESUMO - O índice de área foliar é um dos parâmetros biofísicos mais importantes do dossel, por caracterizar sua arquitetura e estar relacionado com a biomassa vegetal. Diversos estudos têm demonstrado a relação existente entre esse parâmetro e os índices de vegetação, obtidos a partir dos valores de reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo. A exploração seletiva de espécies vegetais em florestas primárias e a realização periódica de desbastes em plantios florestais para fins comerciais e de manejo são situações que possuem em comum a retirada de determinado volume de material lenhoso. Uma vez que o volume de madeira também expressa a biomassa vegetal, a hipótese abordada foi que talhões com diferentes volumes de madeira apresentariam uma correlação direta com seus IAF's correspondentes. O trabalho analisou a relação existente entre IAF (estimado em campo) e volume de madeira (inventariado) em plantios maduros de *Pinus* spp., e os resultados mostraram que não houve correlação entre eles, pelo menos para plantios nas condições abordadas neste trabalho.

Palavras-chave: LAI-2000, parâmetros biofísicos e parâmetros dendrométricos.

RELATIONSHIP BETWEEN TIMBER VOLUME AND LEAF AREA INDEX IN A STAND OF *Pinus* spp.: A CASE STUDY

ABSTRACT - The Leaf Area Index (LAI) is one of the most important biophysical parameters of vegetation canopy since it characterizes its architecture and is related with green biomass. Several studies have shown the relationship between this parameter and the vegetation indices, obtained from reflectance values of red and near infrared spectral bands. The selective exploitation of vegetation species in primary forests and the periodical thinning carried out in forest stands for commercial and management purposes have in common the extraction of a specific timber volume from the forest. Since timber volume also expresses green biomass, the hypothesis tested was that stands with different timber volumes would present a direct correlation with their corresponding LAIs. This work analyzed the relationship between LAI (estimated in field conditions) and timber volume (estimated by forest inventory) in mature *Pinus* spp. stands. The results showed that LAI is not correlated to timber volume, at least for stands under the conditions considered in this work.

Key words: LAI-2000, biophysical parameters and dendrometric parameters.

1. INTRODUÇÃO

A utilização/destruição de recursos naturais, sobretudo na região Amazônica, e o conseqüente aumento das emissões de CO₂ têm motivado instituições de todo o País a desenvolver inúmeros projetos. Vários deles incluem a quantificação de biomassa florestal por meio

de diferentes técnicas, dentre as quais se destacam as de sensoriamento remoto. Estas técnicas fundamentam-se na interação da radiação eletromagnética com os objetos dos quais se pretende extrair informações. Nos estudos da cobertura vegetal, além dos tradicionais mapeamentos que discriminam a vegetação em classes fisionômicas, ênfase tem sido dada à quantificação de parâmetros

¹ Recebido para publicação em 12.2.1998.
Aceito para publicação em 22.3.2000.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) / Divisão de Sensoriamento Remoto (SERE), Av. dos Astronautas 1758 - Jardim da Granja, 12227-010 São José dos Campos-SP. E-mail: linhares@dpi.inpe.br; flavio@ltd.inpe.br; yosio@ltd.inpe.br

biofísicos do dossel e às relações existentes entre eles. Os parâmetros biofísicos caracterizam a arquitetura de um dossel e incluem a biomassa (peso seco por unidade de área) e o índice de área foliar (IAF), os quais expressam a quantidade de vegetação presente em uma dada área (LO, 1986).

Estimativas de biomassa florestal por meio de sensoriamento remoto podem ser realizadas mediante a utilização de dados coletados em níveis de campo, aeronave ou orbital. Em qualquer um destes níveis, tem sido explorada, entre outras, a relação entre IAF e biomassa. O IAF é um importante parâmetro biofísico da vegetação e é definido como sendo a área foliar total projetada por unidade de área de terreno (m^2/m^2), ou seja, é uma grandeza adimensional (DAUGHTRY, 1990; GOWER e NORMAN, 1991; CURRAN et al., 1992). Sua importância deve-se à relação com a biomassa foliar (GOEL, 1989) e por caracterizar a arquitetura do dossel, explicando a diversidade de estudos em sensoriamento remoto que envolvem estimativas de IAF. Tais estimativas permitem a avaliação das condições fisionômicas e fisiológicas dos dosséis (ASRAR et al., 1989) e as análises quantitativa e qualitativa das trocas energia/matéria ocorridas em dosséis (CURRAN et al., 1992; GONG et al., 1992).

A estimativa do IAF pode ser realizada por métodos diretos ou indiretos (DAUGHTRY, 1990). Nos métodos diretos, a área foliar é estimada diretamente a partir de medidas métricas (largura, comprimento, área e perímetro) e de peso realizadas sobre as folhas, sendo mais precisos, apesar de demorados e trabalhosos (GOEL e NORMAN, 1990). Nos métodos indiretos, o IAF é estimado indiretamente a partir de registros de radiação eletromagnética interceptada e não-interceptada pela vegetação (em campo), ou a partir de valores de radiância refletida pelos dosséis (imagens orbitais, por exemplo), de maneira não-destrutiva. Eles são mais rápidos e práticos, otimizando operacionalmente a estimativa do IAF (WELLES, 1990). Dentre os métodos indiretos para estimativa do IAF em campo, existe o que utiliza o LAI-2000 "Plant Canopy Analyzer", da LI-COR, que tem sido o instrumento mais usado para este propósito (GOWER e NORMAN, 1991; GONG et al., 1992).

O LAI-2000 fornece alguns parâmetros biofísicos dos dosséis, como o IAF, a distribuição angular de folhas (DAF) e as clareiras do dossel (GAP), por meio de medidas radiométricas, de modo rápido e não-destrutivo. Consiste em um sensor óptico (LAI-2050) e uma unidade

de controle (LAI-2070). No sensor óptico, uma lente projeta a radiação no interior do instrumento, sendo depois refletida por um espelho na direção dos detectores de silício, arranjados em forma de anéis concêntricos. Deste modo, a radiação incide em cada um dos anéis, em cinco ângulos zenitais diferentes (7, 23, 38, 53 e 68°), obtendo-se uma medida quantitativa da radiação penetrante no dossel, não sendo necessária a coleta de dados em vários horários do dia. A unidade de controle possui um processador de dados, que coleta as medidas e realiza os cálculos de IAF (LI-COR, 1992).

O sensor é posicionado abaixo do dossel e várias medidas internas podem ser obtidas, as quais são armazenadas e utilizadas para o cálculo automático do IAF, mediante a introdução dessas medidas em um modelo de transferência radiativa. A obtenção de várias medidas e o uso da lente "olho de peixe" garantem uma amostragem representativa da folhagem. Além das medidas internas, devem ser obtidas medidas externas para coleta da radiação total incidente e posterior calibração dos dados obtidos (LI-COR, 1992).

O LAI-2000 é um instrumento versátil, podendo ser utilizado em dosséis de vários tamanhos, de gramíneas até florestas. Além disto, para dosséis altos, existe a possibilidade de usar apenas um equipamento LAI-2000 (alternando-se medidas externas e internas), dois equipamentos LAI-2000 (um para medidas externas e outro para medidas internas) e ainda um equipamento LAI-2000 com dois sensores (reduzindo-se erros relativos à iluminação e à calibração) (LI-COR, 1992).

Imagens orbitais, que fornecem dados da radiância espectral refletida por dosséis, também constituem um método indireto de estimativa do IAF. Esta radiância espectral refletida é influenciada pelos parâmetros biofísicos que caracterizam a arquitetura do dossel, entre outros relacionados às geometrias de iluminação e de visada e das propriedades espectrais dos elementos da vegetação que o constitui (folhas, galhos, troncos, entre outros). De modo geral, é esperado que quanto maior o IAF menor o valor de radiância espectral referente às regiões do visível (de 380 a 720 nm) e do infravermelho médio (de 1.300 a 3.000 nm), devido à maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes e água, absorvendo radiação eletromagnética incidente, respectivamente. Na região do infravermelho próximo (de 720 a 1.300 nm), em razão do maior espalhamento múltiplo entre folhas, é esperado maior valor da radiância espectral com o aumento do IAF. Vários estudos demonstram estas relações,

podendo ser citado o de CURRAN et al. (1992); contudo, o efeito do aumento do IAF pode ser mascarado pelo efeito de outros parâmetros, como DAF ou a presença de elementos ambientais, como o orvalho (PONZONI, 1993).

No caso de florestas primárias (naturais), como a Floresta Amazônica, que apresentam grande diversidade florística, fisionômica e fenológica, esse tipo de estudo é bastante dificultado. Há pouca disponibilidade de dados quantitativos de biomassa coletados em nível de campo, bem como daqueles de sensoriamento remoto, devido a problemas das mais variadas ordens, que incluem cobertura de nuvens e periodicidade das imagens coincidente com levantamentos de dados em campo, por exemplo. Tais fatores têm dificultado o conhecimento mais completo das relações entre IAF e biomassa vegetal nessas tipologias florestais. Sendo assim, as florestas implantadas apresentam algumas vantagens para esses estudos, por serem constituídas por pelo menos um gênero, cobrindo extensas áreas, e por serem inventariadas regularmente sob diversos aspectos, inclusive quanto ao volume de madeira.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a relação entre volume de madeira, obtido por meio de inventário florestal, e IAF, estimado em campo com o LAI-2000, em plantios adultos e densos de *Pinus* spp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área escolhida para realização deste estudo foi a Fazenda Monte Alegre, de propriedade da DURAFLOSA S.A., localizada no município de Agudos-SP, imediatamente a nordeste da mancha urbana da cidade. Encontra-se delimitada pelos paralelos 22°21' e 22°28' de latitude sul e pelos meridianos 48°48' e 48°59' de longitude oeste. A área total da fazenda é de 13.580,79 ha e sua altitude média é de 628 m. Essa fazenda é constituída, em sua maioria, por plantios das seguintes espécies: *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* Barr. et Golf., *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf., *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e *Pinus oocarpa* Schiede var. *oocarpa*. A localização da área de estudo pode ser visualizada na Figura 1.

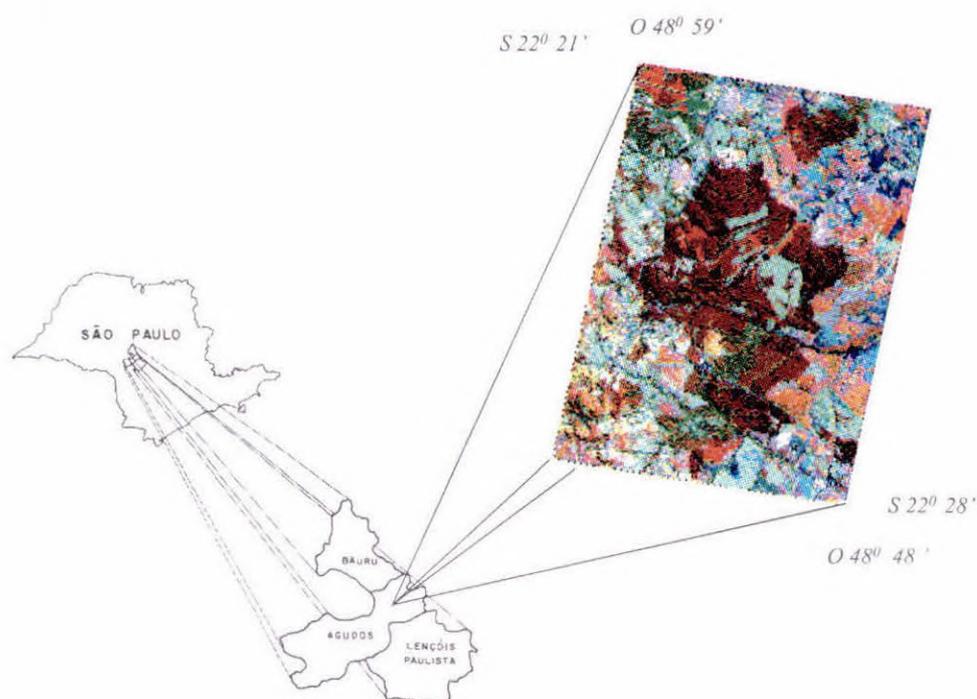


Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.
Figure 1 - Study area location in São Paulo state.

Foi realizado um trabalho de campo em junho de 1996, para a coleta de valores amostrais de IAF, com o objetivo de estabelecer uma relação com os dados de volume dos talhões, fornecidos pela empresa. Para a coleta e o registro dos valores de IAF, foi utilizado o equipamento LAI-2000 "Plant Canopy Analyzer", que, segundo as normas do manual, deve ser usado com o céu nublado (radiação difusa), para que exista pouco espalhamento da radiação eletromagnética pela folhagem. Nos dias claros, quando este espalhamento é maior, pode haver uma subestimativa do IAF, que pode ser evitada com o uso do equipamento no início do dia ou no final da tarde, quando o ângulo de elevação solar é baixo. Durante o trabalho de campo, as duas situações ocorreram, e nos dias de céu limpo as medidas foram realizadas até as 9 horas e a partir das 16 horas.

Foi utilizado apenas um LAI-2000, coletando-se as medidas externas e internas com o mesmo instrumento. Para isto, foram identificadas, no mapa da fazenda, as áreas suficientemente abertas para a coleta das medidas externas que fossem próximas dos talhões dos quais seriam obtidas as medidas internas. Esse cuidado foi tomado para que a iluminação não mudasse muito durante o trajeto entre um local e outro.

De acordo com o manual desse instrumento, foi realizada uma seqüência de seis medidas dentro de um talhão, escolhido aleatoriamente, com o objetivo de definir o número de repetições internas ao talhão necessárias para uma amostragem satisfatória e confiável para o cálculo do IAF. A partir do valor de IAF obtido e do desvio-padrão, foi calculada a razão (desvio-padrão/IAF), e o resultado, segundo a tabela do próprio manual, indicou 8 como o número mínimo de repetições internas. No entanto, procurando aproximar-se de uma amostragem significativa e de uma distribuição normal dos dados, decidiu-se, arbitrariamente, aumentar esse número, realizando-se entre 24 e 30 medidas internas em cada talhão, para o cálculo do IAF.

O procedimento em campo consistiu na realização de uma medida externa, em área aberta, seguida das medidas internas nos talhões. Para as medidas internas, estabeleceu-se um esquema de transectos, com oito a dez medidas cada um, espaçadas de 1 m, com o sensor sempre na mesma direção (Figura 2). Foram definidos três transectos dentro do talhão, procurando distanciá-los o máximo possível. Foi adotada a recomendação do manual para plantios florestais comerciais, de tomada de medidas em quatro posições ao longo das linhas de plantio: uma dentro, outra um quarto fora, uma totalmente fora e a última três quartos fora da linha de plantio, para evitar

que as mesmas plantas dominassem a medida. Ao final das medidas internas, realizou-se outra medida externa, em área aberta.

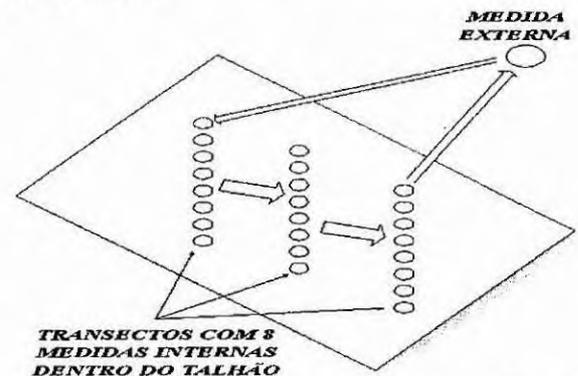


Figura 2 - Esquema ilustrativo dos transectos dentro do talhão.

Figure 2 - Illustration of the transects inside the stand.

As duas medidas externas de referência apresentaram diferenças devido às mudanças nas condições de iluminação. Para o cálculo do IAF, o próprio equipamento realizou uma interpolação dessas duas medidas. Tanto para medidas externas, quanto para as internas, foi utilizada uma máscara de 45° para cobertura da lente do sensor óptico, com o objetivo de retirar o operador do campo de visada da lente do sensor. Foram amostrados 37 talhões, e em todos foi adotado o mesmo procedimento.

Os valores de IAF coletados e arquivados pelo LAI-2000 foram visualizados diretamente no visor do aparelho e transcritos para uma planilha, ao final de cada dia de trabalho. Finalmente, esses valores de IAF foram relacionados com os volumes, denominados **atuais**, dos mesmos talhões amostrados em campo, para estabelecimento de uma relação entre estas variáveis, por meio de um modelo de regressão linear. Os volumes atuais foram estimados, para a mesma época do campo (junho de 1996), a partir dos volumes obtidos à época do último desbaste e dos dados de incremento médio anual, ambos fornecidos pela empresa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de IAF obtidos em campo para os 37 talhões situaram-se entre 1,79 e 3,50, conforme pode ser observado no Quadro 1. Valores de IAF, igualmente baixos, também foram encontrados por CURRAN et al. (1992) e GONG et al. (1992), para *Pinus elliottii* (2,52 a 4,07) e *Pinus ponderosa* (0,87 a 2,72), respectivamente.

GOWER e NORMAN (1991) utilizaram o LAI-2000 para estimativas indiretas de IAF em plantios de coníferas e compararam estes valores com os obtidos pelo método direto. Concluíram que o LAI-2000 subestima em 35 a 40% os valores de IAF relativos a coníferas, o que explica os baixos valores encontrados em campo, apesar da alta densidade de vegetação nos talhões estudados. Segundo aqueles autores, a subestimativa do IAF pode ser devido ao arranjo das acículas em grupos e a eventuais sobreposições, que poderiam contabilizar uma quantidade menor de folhas do que realmente existe. GOWER e NORMAN (1991) sugerem a multiplicação dos valores encontrados via LAI-2000 por um fator de correção, de modo a estimar os verdadeiros valores de IAF. Para coníferas, este fator equivale a 1,5, e a multiplicação dos dados obtidos em campo por essa constante deslocaria o intervalo de IAF

para 2,7 a 5,3. Entretanto, este procedimento não foi adotado para o estabelecimento da relação VOLUME x IAF, descrito mais adiante, utilizando-se os próprios valores originais, estimados pelo LAI-2000.

Ainda com relação aos dados de campo, nota-se, no Quadro 1, que os desvios não foram muito altos (0,04 a 0,15), fato que expressa a homogeneidade dos talhões.

De acordo com o procedimento em Material e Métodos, os dados de IAF adquiridos em campo e os volumes atuais (Quadro 2) foram utilizados na definição de um modelo de regressão linear.

Observa-se na Figura 3 que a correlação entre as variáveis é positiva, entretanto, o valor de $R=0,066$ indicou baixa correlação e o valor de $R^2=0,004$ mostra que não houve ajuste da equação aos pontos.

Quadro 1 - Informações relativas ao trabalho de campo e dados coletados pelo LAI-2000

Table 1 - Field work and LAI-2000 data

Talhão	Data	Hora	IAF	σ laf	GAP	Amostras
2c	27/06/96	14:55:04	3,4	0,07	0,078	24
8a	30/06/96	07:35:16	2,34	0,06	0,176	25
8d	30/06/96	07:50:49	2,62	0,04	0,134	25
30c	27/06/96	14:38:05	2,83	0,08	0,114	24
31	29/06/96	09:14:07	2,54	0,09	0,129	24
36a	25/06/96	07:31:14	1,86	0,09	0,274	32
37	29/06/96	08:04:36	1,79	0,06	0,263	24
38	29/06/96	08:32:01	3,09	0,05	0,085	24
40b	28/06/96	17:38:27	3,43	0,05	0,052	24
41a	28/06/96	17:22:17	2,66	0,07	0,109	27
44b	29/06/96	07:49:36	3,2	0,07	0,094	24
46a	28/06/96	12:12:04	2,39	0,13	0,148	24
46b	28/06/96	15:44:28	1,99	0,06	0,222	24
46c	28/06/96	15:59:13	2,16	0,15	0,174	24
48	28/06/96	16:44:20	3,37	0,08	0,067	24
49	28/06/96	16:29:23	2,67	0,07	0,118	27
50	28/06/96	16:15:54	2,84	0,12	0,094	26
51	28/06/96	17:06:10	1,89	0,06	0,256	24
52	29/06/96	08:57:43	3,11	0,07	0,079	24
55	26/06/96	07:40:09	2,57	0,1	0,143	24
56a	29/06/96	09:32:00	2,39	0,06	0,157	24
58a	26/06/96	07:21:30	2,31	0,1	0,165	24
62c	26/06/96	07:00:16	2,15	0,08	0,181	24
76	28/06/96	11:58:09	3,09	0,08	0,09	30
81	26/06/96	16:14:49	2,82	0,05	0,122	24
86	26/06/96	16:32:03	2,41	0,08	0,139	24
88	26/06/96	15:59:51	2,26	0,11	0,164	26
99a	30/06/96	08:32:56	2,36	0,05	0,17	24
99e	30/06/96	08:24:20	2,25	0,06	0,187	24
100	29/06/96	10:17:52	2,48	0,05	0,145	24
101	29/06/96	10:32:23	2,36	0,06	0,167	24
102	30/06/96	08:11:28	3,27	0,1	0,081	24
104a	25/06/96	16:57:04	3,5	0,08	0,074	24
112d	29/06/96	17:16:10	2,25	0,04	0,177	24
114a	29/06/96	17:29:16	3,35	0,05	0,085	25
116	29/06/96	17:03:15	2,98	0,05	0,104	24
117	29/06/96	16:45:47	2,97	0,06	0,122	25

Quadro 2 - Dados utilizados na obtenção da equação Volume x IAF
Table 2 - Volume x IAF equation obtention data

Talhão	Ima ¹	Volume Posterior ²	Data Desbaste	Volume Atual ²	IAF
2c	29,4	102,4	JUN 93	190,6	3,4
8a	21,3	65,4	OUT 93	122,058	2,34
8d	29,4	29,4	OUT 93	107,604	2,62
30c	29,3	205,8	AGO 94	259,712	2,83
31	29,3	175,7	MAR 94	241,625	2,54
36a	26,3	152,5	JUN 92	257,7	1,86
37	22,0	65,9	JUN 93	131,9	1,79
38	29,4	144,3	OUT 93	222,504	3,09
40b	23,4	160,9	JUL 94	205,828	3,43
41a	23,4	128,9	JUL 94	173,828	2,66
44b	29,4	122,3	JUN 93	210,5	3,2
46a	21,3	79,2	JUL 94	120,096	2,39
46b	21,3	117,1	AGO 94	156,292	1,99
46c	23,4	144,3	JUL 94	189,228	2,16
48 ^{ab}	23,4	91,4	JUL 94	136,328	3,37
49	23,4	142,5	AGO 94	185,556	2,67
50	21,3	76,8	SET 94	114,075	2,84
51	21,3	87,9	SET 94	125,175	1,89
52	26,3	142,2	AGO 92	243,192	3,11
55	10,6	...	...	77	2,57
56a	26,3	210,1	AGO 92	311,092	2,39
58a	10,6	...	...	83	2,31
62c	10,6	...	...	78	2,15
76	10,0	36,2	JUN 93	66,2	3,09
81	21,3	82,7	JUL 94	123,596	2,82
86	21,3	104,1	JUL 94	144,996	2,41
88	26,3	169,1	AGO 94	217,492	2,26
99a	21,3	80,6	JUN 94	123,2	2,36
99e	25,3	71,2	JUN 94	121,8	2,25
100	25,3	82,7	JUN 94	133,3	2,48
101	25,3	49,2	JUN 94	99,8	2,36
102	10,6	48,6	JAN 94	74,252	3,27
104a	10,0	42,7	OUT 93	69,3	3,5
112d	21,3	148,4	AGO 94	187,592	2,25
114a	31,3	194,8	ABR 94	262,408	3,35
116	21,3	101,4	JUN 94	144	2,98
117	29,4	135,3	JUL 94	191,748	2,97

¹ - Incremento Médio Anual em m³ cc/ha/ano.

² - Volumes em m³ cc/ha.

MARSHALL e WARING (1986), CAMPBELL e NORMAN (1989) e GOWER e NORMAN (1991) relataram a existência de uma forte correlação entre área foliar e área de câmbio vascular ("sapwood") e, ou, diâmetro à altura do peito (DAP), o que permite estimativas de área foliar a partir da entrada de dados de área de câmbio vascular e, ou, DAP em equações alométricas. Uma vez que a área foliar está relacionada com o DAP e este, por sua vez, com o volume de madeira, supõe-se que o volume de madeira também esteja relacionado com o IAF. Tal fato pode ser confirmado no trabalho de

KUPLICH et al. (1996), que obtiveram uma forte correlação entre dados de biomassa foliar e volume de madeira em área de floresta primária e secundária, ambos medidos em campo. Foi com base nessa premissa que os objetivos deste trabalho foram traçados, tentando estabelecer uma equação que relacionasse volume de madeira com IAF. Entretanto, um aspecto deve ser ressaltado quanto às florestas implantadas. Os plantios florestais jovens geralmente apresentam alta correspondência entre IAF e volume de madeira, por ainda estarem em fase de crescimento de seus troncos e folhas. Ao atingir a fase

adulta, as variações na quantidade de folhas (acículas) são pequenas, enquanto os troncos continuam em processo de crescimento em diâmetro, em resposta aos desbastes realizados. Desta forma, a relação entre IAF e volume se desfaz em plantios adultos, onde os talhões têm pequena variação nos valores de IAF, a despeito do aumento progressivo do volume de seus troncos, como pode ser observado na Figura 4.

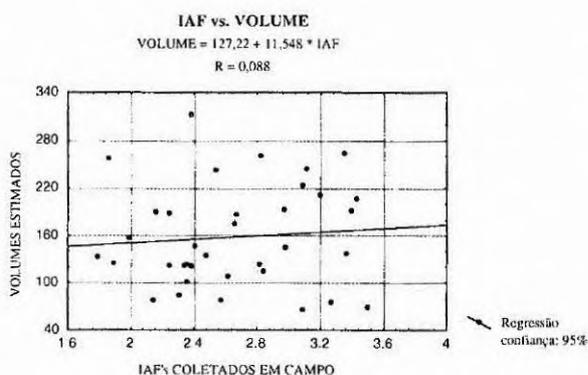


Figura 3 - Equação e diagrama de dispersão de VOLUME x IAF.

Figure 3 - Volume x IAF equation and scatterplot.

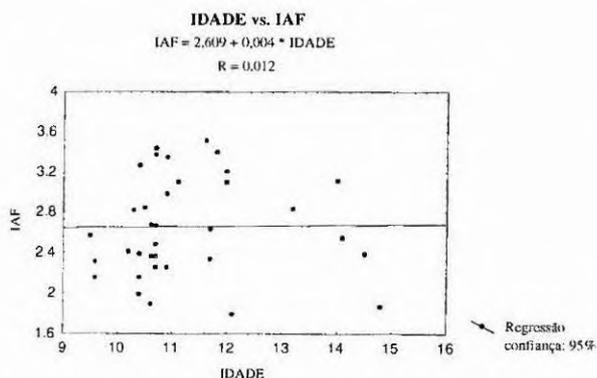


Figura 4 - Diagrama de dispersão de IDADE x IAF.

Figure 4 - AGE x LAI scatterplot.

Os resultados aqui alcançados podem ser um indicativo de que em florestas heterogêneas, cujas arquitetura e composição florística são mais complexas, tal relação pode apresentar as mesmas características, o que pode inviabilizar a estimativa de biomassa a partir da metodologia aqui empregada.

Diante dos resultados obtidos, recomendam-se a aplicação de métodos diretos para o cálculo do IAF de *Pinus* spp., com o objetivo de compará-los com os valores estimados pelo LAI-2000, e a realização da coleta de dados de IAF na mesma época do inventário florestal, relacionando-os com os dados de volume obtidos, em vez de estimá-los a partir do incremento médio anual.

Assim, conclui-se que os valores de IAF obtidos com o LAI-2000, em campo, foram baixos (1,79 e 3,50), embora os plantios fossem adultos e densos. O valor de R² (0,004) indicou não existir correlação do IAF com o volume. Estes resultados mostram que não há relação direta entre IAF e volume em plantios densos de *Pinus* spp.

4. AGRADECIMENTO

À DURATEX FLORESTAL S.A., pela atenção, por disponibilizar os dados dendrométricos necessários e pelo apoio logístico oferecido durante o trabalho de campo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASRAR, G., MYNENI, R.B., KANEMASU, E.T. Estimation of plant-canopy attributes from spectral reflectance measurements. In: ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York, John Wiley, 1989. p.252-296.
- CAMPBELL, G.S., NORMAN, J.M. The description and measurement of plant canopy structure. In: RUSSELL, G., MARSHALL, B., JARVIS, P.G. **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p.1-19.
- CURRAN, P.J., DUNGAN, J.L., GHOLZ, H.L. Seasonal LAI in Slash Pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.39, n.1, p.3-13, 1992.
- DAUGHTRY, C.S.T. Direct measurements of canopy structure. In: GOEL, N.S., NORMAN, J.M. **Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions**. **Remote Sensing Reviews**, Reading, v.5, n.1, p.45-60, 1990.
- GOEL, N.S. Inversion of canopy reflectance models for estimation of biophysical parameters from reflectance data. In: ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley, 1989. p.205-251.

- GOEL, N.S., NORMAN, J.M. Remote sensing and biophysical measurements of soils and vegetation. In: GOEL, N.S., NORMAN, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, Reading, v.5, n., p.1-12, 1990.
- GONG, P., PU, R., MILLER, J.R. Correlating Leaf Area Index of Ponderosa Pine with hyperspectral CASI data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v.18, n.4, p.275-282, 1992.
- GOWER, S.T., NORMAN, J.M. Rapid estimation of Leaf Area Index in conifer and broad-leaf plantations. **Ecology**, Durhan, v.72, n.5, p.1896-1900, 1991.
- KUPLICH, T.M., YANASSE, C.C.F., FRERY, A.C., SANT'ANNA, S.J.S., DUTRA, L.V., HERNANDEZ FILHO, P. **Secondary and primary tropical forest biomass estimates in Tapajós area: 1994 field work report**. São José dos Campos: INPE, 1996. No prelo.
- LI-COR. **LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: operating manual**. Lincoln: LI-COR, 1992.
- LO, C.P. **Applied remote sensing**. New York: Longman, 1986. 393p.
- MARSHALL, J.D., WARING, R.H. Comparison of methods of estimating Leaf Area Index in old growth Douglas-fir. **Ecology**, Durhan, v.67, n.4, p.975-979, 1986.
- PONZONI, F.J. **Aplicação do modelo SAIL no estudo da reflectância espectral de dosséis de mudas de *Eucalyptus* sp. e de *Aspidosperma* sp.** Curitiba: UFPR, 1993. 206p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1993.
- WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, Reading, v.5, n.1, p.31-43, 1990.