

CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA PLANTACÕES DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO

CENTRAL DO ESTADO DO PARANÁ.

Sebastião do Amaral Machado*

SUMMARY

The objective of the presente research was to develop polymorphic site index curves for *Pinus taeda* plantations in the Central Region of the State of Paraná, Brazil.

Data for site index curves construction came from 64 stem analysed trees distributed in all site classes and over an age range from 6 up to 17 years.

Height growth curves were developed by applying the Prodan model:

$$H = \frac{A^2}{a + bA + cA^2} \text{ transformed to}$$

$$\frac{A^2}{H} = Z_i = a + bA + cA^2 \text{ to facilitate the parameter estimates}$$

Where:

H = Total height in meters

A = total age from plantation

a, b, c = coefficients of the equation.

The transformed model was applied individually to every 64 trees. Base age was chosen as being 10 years. Then the distribution of Z values at age 10 (Z_{10}) suggested that 5 site index classes with 2 meter intervals should represent well all possible site indexes from 11 to 19 meters. For practical reasons the limits of each site class were drawn, e.g. site index 11 has a lower limit of 10 meters and upper limit of 12 meters at index age.

Graphical tests indicated that the site index curves were representing accurately the actual data, so these curves might be used for site productive capacity classification for the Central region of Paraná. Revision of these curves is recommended when the plantation becomes old enough to allow the use of an index age closer to the rotation age.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das decisões sobre manejo florestal requerem informações sobre a capacidade de produção da área que está sendo manejada. Tais informações são mais comumente expressas em termos de curvas de índice de sítio, as quais provêem o meio mais usual de classificação das terras florestais.

Os conceitos de índice de sítio foram primeiramente desenvolvidos e usados na Alemanha, no século IXX. Ao longo dos anos vários métodos de avaliação de qualidade de sítios têm sido discutidos. De um modo geral, desde a introdução deste conceito, índice de sítio tem sido definido como "sendo a altura média das árvores dominantes, ou média das dominantes e codominantes à uma idade índice" (SCHUMACHER¹⁴; BRICKEL²; BECK e TROUSDEL¹). STRAND¹⁷ frisa

que a idade índice a ser usada, deve ser próxima da idade de rotação esperada, por ter a altura à esta idade uma maior correlação com a produção volumétrica.

Até a década de 1940 os métodos padrões para construção de curvas de índice de sítio eram métodos gráficos, resultando curvas anamórficas conforme descrito por BRUCE³ e por SCHUMACHER¹⁴ em que se traça uma curva guia, para então traçar as curvas de índice de sítio situadas à uma porcentagem fixa acima ou abaixo desta curva guia.

Traçar curvas anamórficas é equivalente assumir que diferenças em sítio resultam em diferenças similares na taxa de crescimento em altura para todas as idades. Isto significa que o coeficiente de variação deveria ser o mesmo para todas as classes de idade. Porém analisando o coeficiente de variação, OSBORNE e SCHUMACHER¹³ encontraram que

* Engenheiro Florestal, M.Sc, Ph.D em Dendrometria, Professor Titular do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

este parâmetro é maior para as classes de idades mais jovens. Então estes autores desenvolveram uma nova técnica para construir graficamente, curvas de índice de sítio polimórficas, usando diferentes pesos a diferentes classes de idade, de acordo com o respectivo coeficiente de variação.

Métodos analíticos para a construção de curvas de índice de sítio, começaram ser usados a partir de 1940. No entanto, a maioria destes métodos, embora eliminasse a subjetividade inerente ao método gráfico, conduzia à curvas anamórficas. Estes métodos foram se desenvolvendo e recentemente as curvas polimórficas de índice de sítio têm sido mais usadas do que as curvas anamórficas.

Os dados para a construção de curvas polimórficas podem ser obtidos de medições repetidas em períodos sucessivos das mesmas árvores, ou então através de análise de tronco, em casos de espécies que possuem anéis anuais de crescimento. De acordo com HERMAN e DEMARS⁸, análise de tronco é muito eficiente quanto ao número de árvores requeridas para prover dados suficientes para a construção de curvas de altura sobre idade.

Com respeito à forma das curvas, SPURR¹⁵, afirma que há uma ampla evidência de que a tendência de crescimento em altura difere de sítio para sítio. Por esta razão análise de tronco tem sido amplamente usada para a construção de curvas de sítio polimórficas. A principal vantagem das curvas de índice de sítio construídas usando dados de análise de tronco, é que cada curva é desenvolvida com dados de cada local específico, permitindo assim detectar o polimorfismo entre curvas, se este existir.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Os dados usados para o desenvolvimento desta pesquisa são provenientes de plantios de *Pinus taeda* de propriedade das Indústrias Klabin do Paraná, localizada no município de Telêmaco Borba, situado na região central do Estado do Paraná. A área de plantio está situa-

da numa zona de transição de campo para matas naturais.

As características desta região são as seguintes: temperatura média anual de 19° Celsius; precipitação média anual de 1.309,5 milímetros; altitude entre 700 e 1000 metros sobre o nível do mar.

Para a obtenção dos dados propriamente ditos, isto é, pares de valores altura-idade, foi utilizado o processo de análise de troncos de 64 árvores dominantes distribuídas em diferentes sítios e idades como mostra o quadro 1. Cada uma destas 64 árvores foram derrubadas e seccionadas à altura de 10 a 20 centímetros acima do colo, à 1,3 metros e daí à cada 2 metros. Os discos com aproximadamente 3 centímetros de espessura foram superficialmente secos e polidos antes da medição dos anéis. Duas linhas perpendiculares entre si foram traçadas sobre a superfície polida. Então 2 diâmetros, para cada anel em cada disco, foram medidos com aproximação de milímetros. As médias das duas leituras foram diretamente anotadas em folhas de codificação para o computador. O número da parcela, altura total e idade do plantio foram também anotados.

QUADRO 1: Número de árvores usadas para a construção das curvas de índice de sítio, por idade e classe de sítio.

Idade em anos	Classes de Sítio					Total por Classe de Idade
	I	II	III	IV	V	
5	4	1	—	—	—	5
6	5	—	—	—	—	5
7	—	—	—	—	—	0
8	2	5	6	—	1	14
9	—	—	7	2	2	11
10	—	—	—	—	—	0
11	—	5	1	2	1	9
12	—	2	1	—	—	3
13	—	3	1	—	—	4
14	—	—	—	—	—	0
15	1	5	5	—	—	11
16	—	—	—	—	—	0
17	—	—	1	1	—	2
Total por Classe de sítio		21	22	5	4	64

2.2. MÉTODOS

Antes de se iniciar a construção das curvas, primeiro foi necessário determinar os pares de valores de altura-idade. Estes pares de valores foram obtidos para cada árvore através de computador. Cada árvore forneceu tantos pares de valores "altura-idade", quanto era sua idade total. Baseando nestes dados, as curvas de altura sobre idade foram computados para cada árvore amostra. A equação de Prodán foi usada para este objetivo.

$$H = \frac{I^2}{a + bI + cI^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

onde:

H = altura em metros

I = idade em anos

a, b, c são os coeficientes. Para estimar os coeficientes, esta equação foi transformada para:

$$Z = a + bI + cI^2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Sendo } Z = \frac{I^2}{H}$$

Para a estimativa dos coeficientes e estatísticas do modelo, foi utilizado um programa de regressão múltipla, usando o processo "Stepwise", escrito pelo Dr. TURNBULL da Universidade de Washington. Depois de estimados os coeficientes, a equação 2 pode ser transformada para a equação 1, a qual deve ser usada para estimar a altura à diferentes idades para cada uma das árvores.

A idade-base para a construção das curvas de índice de sítio, denominada "idade índice", foi escolhida como sendo 10 anos. Consequentemente, índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* foi definido como a altura das árvores dominantes à idade de 10 anos.

O número de classes de sítio, bem como os intervalos entre as classes foram escolhidos após o ajustamento da equação 2 aos dados de cada árvore isoladamente. Os valores de Z à idade 10

(Z_{10}) alcançaram valores desde 9,70 a

4,87, o que significa uma dispersão de altura de respectivamente 10,3 a 20,5 metros. Estes últimos valores significam o limite inferior e o limite superior de altura de plantações de *Pinus taeda* na região estudada à idade de 10 anos. Cinco sítios com intervalos de 2 metros foram então convenientemente escolhidos para representar ÍNDICE DE SÍTIO para esta região. Assim a classe de sítio V representa uma área cujas árvores dominantes têm de 10 a 12 metros de altura. O ponto médio 11 metros é o índice de sítio para esta classe, e assim por diante. Curvas para os limites de cada classe de sítio foram desenhadas, ao invés das curvas de índice de sítio propriamente ditas, porque traçando-se os limites, o uso das curvas torna-se mais fácil e mais prático para a classificação de povoados florestais de diferentes capacidades produtivas.

3. ANÁLISES E RESULTADOS

3.1. COMPUTAÇÃO DAS CURVAS DE CRESCIMENTO

A computação das curvas de crescimento transformadas para cada uma das 64 árvores foi calculada através da equação 2, usando o procedimento descrito nos métodos. Esta equação ajusta valores de Z em relação à idade.

i
Os resultados são apresentados no quadro 2, no qual Z_{10} significa os valores estimados de Z à idade 10; Código de sítio significa a vegetação original que cobria a área antes do estabelecimento do plantio, sendo "0" para áreas de campo e "1" para área de mata. Tamanho da amostra significa o número de pares de valores altura-idade para a respectiva árvore; este número coincide com a idade da árvore. R^2 , Syx e F são respectivamente o coeficiente de determinação múltiplo, erro padrão da estimativa e razão de variância.

Um exemplo de como a curva de crescimento em altura pode ser desenvolvida para uma árvore isolada é apresentada no quadro 3 e figura 4. A árvore número 2, cujos coeficientes a, b, c são apresentados no Quadro 2, foi usada para este exemplo.

3.2. COMPARAÇÃO DA TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO ENTRE REGIÕES

Os valores dos coeficientes estimados e seus correspondentes Z à idade de 10 anos (Z_{10}) para cada árvore mostradas no quadro 2 foram usados para comparar as tendências de crescimento entre áreas de campo e de mata, como recomendado por KING⁹.

O agrupamento de árvores de diferentes regiões resultou em 55 pares de valores Z_{10} — a, Z_{10} — b, e Z_{10} — c para áreas de campo e em 9 pares dos mesmos valores para regiões de mato, como pode ser verificado no Quadro 2.

Relações entre os coeficientes a, b, c com Z_{10} foram analisados, uma de cada vez, para ambas regiões. Equações lineares e polinominais de formas:

$$a' = b_0 + b_1 Z_{10} \quad \text{e} \quad a' = b_0 + b_1 Z_{10} + b_2 Z_{10}^2$$

$$b' = b'_0 + b'_1 Z_{10} \quad \text{e} \quad b' = b'_0 + b'_1 Z_{10} + b'_2 Z_{10}^2$$

$$c' = b''_0 + b''_1 Z_{10} \quad \text{e} \quad c' = b''_0 + b''_1 Z_{10} + b''_2 Z_{10}^2$$

foram testadas para ajustar aos dados. Após o desenvolvimento destes modelos, foi verificado que os modelos polinominais não melhoraram a estimativa de nenhum dos coeficientes a', b', c'. Então os modelos lineares foram usados para o prosseguimento dos testes de comparação com mais análises.

Análise de covariância, como descrito por FREEZE¹ e STEEL e TORRIE¹⁶ foi aplicada para detectar diferenças entre os coeficientes "b" e entre as intersecções (coeficiente "a" para cada uma das três relações acima, usando dois conjuntos diferentes de dados: provenientes de áreas de campo e áreas de mato. O programa "BMD" para análise de covariância, foi usado para este objetivo.

Após a análise verificou-se que não houve diferença significante nem para o coeficiente angular, nem para a intersecção, a um por cento de nível de significância, entre campo e áreas de mata para as equações de "a" sobre Z_{10} e "b" sobre Z_{10} . As duas equações do coeficiente "c" sobre Z_{10} , uma para campo e outra para mato, mostraram haver apenas

uma pequena diferença significante para o coeficiente de inclinação ao nível de 5 por cento e uma diferença não significante para a intersecção ao nível de significância de um por cento. No entanto ao nível de significância de um por cento, também o coeficiente angular, não apresentou diferença significante quando comparados dados de campo e de mato.

Desde que não houve diferença significante tanto para o coeficiente angular, como para a intersecção para as equações: $a' = b_0 + b_1 Z_{10}$ e $b' = b'_0 + b'_1 Z_{10}$, e a análise de covariância mostrou apenas uma leve diferença para o coeficiente angular da equação $c' = b''_0 + b''_1 Z_{10}$, os dados provenientes de áreas de campo e de mato foram combinados, para obter um único conjunto de curvas de sítio para toda a região.

As equações resultantes de dados combinados, bem como seus erros padrões de estimativa (S_{yx}) e coeficientes de determinação múltipla são:

	S_{yx}	R^2
$a' = -0,63224 + 0,18038 Z_{10}$	0,41220	0,44876
$b' = 0,52302 - 0,03363 Z_{10}$	0,14173	0,26272
$c' = -0,03593 + 0,00995 Z_{10}$	0,01300	0,6600

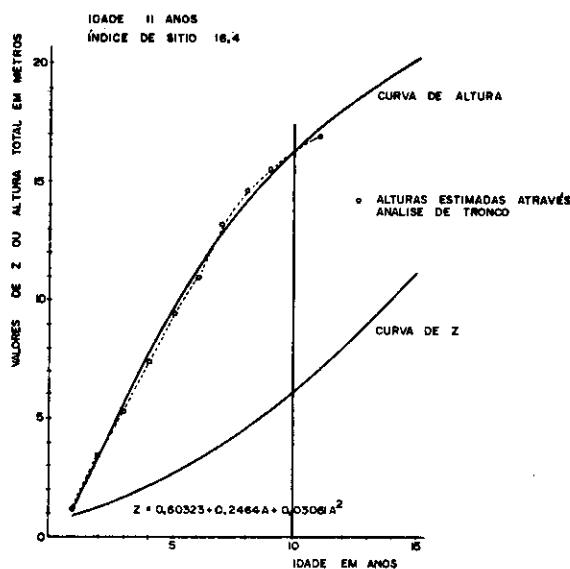


FIGURA I. RELAÇÃO DE VALORES DE Z_{10} E DE ALTURA COM A IDADE PARA A ÁRVORE NÚMERO 2

QUADRO 2: Coeficientes e estatísticas da Equação $Z = a + bI + cI^2$

Árvore N. ^o	Código do Sítio	Tama- nho da Amostra	Valores de Z10	Coeficientes de Regressão					
				a	b	c	R ²	S.E.	F.
1	0	15	6.89	—.55242	.70860	.00357	.99272	.31979	818
2	0	11	6.14	—.60323	.24740	.03061	.99666	.13324	1193
3	0	11	5.82	.66206	.16087	.03554	.97678	.34057	168
4	0	17	7.36	.53062	.29931	.03830	.99736	.27857	2643
5	0	11	6.25	.56123	.27249	.02968	.99422	.17932	684
6	0	11	7.89	.62548	.08144	.06449	.99753	.16126	1616
7	0	11	8.11	1.52085	.23212	.04266	.99821	.11818	2236
8	0	11	6.23	.63592	.29405	.02654	.99910	.06868	4439
9	0	9	6.89	.38811	.33295	.02177	.99337	.14279	450
10	0	9	6.64	1.25009	.02958	.05101	.96843	.31510	92
11	0	9	6.99	.17745	.41187	.02689	.99754	.10613	1215
12	0	9	6.79	.47169	.28009	.03515	.99922	.05610	3864
13	0	9	6.27	1.01978	.13872	.03864	.99791	.07704	1432
14	0	9	6.47	.84062	.22086	.03421	.99793	.08179	1448
15	0	9	6.52	.94176	.09469	.04630	.99787	.08294	1404
16	1	12	5.89	2.28060	—.01544	.03770	.99092	.21439	491
17	0	6	5.10	.13614	.53251	—.00364	.99090	.11735	163
18	0	6	5.35	.08292	.36985	.01569	.98910	.12178	136
19	0	6	4.87	.36146	.38027	.00706	.99747	.05227	591
20	0	6	5.38	.39670	.31071	.01849	.99084	.10289	162
21	0	6	5.42	.28809	.50005	—.00129	.99065	.11521	159
22	0	13	6.61	.94998	.28531	.02809	.99501	.20699	996
23	0	13	5.83	.53478	.24790	.02809	.99824	.11622	2828
24	0	15	6.05	.42754	.29137	.02713	.99768	.17085	2586
25	0	15	6.53	—.08212	.41939	.02426	.99897	.12601	5826
26	0	15	6.23	.47723	.33872	.02365	.99731	.18145	2222
27	0	14	7.12	—.12178	.55836	.01653	.99431	.28940	962
28	0	15	6.36	.11049	.34302	.02826	.99898	.12412	5852
29	0	15	6.46	.96585	.18881	.03599	.99378	.29694	959
30	0	8	6.29	423958	.31770	.02877	.99791	.07677	1196
31	0	7	5.75	.66087	.28399	.02249	.99306	.11289	286
32	0	8	6.51	.69271	.32003	.02618	.99724	.08502	905
33	0	8	9.72	.73047	.15388	.07449	.99781	.11379	1138
34	0	8	5.67	.24197	.36981	.01728	.99446	.11391	448
35	0	11	6.29	.87061	.12208	.04196	.99966	.04374	11646
36	0	11	6.11	.72293	.23142	.03076	.99883	.07686	3426
37	0	10	9.20	1.63894	—.01782	.07740	.99846	.13598	2265
38	1	5	6.28	.19563	.24864	.03604	.99700	.05731	332
39	1	5	6.42	.36457	.09464	.05114	.99865	.03332	742
40	1	5	7.14	.48158	.10017	.05653	.99878	.10586	88
41	1	5	5.21	—.06887	.51649	—.00118	.99565	.07533	229
42	1	5	5.65	.15064	.34270	.02076	.98602	.12459	70
43	0	8	7.05	.73094	.31173	.03203	.99319	.14482	364
44	0	8	6.77	.36417	.44137	.01993	.99797	.08125	1231
45	0	7	5.86	.49791	.38122	.01552	.98432	.17936	1235
46	0	7	6.67	.59617	.41434	.01927	.97860	.23783	91
47	0	8	6.59	.31760	.32411	.03033	.99234	.15278	324
48	0	8	5.52	.59249	.18425	.03081	.99489	.09668	487
49	0	16	7.00	.93551	.49216	.01148	.99330	.29890	964
50	0	16	8.09	1.61353	.58741	.00608	.99269	.30863	883
51	0	12	5.69	.03761	.40974	.01548	.99942	.06752	5889

Árvore N. ^o	Código do Sítio	Tama- nho da Amostra	Valores de Z ₁₀	Coeficientes de Regressão				S.E.	F.
				a	b	c	R ²		
52	0	12	6.42	.36739	.31781	.02867	.99850	.10737	3004
53	0	12	5.80	.49389	.30773	.02225	.99754	.11901	1823
54	0	15	7.01	.59469	.25813	.03839	.99633	.25951	1627
55	0	15	5.42	.20186	.31272	.02095	.99795	.14298	2919
56	0	15	5.65	.33831	.34993	.01815	.99917	.08963	7229
57	0	15	6.92	.56123	.43386	.02024	.98948	.37933	564
58	1	8	5.77	.23283	.30815	.02459	.99059	.15021	263
59	1	8	5.54	.26771	.39814	.01292	.99744	.07556	976
60	1	8	5.62	— .02574	.46719	.00969	.99809	.07031	1307
61	0	9	7.18	.74702	.16287	.04801	.99727	.10795	1095
62	0	9	7.44	.45166	.29189	.04070	.99930	.05913	4264
63	0	8	9.70	.97339	.10945	.07631	.99892	.09173	2305
64	0	9	9.17	.83329	.47536	.03583	.99801	.11831	1504

QUADRO 3: Dados Reais e Estimados da Árvore Seccionada número 2, da Região de Campo.

Idade em Anos	Altura Real	Z _i	Altura Estimada	Z _i
		Real		Estimado
1	1.2	0.8	1.1	0.9
2	3.4	1.2	3.3	1.2
3	5.3	1.7	5.6	1.6
4	7.4	2.2	7.6	2.1
5	9.0	2.8	9.6	2.6
6	11.0	3.3	11.2	3.2
7	13.2	3.7	12.9	3.8
8	14.6	4.4	14.2	4.5
9	15.5	5.2	15.3	5.3
10	16.4	6.1	16.4	6.1
11	16.9	7.2	17.3	7.0
12	—	—	18.0	8.0
13	—	—	18.8	9.0
14	—	—	19.6	10.0
15	—	—	20.1	11.2

Onde:

Altura Real vem da Análise de Tronco:

$$Z = \frac{I^2}{\text{Altura Real}}$$

$$Z \text{ Estimado} = 0.60323 + 0.2464I + 0.03061I^2$$

$$\text{Altura Estimada, } H = \frac{I^2}{Z}$$

$$Z_{10} = 6.1$$

3.3. DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES FINAIS PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO POLIMÓRFICAS

Embora as correlações entre os coeficientes a' , b' , c' e valores de Z_{10} , sejam baixas, como mostram as equações anteriores, as análises dos resíduos não apresentaram tendências específicas; deste modo as relações de a' , b' , c' sobre Z_{10} podem ser usadas para reestimar os coeficientes da equação 2.

Os valores reais de Z_{10} variam de 4,87 à 9,70, conforme calculado para cada uma das 64 árvores seccionadas. Estes resultados correspondem à uma variação nos limites de índice de sítio à respectivamente 20,5 e 10,3, à idade índice de 10 anos. Para trabalhar com limites de índice de sítio inteiros, sua dispersão foi estabelecida de 20 à 10 metros de altura à idade de 10 anos, resultando em valores de Z_{10} de 5,0 à 10,0. Estes valores de Z_{10} foram denominados no Quadro 4, como índices de sítio transformados.

Os intervalos entre classes de sítio à idade índice foram previamente escolhidos de acordo com a configuração dos dados e a acuracidade desejada para a classificação de sítio. Os coeficientes a , b , c do Quadro 4 foram estimados usando as relações prévias de a' , b' , c' sobre Z_{10} . A substituição dos respectivos valores Z_{10} apresentados no Qualro 4 resultaram em diferentes coeficientes para os diferentes sítios, o que indica que as curvas traçadas serão polimórficas.

Quando os coeficientes do Quadro 4 foram usados para estimar os índices de sítio, ou limites dos índices de sítio, substituindo-os na equação 1:

$$H = \frac{I^2}{a + bI + cI^2}$$

resultou numa superestimativa para os limites dos índices de sítios mais baixos e numa subestimativa para os mais altos. Esta tendenciosidade é provavelmente um efeito de ajustar-se os Z transformados, ao invés de ajustar H diretamente. Estes resultados indicaram que era necessário fazer uma correção destes coeficientes. Os limites de índice de sítio estimado à idade de 10 anos, resul-

tantes pelo uso dos coeficientes do Quadro 4, foram 10,64; 12,5; 14,3; 16,0; 17,7 e 19,2 metros, ao invés de 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0 e 20,0 metros respectivamente conforme deveriam ser. Manipulando a equação para o índice de sítio, foi estimado um novo conjunto de Z_{10} , usando

$$a \text{ expressão } Z_{10} = \frac{I^2}{H_i}, \text{ sendo que } H_i$$

toma os valores de 10,64, 12,5 . . . 19,2 e I é a idade índice. Os novos valores de Z_{10} estimados são apresentados no Quadro 5. Estas diferenças estimadas devem ser adicionadas aos respectivos valores reais de Z_{10} , sendo assim um fator de correção para a estimativa dos novos coeficientes corrigidos a , b , c a serem usados na equação

$$H = \frac{I^2}{a + bI + cI^2}$$

Os coeficientes corrigidos a , b , c apresentados no Quadro 6, foram estimados do mesmo modo que os do Quadro 4, exceto que no Quadro 6 foram usados valores corrigidos de Z_{10} . Estes valores corrigidos de Z_{10} foram obtidos pela adição dos ΔZ_{10} estimados aos valores reais de Z_{10} do Quadro 5.

Finalmente os limites das alturas em metros, esperados a cada idade e por classe de sítio, baseados na idade índice de 10 anos e em dados de análise de tronco de 64 árvores dominantes de plantios de *Pinus taeda*, foram estimados através da equação:

$$H = \frac{I^2}{a + bI + cI^2}, a, b, c$$

Sendo os coeficientes corrigidos para seus respectivos limites de classe de sítio, conforme apresentados no Quadro 6.

Estes limites de classes de sítio esperados, são apresentados no Quadro 7, para as idades de 1 a 20 anos e para 5 classes de sítio. Os limites das curvas de índice de sítio foram construídos usando-se os valores do Quadro 7, resultando a Figura 2.

QUADRO 4: Coeficientes para a Computação das Curvas de Índice de Sítio com Intervalo de 2 Metros, de 10 a 20.

Qualidade do Sítio	Índice de Sítio Real	Índice de Sítio Transformado	a	b	c
V	10	10.00	1.171	.18672	.06357
	11	9.09	1.007	.21732	.05452
	12	8.33	.8702	.24288	.04695
IV	13	7.69	.7548	.26441	.04059
	14	7.14	.6556	.28290	.03511
III	15	6.67	.5708	.28971	.03044
	16	6.25	.4950	.31283	.02626
II	17	5.88	.4283	.32528	.02258
	18	5.55	.3688	.33637	.01929
I	19	5.26	.3165	.34613	.01641
	20	5.00	.2696	.35487	.01382

QUADRO 5: Dados Usados para Ajustar os Valores de Z_{10}

Índice de Sítio	Valores Reais de Z_{10}	$\hat{Z}_{10} = \frac{I^2}{H_1}$	ΔZ_{10}	diferenças $Z_{10} - \hat{Z}_{10}$	Estimado $\Delta \hat{Z}_{10}$
10	10.000	9.398	0.459	4.458	
11	9.091	8.632	0.330	0.336	
12	8.330	8.000	0.234	0.234	
13	7.692	7.458	0.147	0.146	
14	7.140	6.993	0.065	0.071	
15	6.667	6.602	0.025	0.004	
16	6.250	6.225	-0.057	-0.055	
17	5.882	5.939	-0.100	-0.108	
18	5.550	5.650	-0.156	-0.153	
19	5.263	5.419	-0.208	-0.195	
20	5.000	5.208	0.602	0.603	

QUADRO 6: Coeficientes e Valores de Z_{10} Corrigidos para a Estimativa dos Limites dos Índices de Sítio, de 10 a 20 Metros, com Intervalo de 2 Metros.

Classe de Qualidade	Limites	Valores Reais de Z_{10} à idade Índice	Valores Corrigidos de Z_{10} à idade Índice	Coeficientes corrigidos			Fatores de Correção Adicionados aos Valores reais de Z_{10}
				a	b	c	
V	10	10.00	10.603	1.2803	0.1664	0.0696	0.603
IV	12	8.33	8.666	0.9308	0.2316	0.0503	0.336
III	14	7.14	7.286	0.6819	0.2780	0.0366	0.146
II	16	6.25	6.254	0.4957	0.3137	0.0263	0.004
I	18	5.55	5.442	0.3493	0.3400	0.0182	-0.108
	20	5.00	4.805	0.2344	0.3614	0.0119	-0.195

QUADRO 7: Limites de Alturas Estimadas em Metros, por Idade e Classe de Qualidade.

Idade em Anos	Classes de Qualidades				
	V	IV	III	II	I
1	0.7 — 0.8	0.8 — 1.0	1.0 — 1.2	1.2 — 1.4	1.4 — 1.6
2	2.1 — 2.5	2.5 — 2.9	2.9 — 3.3	3.3 — 3.6	3.6 — 4.0
3	3.7 — 4.3	4.3 — 4.9	4.9 — 5.4	5.4 — 5.9	5.9 — 6.3
4	5.2 — 6.0	6.0 — 6.7	6.7 — 7.4	7.0 — 8.0	8.0 — 8.6
5	6.5 — 7.5	7.5 — 8.4	8.4 — 9.2	9.2 — 10.0	10.0 — 10.7
6	7.5 — 8.7	8.7 — 9.8	9.8 — 10.8	10.8 — 11.8	11.8 — 12.7
7	8.4 — 9.8	9.8 — 11.1	11.1 — 12.3	12.3 — 13.5	13.5 — 14.6
8	9.1 — 10.7	10.7 — 12.2	12.2 — 13.7	13.7 — 15.1	15.1 — 16.5
9	9.6 — 11.4	11.4 — 13.2	13.2 — 14.9	14.9 — 16.6	16.6 — 18.3
10	10.0 — 12.0	12.0 — 14.0	14.0 — 16.0	16.0 — 18.0	18.0 — 20.0
11	10.5 — 12.6	12.6 — 14.8	14.8 — 17.0	17.0 — 19.2	19.2 — 21.5
12	10.8 — 13.1	13.1 — 15.5	15.5 — 17.9	17.9 — 20.4	20.4 — 22.9
13	11.1 — 13.6	13.6 — 16.1	16.1 — 18.8	18.8 — 21.5	21.5 — 24.3
14	11.4 — 14.0	14.0 — 16.7	16.7 — 19.5	19.5 — 22.6	22.6 — 25.7
15	11.6 — 14.3	14.3 — 17.2	17.2 — 20.3	20.3 — 23.6	23.6 — 27.0
16	11.8 — 14.6	14.6 — 17.7	17.7 — 20.9	20.9 — 24.5	24.5 — 28.2
17	11.9 — 14.9	14.9 — 18.1	18.1 — 21.6	21.6 — 25.4	25.4 — 29.4
18	12.1 — 15.1	15.1 — 18.5	18.5 — 22.1	22.1 — 26.2	26.2 — 30.5
19	12.2 — 15.4	15.4 — 18.8	18.8 — 22.7	22.7 — 27.0	27.0 — 31.6
20	12.3 — 15.6	15.6 — 19.2	19.2 — 23.2	23.2 — 27.7	27.7 — 32.5

Tanto o Quadro 7, como a Figura 2 podem ser usados para estimar o índice de sítio, ou para a classificação dos terrenos da região central do Paraná, em diferentes classes de produtividade, para *Pinus taeda*.

3.4. CONFIABILIDADE DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

KING⁹ afirmou que a estabilidade dos índices de sítio ao longo do desenvolvimento do povoamento florestal é essencial para a acuracidade na aplicação das curvas de índice de sítio em períodos sucessivos. Esta estabilidade pode ser testada comparando a relação altura-idade com as curvas de índice de sítio. Se a altura real das árvores medidas para a determinação do sítio coincidir com as alturas estimadas através da equação de índice de sítio, é porque há uma forte evidência de que as curvas de índice de sítio não são tendenciosas; isto significa que as alturas estimadas são iguais às alturas medidas.

Para testar esta evidência, as árvores usadas para a estimativa de índice de sítio foram classificadas por classe de sítio. Para tal foram calculadas as alturas médias das dominantes, por sítio e por idade, conforme mostra o Quadro 8. Finalmente, estas alturas médias foram plotadas entre as respectivas curvas de limites de sítio, como pode ser visto na Figura 3. Os pontos plotados correspondem às alturas médias reais, e as linhas correspondem às mesmas curvas limites de índice de sítio apresentadas na Figura 2.

Não se revelaram tendências específicas através deste teste gráfico, embora tenham sido usadas poucas árvores em algumas classes de sítio e idades. Praticamente todas as médias das dominantes caíram no centro das curvas limites dos respectivos índices de sítio. Esta é uma forte evidência de que estas curvas de índice de sítio dão uma estimativa não tendenciosa. Sendo assim podem ser usadas para se obter uma estimativa confiável de índice de sítio para toda a região e idades, dentro da dispersão dos dados reais usados para sua construção.

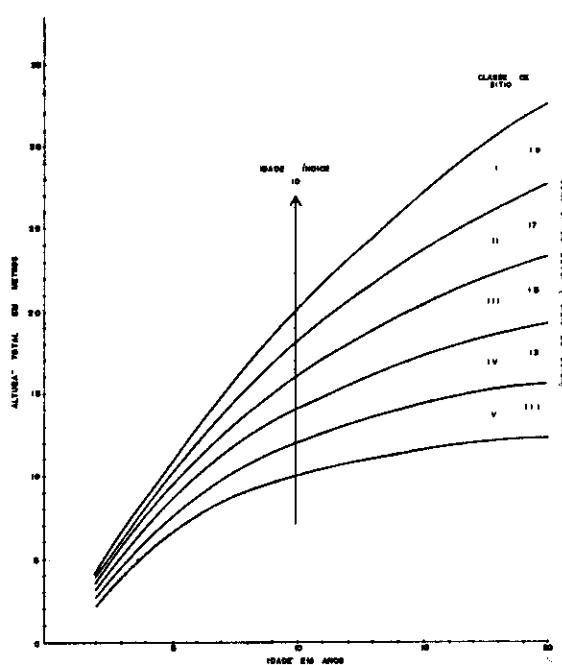


FIGURA 2. CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO POLIMÓRFICAS.

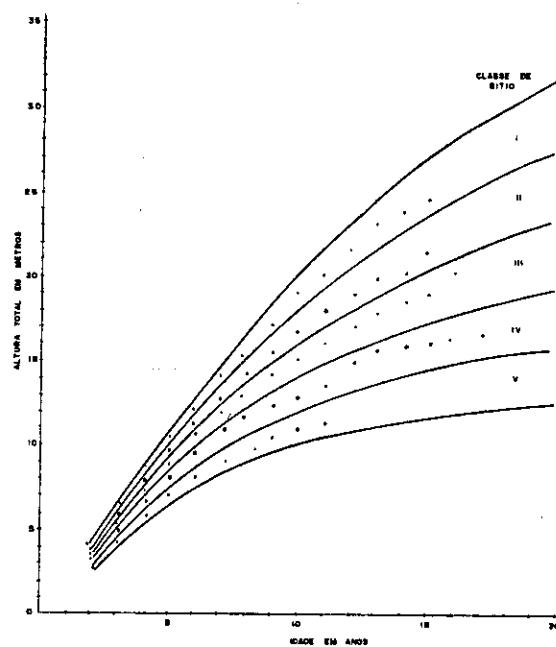


FIGURA 3. MÉDIA DAS ALTURAS REAIS POR IDADE, PLOTADAS ENTRE OS RESPECTIVOS LIMITES DE ÍNDICE DE SÍTIO.

QUADRO 8: Altura Média das Dominantes, por Idade e por Classe de Qualidade.

Idade em Anos	Classe de Qualidade				
	V	IV	III	II	I
1	0.9(2)	1.2(5)	1.3(18)	1.5(17)	1.8(12)
2	2.5(4)	3.0(5)	3.1(21)	3.4(20)	3.9(12)
3	4.0(4)	4.8(5)	5.2(21)	5.7(20)	6.2(12)
4	5.6(4)	6.5(5)	7.2(21)	7.8(20)	8.6(12)
5	7.0(4)	8.1(5)	9.0(21)	9.6(20)	10.5(12)
6	8.1(4)	9.6(5)	10.6(21)	11.3(19)	12.0(8)
7	8.9(4)	11.0(5)	11.9(21)	12.6(19)	14.0(3)
8	9.6(4)	11.9(5)	12.9(21)	14.1(19)	15.1(3)
9	10.2(3)	12.4(5)	13.9(15)	15.2(14)	17.1(1)
10	10.8(1)	12.7(3)	15.0(8)	16.6(14)	18.9(1)
11	11.2(1)	13.4(3)	16.0(8)	17.6(14)	20.0(1)
12		15.3(1)	17.0(7)	18.8(9)	21.3(1)
13		16.0(1)	17.8(6)	19.3(7)	22.5(1)
14		16.4(1)	18.5(5)	19.9(5)	23.5(1)
15		16.6(1)	18.9(5)	20.4(5)	24.4(1)
16		16.8(1)	20.4(1)		
17		17.0(1)			

Os algarismos entre parêntesis são os números de observações usados para calcular a altura média à cada idade.

4. DISCUSSAO DOS RESULTADOS

O modelo de Prodan foi usado para a construção das curvas de índice de sítio. Este modelo foi inicialmente transformado para fins de estimativa dos coeficientes.

A validade do modelo de Prodan, de acordo com KIRBY¹⁰, depende da existência de uma relação linear entre índice de sítio e altura das dominantes para as diversas classes de idade. Examinando esta suposição no presente estudo, uma forte relação linear foi constatada entre os valores reais e preditos de H/I.S. para todas as classes de idade. Isto indicou que o modelo de Prodan poderia ser usado sem restrições.

De acordo com TURNBULL¹⁸ o método de transformação do modelo de Prodan para a estimativa de parâmetros é aparentemente aceitável, embora possa advir algumas complicações provenientes da transferência de erros, com a variável I^2 na transformação.

Não houve uma diferença significativa na forma da curva de crescimento em altura transformada entre áreas de campos e áreas de mato. Este resultado já era esperado, baseando-se em experiências em outras regiões (KING⁹), bem como em observações pessoais na região. Os solos destas duas áreas são um pouco diferentes, mas o clima e altitude são basicamente os mesmos em toda a região. A maioria das plantações de *Pinus taeda* estão em solos de campo. Plantações em áreas de mato tinham no máximo 10 anos de idade, quando os dados foram coletados, com excessão de uns poucos talhões. Todas as amostras coletadas em áreas de mato caíram na qualidade de sítio I ou II. A Classe de sítio I é rara em áreas de campo, nas quais a qualidade III é a mais frequente. Este fato conduz à suposição que áreas de mato, em geral, são mais apropriadas para um melhor desenvolvimento de *Pinus taeda*.

O número de árvores-amostras para cada classe de sítio foi bastante variável. Assume-se que este número foi adequado para as classes II e III cobrindo toda a dispersão de idades. No entanto foi usado um número reduzido de árvores nas classes I, IV e V. Portanto, as curvas de índice de sítio para as classes II

e III devem ser mais consistentes do que para outras classes.

A variância de índices de sítios aumenta com a diminuição de idades dos povoamentos. Isto sugere que a classificação de sítios é menos acurada à idades jovens, desde que o número de árvores usadas seja o mesmo para todas as idades. Árvores jovens estão muito mais sujeitas à danos ou à influências externas causando um aumento da variância do crescimento em altura. Portanto, no presente estudo é melhor não usar estas curvas para estimativa de índice de sítio em povoamentos com idades abaixo de 4 anos. A distância entre curvas é muito pequena em idades jovens. Portanto uma imprecisão na medida da altura, conduziria à uma classificação errônea do sítio. Estas curvas embora projetadas até 20 anos, não são confiáveis para estimativas de índice de sítio de talhões com idade acima de 15 anos, porque os dados usados para a construção das curvas, além dessa idade, foram insuficientes, ou mesmo além de 11 anos para as classes I e V.

Estabilidade ao longo da vida da árvore é muito importante para a classificação de sítio (MCLINTOCK e BIGFORD¹²). Isto significa que a árvore do povoamento deve permanecer na mesma classe de qualidade durante o período inteiro de seu crescimento. A análise do crescimento em altura de todas as árvores, mostrou que a maioria delas, usadas para a análise de tronco, permaneceram na mesma classe de sítio durante toda sua vida. Algumas delas, no entanto, mudaram de uma classe para a próxima, durante os primeiros anos de vida, estabilizando depois disso. Este fato vem de encontro à literatura (KIRBY¹⁰, CURTIS⁶, DEMARS e HERMAN⁸, LLOYD E HAFLEY¹¹ que afirmam que o crescimento em altura de árvores ou povoamentos é muito mais instável em árvores mais jovens do que árvores mais velhas, com maior variância do crescimento em altura no primeiro caso. Deste modo a estimativa de índice de sítio em povoamentos jovens é altamente incerto.

As curvas de índice de sítio desenvolvidas neste trabalho e as desenvolvidas por CLUTTER e LENHART⁵ para *Pinus taeda* na Georgia oferecem uma possibilidade de comparação do cresci-

mento em altura. Em ambos trabalhos foram construídas curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* usando dados de análise de tronco de árvores dominantes, sendo os sítios classificados em 5 classes de qualidade. A única diferença é que CLUTTER e LE-NHART⁵ usaram uma idade índice de 25 anos. Estes 2 conjuntos de curvas de índice de sítio mostram que:

1. O incremento periódico anual em altura, até à idade de 10 anos é muito maior nas plantações da Klabin do que na Georgia, para todas as classes de sítio.

2. Entre 10 e 20 anos de idade, o incremento periódico anual em altura é ainda um pouco maior na região da Klabin para os sítios I e II, mas não o é para os sítios III, IV e V.

Estas comparações implicam que o crescimento em altura é muito mais rápido na região da Klabin, durante os primeiros anos de vida dos povoamentos, comparativamente ao crescimento verificado na Georgia que é seu habitat natural. Entretanto o crescimento em altura desta espécie em sua região natural de ocorrência iguala ou mesmo ultrapassa àquele verificado na Klabin, após alguns anos.

É suposto que o crescimento do *Pinus taeda* é idêntico ao do *Pinus elliottii* na região Sul do Brasil. No entanto uma comparação dos resultados desta pesquisa com os de CAMPOS⁴ para plantações de *Pinus elliottii* no Sul de São Paulo, revelou um crescimento em altura muito maior do *Pinus taeda* na região da Klabin.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. Embora o presente conjunto de curvas de índice de sítio devam ser considerados como provisório, estas curvas podem ser usadas com sucesso para a classificação da capacidade produtiva para plantações de *Pinus taeda* na região central do Paraná. Quando os povoamentos tornarem-se suficientemente velhos, isto é, alcançarem uma idade perto da idade de rotação, estas curvas devem ser revisadas. Uma idade base de

20 anos parece razoável para uso como idade índice na construção das curvas de índice de sítio definitivas.

2. A metodologia usada para a construção das curvas de índice de sítio provou ser eficiente. Estas curvas representam muito bem o crescimento real em altura para todos os sítios. Portanto ela pode ser usada para melhorar, modificar ou extender as presentes curvas. Ela pode também ser usada para a construção de curvas de índice de sítio para outras espécies.

3. Há evidência que as curvas de índice de sítio desenvolvidas no presente trabalho dão estimativas sem tendência para plantações de *Pinus taeda* na região central do Paraná, como verificado nas análises dos resultados. No entanto, um teste de validade deve ser feito tomando uma amostra independente suficientemente grande da mesma região e plotar os pares de valores altura-idade entre os limites de suas respectivas classes de sítio.

4. A extensão do uso destas curvas para todo o Estado do Paraná deve ser tentada. O método consistiria em obter amostras em todo o Estado. Isto significa selecionar árvores para análise de tronco do mesmo modo que as árvores usadas para a construção destas curvas foram selecionadas. Estas novas árvores-amostras devem ser testadas para a estabilidade do índice de sítio ao longo de sua vida. Os pares de valores altura-idade devem ser plotados entre os limites das respectivas classes de sítio. Este procedimento indicaria a possibilidade do uso do presente conjunto de curvas de índice de sítio para o estado inteiro, ou então sugeriria alguma modificação, tais como, mudança na magnitude do intervalo de classe, número de classes de sítio, ou mesmo mudança dos índices de sítio estabelecidos na idade índice.

6. RESUMO

A presente pesquisa, visando a construção de curvas polimórficas de índice de sítio, foi desenvolvida para plantações de *Pinus taeda* na região central do Estado do Paraná.

Os dados para a construção das curvas foram obtidos através de análise de tronco de 64 árvores dominantes distribuídas em todas as classes de sítio e numa dispersão de idade de 6 a 17 anos.

As curvas de crescimento em altura foram desenvolvidas aplicando-se o modelo de Prodán:

$$H = \frac{I^2}{a + bI + cI^2} \text{ transformado para}$$

$$\frac{I^2}{H} = Z = a + bI + cI^2 \text{ para facilitar a estimativa dos coeficientes.}$$

Onde:

H = Altura total em metros

I = Idade total do plantio

a, b, c = Coeficientes da equação

O modelo transformado foi aplicado individualmente à cada uma das 64 árvores. A idade base escolhida foi 10 anos. Então a distribuição dos valores de Z à idade de 10 anos (Z_{10}) sugeriu que 5 classes de qualidade, com intervalo de 2 metros representariam bem todas as possíveis classes de 11 a 19 metros. Por razões práticas os limites de cada classe de sítio foram traçados. Assim, o índice de sítio 11 tem um limite inferior de 10 metros e um limite superior de 12 metros na idade índice.

Testes gráficos indicaram que as curvas de índice de sítio construídas estavam representando acuradamente os dados reais. Portanto estas curvas podem ser usadas para a classificação da capacidade produtiva das terras na região central do Paraná. Recomenda-se a revisão destas curvas quando as plantações tornarem-se suficientemente velhas para permitir o uso de uma idade índice perto da idade de rotação.

7. LITERATURA CITADA

1. BECK, D.E. and TROUSDEL, K.B. Site index: Accuracy of Prediction. USDA Forest Service — Southern Forest Exp. Station. Research Paper SE — 108. 1975, 7p.
2. BRICKELL, J.E. A method for constructing site index curves from measurements of tree age and height, its application to inland Douglas fir. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Exp. Station. Research paper INT 47 — 1968 — 23 p.
3. BRUCE, D. A method of preparing timber yield tables. Journal of Agricultural Research, 32 (6): 543 — 557 pp. 1926.
4. CAMPOS, J.C.C. Estudo sobre índice de sítio e tabelas de volume e produção para *Pinus elliottii* Engelmann no Estado de São Paulo, Brasil. Tese de Mestrado — Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA. Turrialba, Costa Rica 1970 — 82 p.
5. CLUTTER J.L. and LENHART, J.D. Site index curves for old field loblolly pine plantations in the Georgia Piedmont. Georgia Forest Research Council Report nº 22. Série 1 — 1968 — 3 p.
6. CURTIS, R.O. et all. Height growth and site index for Douglas fir in high elevation forests of Oregon — Washington Cascades. Forest Science 20 (4): 307 — 16 1974.
7. FREESE, F. Linear Regression methods for forest research. USDA Forest Service. Research Paper FLP. 17. Forest Products Laboratory, Madison 1964. 138 p.
8. HERMAN, F. R. and DEMARS, D.J. Techniques and problems of stem analysis of old growth conifers in the Oregon — Washington Cascade Range. IN: Proceedings of tree ring analysis with special reference to Northwest America. University of British Columbia. Faculty of Forestry. Bulletin nº 7 — 74-77 pp. — 1970.
9. KING, J.E. Site index curves for Douglas fir in the Pacific Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper nº 8 — 1976 — 49 p.

10. KIRBY, C.L. Site index equations for lodepole pine and White pine in Alberta. Canadian Forest Service. Northern Forest Research Center. Information Report NOR — 142 — 1975 — 12 p.
11. LLOYD, F.T. and HAFLEY, W.L. Precision and the probability of misclassification in site index estimation. *Forest Science* 23 (4): 493 — 499 pp. 1977.
12. MCLINTOCK, T.F. and BICKFORD, C.A. A proposed site index for red spruce in Northeast. USDA Forest Service, Northeast For. Exp. Station Research Paper nº 93 — 1957 — 30 p.
13. OSBORN, J.G. and SCHUMACHER, F.X. The construction of normal yield tables for even-aged timber stands. *Journal of Agricultural Research* 1. (6): 547-564 pp. 1935.
14. SCHUMACHER, F.X. Yield stand volume tables for Douglas fir in California. *Agric. Exp. Sta. Bulletin* 491 — 1930 — 41 p.
15. SPURR, S.H. *Forest Inventory*. The Ronald Press Company. New York 1952 — 476 p.
16. STEEL, R.G.D. and TORRIE, J.H. *Principles and procedures of Statistics, with special reference to the biological Sciences*. McGraw Hill Book Company, Inc. New York, 1960, 481 p.
17. STRAND, L. Numerical constructions of site index curves. *Forest Science* 10: 410-414 pp. 1964.
18. TURNBULL, K.J. Stem analysis techniques and applications and some studies of Second growth Douglas fir in Western Washington, M.Sc. Thesis — 1958 — 128 p.