

METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE DADOS FLORESTAIS A PARTIR DE DADOS TM-LANDSAT

MARCOS LEANDRO KAZMIERCZAK¹
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO¹

¹ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
Avenida dos Astronautas, 1758
12021 - 000 São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract. The obtainment of information inherent to growing and productivity is fundamental for forest activities planning, due to the long periods of time involved between implementation and final cut. Considering the fact that the obtainment of this information through traditional forest inventory represents a very high cost, a methodology associating field and orbital data was developed to generate prognosis equations. The inventory of natural sites regarding types of soil rendered as a base for the forest inventory, supplying stratified information, which were then correlated with orbital data. The approach applied presented some promising results on the estimate of general dendrometric variables from spectral data measured by the TM Sensor. The quadratic function ($Y = a + bx + cx^2$) seemed the function that best adjusts the data into two studied species and the TM5 spectral response (1,55 to 1,75 μ m) seemed the isolated band to constitute the best independent variable.

1. INTRODUÇÃO

A política de incentivos fiscais estabelecida no Brasil nos anos 60 incrementou a atividade florestal, causando um grande desenvolvimento do parque florestal e o aumento significativo das áreas plantadas com os gêneros Pinus sp e Eucalyptus sp, principalmente.

Atingida a meta inicial de expansão da área plantada para suprimento de matéria-prima industrial e consumo energético, tornou-se necessário obter informações inerentes às florestas, como utilização mais adequada, crescimento e produtividade. Pelos métodos convencionais o planejador necessita de uma boa estrutura de coleta

e processamento de informações precisas e atualizadas, o que representa um custo muito elevado.

O avanço verificado nos últimos anos no campo do processamento digital de imagens e no tratamento de informações geográficas abriu novas perspectivas para a análise de povoamentos florestais, dando suporte para que a quantificação de aspectos relacionados com a vegetação possa ser feita através de modelos que descrevam a interação da radiação eletromagnética com a cobertura vegetal.

Empregando a abordagem estatística ou empírica, procura-se estabelecer a correlação entre os dados espectrais medidos por

um sensor orbital e os parâmetros da vegetação, ou seja, a partir dos dados medidos pelo sensor, procura-se desenvolver um modelo que estime os parâmetros da cobertura vegetal. Esta abordagem considera o problema inverso da modelagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Metodologias que empregam dados orbitais para estimar variáveis florestais tem sido estudadas em diversas instituições em todo o mundo. Diversos pesquisadores desenvolveram trabalhos nesta linha, não seguida mais aprofundadamente no Brasil, que inicia agora o estudo da resposta espectral de áreas florestais, tentando associá-la a sua produtividade.

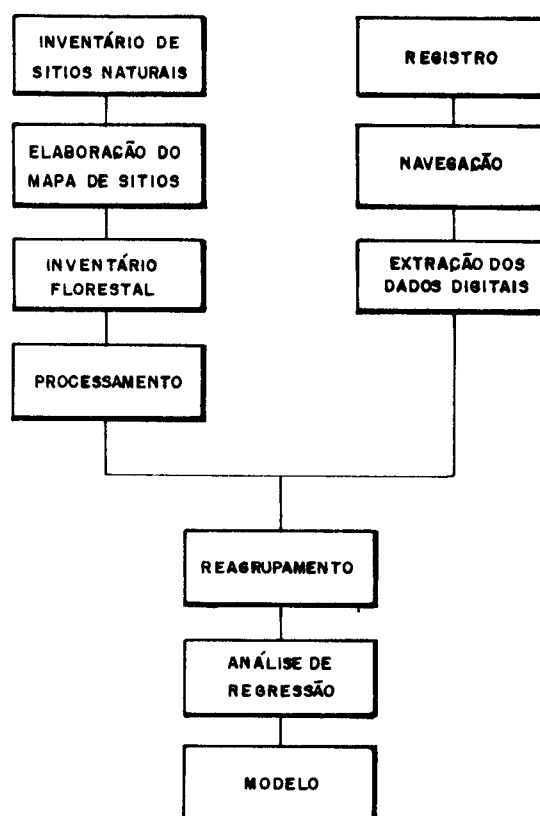
Alguns trabalhos avaliaram simplesmente a correlação entre os dois tipos de variáveis (McCloy, 1980; Jaakkola, 1986; Franklin, 1986; Butera, 1986; Danson, 1987), enquanto outros autores foram além, procurando estabelecer expressões matemáticas para demonstrar quantitativamente estas relações (Mukai e Takeuchi, 1979; Santos, 1988; Ardo, 1991).

Shimabukuro et al. (1989) apresentaram um grande esforço brasileiro nesta linha de estudo, relacionando dados digitais do sensor TM/Landsat com idade, altura, área basal e densidade de povoamentos de Pinus sp e Eucalyptus sp, encontrando relações significativas a 99% de probabilidade entre densidade e a banda TM4 para Eucalyptus sp e entre a densidade e a razão simples TM4/TM3 para Pinus sp.

3 METODOLOGIA

A metodologia está dividida em duas fases que compreendem o levantamento de dados e o seu

processamento, de acordo com o esquema abaixo:



3.1 INVENTÁRIO DE SÍTIOS NATURAIS

O sítio pode ser definido como a unidade espacial em que os fatores ambientais são semelhantes e a produção é semelhante. Assim, a delimitação dos sítios naturais assume um papel especial, e é feita de acordo com a metodologia de Andrae (1978), que delimita os sítios com base em fatores secundários (solo e vegetação) devido à mútua correlação que exercem entre si e pela possibilidade de serem alterados em períodos menores de tempo.

A análise do solo consiste da avaliação da manta orgânica que se encontra sobre a superfície do solo mineral, do tipo de húmus, características físicas do solo (textura, estrutura, cor, profundidade) e do grau de hidromorfia.

Para analisar a vegetação é empregada a metodologia de

Braun-Blanquet (1979), que avaliava a composição florística nos três estratos da floresta: arbóreo, arbustivo e herbáceo.

O esquema de levantamento dos dados pode ser visto em Kazmierczak (1992), sendo produzido como resultado final, um mapa de sítios.

3.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Para um acompanhamento constante da floresta e para fornecer um controle do crescimento, o inventário é do tipo contínuo com repetição parcial, onde as medições são periódicas e parte das unidades é remediada em todas as ocasiões.

O processo de amostragem é o aleatório estratificado, uma vez que, dispondo de informações precisas sobre o tamanho dos estratos, pode-se diminuir a variabilidade dentro dos estratos e a intensidade de amostragem, diminuindo consequentemente o custo e permitindo uma maior precisão das estimativas.

Na estruturação do inventário são definidos estratos em espécie e em volume, estes últimos de acordo com o número de sítios mapeados no item anterior. A intensidade de amostragem, que é função da variância da população, do erro máximo de amostragem e do nível de confiança das estimativas, deve procurar abranger o maior número possível de sítios, para suprir a necessidade de informações setorizadas (por sítio por talhão).

Num povoamento com três estratos em espécie (E1, E2 e E3) e quatro sítios naturais, tem-se o seguinte quadro de distribuição das unidades amostrais (Tabela 1).

O somatório N_{ij} corresponde a intensidade de amostragem necessária.

O tamanho da unidade, combinando precisão e custo, é de 20 x 30 m (600 m²), e as unidades são distribuídas proporcional-

mente a área da espécie, do talhão e do sítio.

TABELA 1 - Distribuição das unidades amostrais por estrato.

ESPÉCIE	SÍTIO			
	S1	S2	S3	S4
E1	N ₁₁	N ₁₂	N ₁₃	N ₁₄
E2	N ₂₁	N ₂₂	N ₂₃	N ₂₄
E3	N ₃₁	N ₃₂	N ₃₃	N ₃₄

Distribuídas sobre o mapa de sítios, segue-se a instalação das unidades no campo e a coleta dos dados, segundo a metodologia padrão do Centro de Pesquisas Florestais, apresentada por Schneider et al. (1987).

Cada unidade amostral foi analisada segundo as seguintes variáveis dendrométricas: idade (IDA), diâmetro médio à altura do peito (DAP), diâmetro da árvore de área basal média (DG), diâmetro médio das árvores dominantes (DDOM), altura média (H), altura média das árvores dominantes (HDOM), área transversal média (G), área basal (AB), incremento médio anual em área basal (IMAG), volume total com casca (VCC), volume total sem casca (VSC), volume em estéreos (VST), incremento médio anual em volume (IMAV) e densidade (N). Um (1) metro cúbico de madeira equivale a 1,49 estéreos.

3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS DIGITAIS TM/LANDSAT

A obtenção dos dados orbitais é feita coincidentemente com a época de coleta dos dados no campo, para assegurar maior veracidade aos resultados. São empregadas todas as bandas do espectro refletido (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7) do sensor TM.

O primeiro passo consiste no registro entre a imagem e o mapa de sítios, para posicionar o sistema de coordenadas da imagem dentro da escala e projeção do mapa. Definidos os pontos de controle e definida uma equação de mapeamento precisa, o registro é aplicado sobre a imagem.

O passo seguinte é a extração das coordenadas UTM das unidades amostrais através do sistema de informações geográficas. Com o programa de navegação obtém-se as coordenadas linha/coluna da unidade amostral na imagem registrada.

Com o emprego da subrotina "LÊ PÍXEL", implementada no SITIM, localiza-se a unidade amostral através das coordenadas obtidas no passo anterior e extrai-se os valores digitais de uma matriz 2 x 2. O valor médio desta matriz corresponde ao valor espectral médio daquela unidade n_{ij} no sítio S_j .

Foram consideradas as respostas espectrais médias das seguintes variáveis: TM1 (banda 1), TM2 (banda 2), TM3 (banda 3), TM4 (banda 4), TM5 (banda 5), TM7 (banda 7), R43 (razão simples entre as bandas 4 e 3), DN43 (diferença normalizada entre as bandas 4 e 3) e TVI43 (índice de vegetação TVI entre as bandas 4 e 3).

3.4 REAGRUPAMENTO DOS DADOS

Num determinado talhão "t" tem-se "s" sítios, cada um com "n" unidade amostrais. Para definir a produtividade média e a resposta média de cada sítio em cada talhão, torna-se necessário reagrupar os dados, gerando valores médios por sítio por talhão, para, posteriormente, correlacionar dados de campo e espectrais.

Deve ser aplicado um teste "t" de Student para verificar se há diferença significativa entre as médias antes e depois do reagrupamento.

3.5 ANÁLISE DE REGRESSÃO

De posse dos dados reagrupados, procura-se verificar a existência ou não de correlação entre os dois tipos de variáveis. A função a ser empregada na regressão é definida pela análise da plotagem dos dados e pela sua distribuição.

Como diversos fatores influem sobre a produtividade, tem-se uma grande variabilidade entre os indivíduos, e a distribuição dos dados geralmente forma uma nuvem mais concentrada ou menos concentrada, de acordo com a relação que se tenta estabelecer. São testadas cinco tipos de funções:

- linear simples ($Y = a + bx$)
- multiplicativa ($Y = a x^b$)
- exponencial ($Y = e^{(a+bx)}$)
- recíproca ($Y = 1/(a + b)$)
- quadrática ($Y = a + bx + cx^2$)

Para a seleção da melhor equação de regressão são feitas análises dos valores calculados do coeficiente de determinação corrigido para graus de liberdade, erro padrão da estimativa, valor de F e análise de resíduos padronizados.

5 RESULTADOS

Realizada a sondagem e o mapeamento das áreas de florestas homogêneas, foi constatada a existência de cinco sítios naturais distintos, que representam o resultado do avanço dinâmico da floresta, constituindo as unidades de produção.

O inventário florestal realizado apresentou um erro de amostragem de 3,60% para Araucaria e de 3,99% para Pinus.

No geral os melhores resultados foram produzidos pelas seguintes funções, em ordem decrescente:

<u>Araucaria</u>	<u>Pinus</u>
Quadrática	Quadrática
Linear	Linear
Exponencial	Exponencial
Multiplicativa	Recíproca
Recíproca	Multiplicativa

A função quadrática foi a que melhor se adequou aos dados de Araucaria angustifolia e Pinus sp em 13 e 12 das variáveis, respectivamente.

Os resultados obtidos pela metodologia empregada podem ser observados nos Anexos 1 a 9. A tabela do Anexo 1 apresenta as diferenças percentuais entre os sítios mapeados, de acordo a produtividade média em volume (m³/ha). Exemplificando, no caso do estrato Araucaria angustifolia, o sítio 2 produz 37,24% menos que o sítio 1 e 25,37% menos que o sítio 5.

Nas tabelas dos Anexos 2, 3, 4 e 5 são apresentadas as correlações entre as variáveis dependentes e entre as variáveis independentes, para ambas as espécies.

As matrizes de correlação entre as variáveis dependentes e independentes são apresentadas nos Anexos 6 e 7, para Araucaria e Pinus, respectivamente. Finalmente, nos Anexos 8 e 9 são apresentadas as equações selecionadas para estimar as variáveis florestais, com seus dados estatísticos.

6 CONCLUSÕES

A proposta apresenta um grande potencial, em função da associação entre a produtividade e a sua resposta espectral. A associação dos três elementos (sítio / produção / resposta espectral) assume um caráter inovador, que permite a obtenção de informações de forma rápida e dentro de limites a-

ceitáveis de precisão, após a validação do modelo para aquele local.

Aplicada sobre a Floresta Nacional de Passo Fundo (RS), a metodologia apresentou resultados bastante expressivos, permitindo a estimativa da área basal com uma precisão de 91,04%, altura com 87,25%, o incremento médio anual em volume com 86,42% e idade com 84,69%, entre outras variáveis. Maiores detalhes podem ser vistos em Kazmierczak (1992).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrae, F. Ecologia Florestal. Santa Maria, UFSM, 1978. 230 p.

Ardö, J. Landsat TM based volume estimation of coniferous forest compartments in southern Sweden. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 24, 27-31 May 1991, Rio de Janeiro, Brazil. Proceedings.

Braun Blanquet, J. Fitosociologia-Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid, H. Blume Ediciones, 1979. 820 p.

Butera, M. K. A correlation and regression analysis of percent canopy closure versus TMS spectral response for selected forest sites in the San Juan National Forest, Colorado. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-24(1):122-129, Jan. 1986.

Danson, F. M. Preliminary evaluation of the relationship between SPOT-1 HRV data and forest stand parameters.

International Journal of Remote Sensing, 8(10):1571-1575, . 1987.

Franklin, J. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. International Journal of Remote Sensing, 7(10):1287-1301, Oct.1986.

Jaakkola, S. Use of the Landsat MSS for forest inventory and regional management: the european experience. Remote Sensing Reviews, 2(1):165-212, Aug. 1986.

Kazmierczak, M. L. Estimativa de variáveis dendrométricas em florestas homogêneas a partir de dados Landsat-TM. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. 186p. (INPE-5455-TDI/497).

McCloy, K. R. The response characteristics of vegetation in Landsat MSS digital data. Remote Sensing of Environment, 10(3):185-190, Nov. 1980.

Mukai, Y.; Takeuchi, S. Estimation of primary production of vegetation in agricultural and forested areas using Landsat data. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 13., Ann Arbor, MI, 23-27 Apr. 1979. Proceedings. ERIM, Ann Arbor, 1979, v.2. p. 1177-1188.

Santos, J.R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat. (Tese de Doutorado em Manejo

Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988b. 156p.

Schneider, P.R.; Brena, D.A.; Finger, C.A.G. Manual para coleta de informações dendrométricas. Santa Maria, CEPEF/FATEC, 1987. 28p. (CEPEF/FATEC Série Técnica nº4).

Shimabukuro, Y.E.; Hernandez Filho, P.; Lee, D.C.L. Análise de dados do TM/Landsat para levantamento de reflorestamento. In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 4., Reunião Plenária SELPER, 9., Conferência SELPER Sobre AVHRR, 1., Bariloche, Argentina, 20-24 nov. 1989. Anais. Bariloche, SELPER, 1989. t.1, p. 263-271.

**ANEXO 1 - DIFERENÇA PERCENTUAL EM VOLUME TOTAL COM CASCA
ENTRE OS SÍTIOS NATURAIS**

<i>Araucaria angustifolia</i>					
	SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3	SÍTIO 4	SÍTIO 5
SÍTIO 1	0				
SÍTIO 2	-37,24	0			
SÍTIO 3	-20,26	+27,07	0		
SÍTIO 4	-13,64	+37,60	+ 8,28	0	
SÍTIO 5	-21,32	+25,37	- 1,33	- 8,88	0

<i>Pinus sp</i>					
	SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3	SÍTIO 4	SÍTIO 5
SÍTIO 1	0				
SÍTIO 2	- 8,32	0			
SÍTIO 3	-15,04	- 7,33	0		
SÍTIO 4	-14,15	- 6,36	+ 1,04	0	
SÍTIO 5	- 3,89	+ 4,83	+13,12	+11,96	0

ANEXO 2 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES PARA *Araucaria angustifolia*

	IDA	DAP	DG	DDOM	H	HDOM	G	AB	IMAG	VCC	VSC	VST	IMAV	N
IDA	1	0,462**	0,494**	0,449**	0,211	0,202	0,492**	-0,138	-0,587**	0,059	0,05	0,060	-0,443**	-0,450**
DAP		1	0,992**	0,822**	0,802**	0,677**	0,951**	0,016	-0,122	0,426**	0,456**	0,426**	0,151	-0,794**
DG			1	0,871**	0,790**	0,703**	0,958**	0,028	-0,126	0,449**	0,475**	0,449**	0,149	-0,788**
DDOM				1	0,734**	0,797**	0,846**	0,243	0,074	0,646**	0,657**	0,646**	0,322*	-0,538**
H					1	0,916**	0,750**	0,355**	0,303*	0,755**	0,783**	0,755**	0,570**	-0,437**
HDOM						1	0,640**	0,407**	0,375**	0,816**	0,837**	0,816**	0,623**	-0,309*
G							1	0,021	-0,135	0,432**	0,455**	0,432**	0,125	-0,719**
AB								1	0,655**	0,726**	0,723**	0,726**	0,704**	0,319*
IMAG									1	0,699**	0,696**	0,699**	0,942**	0,568**
VCC										1	0,993**	1,000**	0,847**	0,104
VSC											1	0,993**	0,854**	0,070
VST												1	0,847**	0,103
IMAV													1	0,335**
N														1

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 3 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES PARA *Pinus sp*

	IDA	DAP	DG	DDOM	H	HDOM	G	AB	IMAG	VCC	VSC	VST	IMAV	N
IDA	1	0,088	0,088	0,028	0,591**	0,579**	-0,035	-0,316	-0,904**	0,337	0,372*	0,337	-0,706**	-0,22
DAP		1	0,996**	0,806**	0,451**	0,379*	0,898**	-0,371*	-0,279	0,039	0,120	0,039	-0,210	-0,91
DG			1	0,850**	0,449**	0,394*	0,901**	-0,344	-0,276	0,071	0,152	0,071	-0,190	-0,91
DDOM				1	0,332	0,407*	0,777**	-0,118	-0,190	0,238	0,302	0,239	-0,034	-0,73
H					1	0,944**	0,318	-0,407*	-0,704**	0,652**	0,711**	0,652**	-0,200	-0,66
HDOM						1	0,277	-0,329	-0,698**	0,708**	0,764**	0,708**	-0,177	-0,59
G							1	-0,025	-0,128	0,077	0,141	0,077	-0,081	-0,74
AB								1	0,581**	0,327	0,257	0,327	0,622**	0,56
IMAG									1	-0,225	-0,285	-0,224	0,801**	0,47
VCC										1	0,995**	1,000**	0,359*	-0,13
VSC											1	0,995**	0,307	-0,22
VST												1	0,359*	-0,13
IMAV													1	0,27
N														1

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 4 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES PARA Araucaria angustifolia

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	R43	DN43	TVI43
TM1	1	0,340**	0,513**	0,288*	0,520**	0,404**	0,015	-0,0008	-0,0004
TM2		1	0,608**	0,417**	0,598**	0,478**	0,107	0,050	0,043
TM3			1	0,174	0,631**	0,712**	-0,322*	-0,388**	-0,394**
TM4				1	0,238	0,019	0,872**	0,830**	0,824**
TM5					1	0,641**	-0,084	-0,131	-0,136
TM7						1	-0,326**	-0,372**	-0,375**
R43							1	0,984**	0,980**
DN43								1	0,999**
TVI43									1

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 5 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES PARA Pinus sp

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	R43	DN43	TVI43
TM1	1	0,479**	0,460**	0,780**	0,721**	0,603**	0,714**	0,698**	0,696**
TM2		1	0,726**	0,612**	0,753**	0,720**	0,433*	0,488**	0,492**
TM3			1	0,522**	0,622**	0,612**	0,222	0,247	0,253
TM4				1	0,829**	0,591**	0,946**	0,941**	0,940**
TM5					1	0,814**	0,717**	0,720**	0,720**
TM7						1	0,446*	0,459**	0,462**
R43							1	0,988**	0,985**
DN43								1	0,999**
TVI43									1

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO SEGUNDO A FUNÇÃO LINEAR PARA Araucaria angustifolia

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	R43	DN43	TVI43
IDA	-0,015	-0,016	-0,073	-0,078	-0,020	-0,100	-0,034	-0,169	-0,015
DAP	0,136	0,118	0,076	-0,139	0,136	0,074	-0,164	-0,160	-0,159
DG	0,123	0,105	0,079	-0,166	0,146	0,080	-0,191	-0,183	-0,182
DDOM	0,080	0,247	0,081	-0,249	0,199	0,008	-0,273*	-0,257*	-0,255*
H	0,169	0,227	0,246	-0,093	0,272*	0,107	-0,202	0,222	-0,224
HDOM	0,107	0,166	0,258*	-0,216	0,286*	0,101	-0,303*	-0,342**	-0,342**
G	0,136	0,080	0,067	0,076	0,154	0,031	-0,101	-0,090	-0,087
AB	0,336**	0,371**	0,416**	0,087	0,608**	0,297*	-0,111	-0,146	-0,150
IMAG	0,293*	0,157	0,299*	0,083	0,253*	0,095	-0,057	-0,090	-0,095
VCC	0,246*	0,187	0,328**	-0,077	0,365**	0,081	-0,223	-0,241	-0,111
VSC	0,252*	0,214	0,329**	-0,054	0,380**	0,088	-0,199	-0,225	-0,228
VST	0,246*	0,187	0,328**	-0,077	0,365**	0,088	-0,223	-0,241	-0,111
IMAV	0,286*	0,213	0,326**	-0,004	0,338**	0,141	-0,153	-0,186	-0,190
N	0,068	-0,049	0,078	0,149	-0,002	-0,086	0,103	0,090	0,088

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 7 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO SEGUNDO A FUNÇÃO QUADRÁTICA PARA Pinus sp

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	R43	DN43	TVI43
IDA	-0,299	-0,300	-0,257	-0,392*	-0,486**	-0,378*	-0,384*	-0,378*	-0,377*
DAP	-0,298	-0,118	-0,293	-0,433*	-0,332	-0,174	-0,426*	-0,423*	-0,426*
DG	-0,300	-0,120	-0,291	-0,435*	-0,308	-0,178	-0,426*	-0,422*	-0,425*
DDOM	-0,320	-0,160	-0,218	-0,382*	-0,137	0,196	-0,346	-0,332	-0,335
H	-0,292	-0,105	-0,265	-0,424*	-0,316	-0,243	-0,470**	-0,478**	-0,485**
HDOM	-0,253	-0,101	-0,263	-0,382	-0,269	-0,203	-0,391*	-0,394*	-0,399*
G	-0,322	-0,199	-0,113	-0,417	-0,252	-0,187	-0,391*	-0,401*	-0,407*
AB	0,721**	0,649**	0,485**	0,782**	0,818**	0,674**	0,754**	0,767**	0,769**
IMAG	0,447*	0,372*	0,324	0,546**	0,609**	0,528**	0,527**	0,522**	0,522**
VCC	0,205	0,325	0,219	0,135	0,253	0,275	-0,127	0,161	0,172
VSC	0,172	0,299	-0,212	0,135	0,197	0,253	-0,148	-0,178	-0,190
VST	0,205	0,325	0,219	0,135	0,253	0,275	-0,127	0,161	0,172
IMAV	0,462**	0,484**	0,359*	0,493**	0,712**	0,603**	0,435*	0,429*	0,427*
N	0,426*	-0,114	0,304	0,554**	0,445*	0,270	0,558**	0,553**	0,558**

* significativo a 95% ** significativo a 99%

ANEXO 8 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA *Pinus sp*

VAR. DEP.	VAR. IND.	FUNÇÃO	R2	R2 AJUST.	ERRO (%)	A	COEFICIENTES B	C
IMAV	TM5	QUADRÁTICA	0,5076	0,4906	13,58	27,83335	-1,34916	0,08267
IMAG	TM5	RECÍPROCA	0,4150	0,3948	19,41	0,78382	-0,02139	-
N	R43	LINEAR	0,5365	0,5205	32,13	-314,12400	291,72900	-
H	R43	LINEAR	0,2107	0,1834	12,74	32,66170	-2,77833	-
IDA	TM5	QUADRÁTICA	0,2371	0,2107	15,31	16,09505	1,19212	-0,05823
AB	TM5	QUADRÁTICA	0,6707	0,6593	8,96	-2,07111	5,09516	-0,12769

ANEXO 9 - EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA *Araucaria angustifolia*

VAR. DEP.	VAR. IND.	FUNÇÃO	R2	R2 AJUST.	ERRO (%)	COEFICIENTES A	B
AB	TM5	LINEAR	0,3698	0,3594	13,66	19,31350	0,92626
IMAV	TM5	LINEAR	0,1142	0,0996	31,29	4,53711	0,24587
VCC	TM5	LINEAR	0,1337	0,1194	27,01	159,28000	7,82056
VSC	TM5	LINEAR	0,1451	0,1310	28,41	112,02200	6,53246
VST	TM5	LINEAR	0,1337	0,1194	27,01	237,39200	11,64780
HDOM	DN43	LINEAR	0,1172	0,1027	12,61	23,56150	-13,78140