ENSAIO DA APLICABILIDADE DA FORMULA FRANCO-INGLÊSA COMO MODELO MATEMÁTICO PARA A VOLUMETRIA DOS PRODUTOS DE DESBASTES DA ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA PARA A INDÚSTRIA PAPELEIRA:

Roberto Tuyoshi Hosokawa (*)
Shiguenori Kajiya (**)

R E S U M O

O propósito deste trabalho é provar a equação Franco-Inglêsa e confeccionar uma tabela de volume local para facilitar a volumetria dos produtos de desbastes de Araucaria angustifolia.

S U M M A R Y

The purpose of this paper is to prove the reliability of the "French-English Equation" for volume determination and to construct local yield tables for thinning products with ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA.

Quando se trata do aproveitamento econômico dos produtos de desbastes de coníferas, um dos principais problemas com que se defronta o técnico é o de estimar o volume real dos mesmos, especialmente quando se destina à indústria papaleira.

Entre os métodos de volumetria para a confecção de tabelas de volume local para produtos de desbaste, existe o método gráfico e o método matemático. Prevalece o método matemático, com as seguintes vantagens:

- Permite cálculo fácil dos erros de estimativa.
- O emprego da fórmula matemática é extremamente simples.
- Os cálculos para confecção de tabelas podem ser programados e executados em computador.

— Ao contrário do método gráfico, requer pouca quantidade de dados básicos.

Para se confeccionar estas tabelas, é imprescindível eleger a fórmula que apresente uma boa precisão e simplicidade relativa nos cálculos, provando uma série de modelos matemáticos que representem os parâmetros considerados.

Podem ser citadas a Equação Americana De Meyer (1949) e a Equação Franco-Inglêsa (Hummel 1955 e Abadil 1956), que satisfazem a condição de simplicidade e precisão.

Equação Americana:

$$V = K \frac{b}{DAP}$$

V = volume

DAP = diâmetro à altura do peito

K e b = parâmetros

Equação Franco-Inglêsa:

$$V = a + b \frac{b^2}{DAP^2}$$

V = volume

DAP = diâmetro à altura do peito

a e b = coeficientes

Material e método:

O presente trabalho pretende provar esta última equação para a *Araucaria angustifolia* e ao mesmo tempo confeccionar a tabela de volume local que facilita a estimativa do volume de produtos de desbastes.

Os dados básicos foram obtidos na Floresta Nacional do Açungui (PR), pertencente ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, durante o processamento do Projeto Açungui, cuja execução está sendo realizada pelo Centro de Pesquisas Florestais da Faculdade de Florestas (U.F.P.) em convênio com o IBDF.

* Professor da Cadeira de Ordenamento Florestal da Faculdade de Florestas e vice-diretor do C.P.F.

** Professor da Cadeira de Dendrometria da Faculdade de Florestas

A Floresta Nacional do Açungui se localiza a 68 km de Curitiba, com acesso pela estrada do Cerne, e tem aproximadamente 500 ha. de superfície.

O aproveitamento do produto de desbaste destinado à fabricação de papel é extremamente requintado, chegando a sua utilização até um limite mínimo de diâmetro igual a 6 cm.

A coleta de material consistiu na dendrometria dos diâmetros e os seus respectivos volumes de 180 árvores já pre-

paradas para o consumo na indústria. Os volumes reais foram calculados pela fórmula de Smalian, e os mesmos serviram para determinação dos coeficientes da equação que representa a tabela.

Adotou-se o método das Equações Normais para o cálculo do coeficiente de regressão, sendo ajustados mediante a estimativa do erro padrão e coeficiente de correlação. Aplicou-se também a prova de "t" para estimar a confiabilidade do coeficiente de regressão "b".

$$\text{Fórmula a testar: } V = a + b \text{ DAP}^2$$

V = volume em m³

DAP = diâmetro à altura do peito em cm.

Cálculo dos coeficientes da equação de volume:

$$\sum_{i=1}^n V_i = Na + b \sum_{i=1}^n \text{DAP}_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n V_i \text{DAP}_i^2 = a \sum_{i=1}^n \text{DAP}_i^2 + b \sum_{i=1}^n \text{DAP}_i^4$$

N = número de árvores

a = - 0,03065

b = 8,43820

Testes: Os coeficientes calculados foram aplicados para 100 árvores e os testes reportaram os seguintes dados:

1. Teste de coeficiente de regressão da equação:

$$T = \frac{b}{\text{EECR}} \quad \text{EECR} = \frac{\text{EEE}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \text{DAP}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \text{DAP}_i\right)^2}{N}}}$$

$$\text{EEE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_o - V_c)^2}{N-2}}$$

V_o = volume observado no campo

V_c = volume calculado

EECR = erro padrão do coeficiente de regressão

EEE = erro padrão da estimativa

$$T = 169,42934$$

2. Teste de comparação das médias dos valores proporcionados pela fórmula e os valores reais do campo.

$$t = \frac{\frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{\frac{S^2 (N_A + N_B)}{(N_A)(N_B)}}}{\frac{S^2 (N_A + N_B)}{(N_A)(N_B)}}$$

$\bar{X}_A$ = média aritmética dos valores obtidos pela equação.

$\bar{X}_B$ = média aritmética dos valores do campo.

S^2 = variância associada

N = nº de árvores do campo

N_B^A = nº de árvores de equação

$$S^2 = \frac{SSA + SSB}{(N_A - 1) + (N_B - 1)}$$

SS_A = soma dos quadrados dos valores proporcionados pela equação

SS_B = soma dos quadrados dos valores do campo

$$SS_A = \sum_{i=1}^n X_{Ai}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_{Ai})^2}{N_A}$$

$$SS_B = \sum_{i=1}^n X_{Bi}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_{Bi})^2}{N_B}$$

$$t = 0,10188$$

3. Análise de correlação:

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left(N \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}}$$

X = volume de campo

Y = volume segundo a equação

$r = 0,97815$

Os cálculos e a tabela foram programados pelo Prof. Shiguenori Kajiyá e executados no Centro de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Paraná. Contamos com a colaboração dos acadêmicos da Faculdade de Florestas: os alunos Sidney Hirt, Jorge Roberto Malinowski, Marcos Cesar Batista, Vitor Hugo Tedesco, Ivan Suckov e Carlos Menine, na coleta dos dados de campo.

Conclusões:

1. O teste do coeficiente de regressão nos dá qual a segurança estatística que te-

remos ao aplicar $b = 8,43820$. O valor de $T = 169,42934$ para 98 graus de liberdade é maior que o valor reportado pela tabela de distribuição de T ($T = 3,460$ para 60 graus de liberdade) no nível de probabilidade equivalente a 99,95%. O coeficiente de regressão é extremamente significativo e portanto podemos usar a equação com 99,95% de segurança.

2. O teste de comparação nos permite determinar se existem diferenças significativas entre os valores de campo e os valores reportados pela equação. O valor que proporciona a tabela t para os graus de liberdade num nível de 99,5% ($t = 3,291$) é bem superior ao

obtido pelo cálculo para 198 graus de liberdade ($t = 0,10188$). A variação entre as médias é não significativa.

3. A análise de correlação nos dá o grau de correlação que existe entre as variáveis. O cálculo demonstra uma correlação de $r = 0,97815$, o que significa uma correlação de 97,82%.
4. Estes testes demonstram que podemos perfeitamente aplicar a equação

—2—

$V = -0,03065 + 8,43820 \text{ DAP}$, bem como a tabela para a volumetria dos produtos de desbastes nas condições atuais da Floresta Nacional do Açungui.

5. Futuramente, quando os diâmetros das árvores a serem desbastadas atingirem um diâmetro superior a 31 cm., ou caso haja uma mudança na metodologia do manejo, esta equação deverá ser re-estudada.

PAGE 1

// JOB T

```
LOG DRIVE      CART SPEC
  0000          0007
CART AVAIL     PHY DRIVE
  0007          0000
V2 MO7 ACTUAL  8K  CONFIG  8K
```

// FOR

```
*IOCS(CARD,1132 PRINTER)
*EXTENDED PRECISION
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
C  FACULDADE DE FLORESTAS —
    VOLUME DE SMALIAN — SK
    DIMENSION  D(23),VR(200),DAP
    (200)
    WRITE(3,40)
40  FORMAT (1H1,'ROBERTO    T.
    HOSOKAWA',7X,'SHIGUENORI
    KAJIYA')
    SVR=0.
    SD=0.
    SVD2=0.
    SD2=0.
    SD4=0.
99  READ(2,10) N,(D(I),I=1,23),J
10  FORMAT(13,23F3,13)
    IF(N—24)6,7,7
6   PI=3.141592
    AN=180.
    VA=.30*(D(2)**2+D(3)**2)*PI/3.
    VB=PI*(D(3)**2+D(N—2)**2)/8.
    VE=D(N)*(D(N—2)**2+D(N—1)
    **2)*PI/0.8
    DAP(J)=D(4)
    K=N—3
    VD=0.
    DO 5 I=4,K
```

```
5  VD=VD+D(I)**2*PI/4.
    VS=VA+VB+VE+VD
    VR(J)=VS
    VO=D(1)*D(2)**2*PI/0.04
    VP=D(1)*D(4)**2*PI/0.04
    AM=VS/VO
    BM=VS/VP
    SVR=SVR+VS
    SD=SD+D(4)
    SVD2=SVD2+(VS*D(4)**2)
    SD2=SD2+D(4)**2
    SD4=SD4+D(4)**4
    GO TO 99
C  CALCULOS DOS COEFICIENTES
7  SSD2=SD**2
    B=(SVR/AN—SVD2/SD2)/(SD2/
    AN—SD4/SD2)
    A=SVD2/SD2—B*SD4/SD2
    SVV=0.
    SRC2=0.
    SVC=0.
    SVC2=0.
    SVR2=0.
    DO 15 J=1,180
    VC=A+B*DAP(J)**2
    SVV= SVV+VC*VR(J)
    SRC2=SRC2+(VR(J)—VC)**2
    SVC=SVC+VC
    SVC2=SVC+VC**2
    SVR2=SVR2+VR(J)**2
```

PAGE 2

```
15  CONTINUE
    S2VC=SVC**2
    S2VR=SVR**2
```

```
C  TESTE DO COEFICIENTE
    EEE=SQRT(SRC2/(AN—2.))
    EEER=EEE/SQRT(SD2—SSD2/AN)
    T=B/EEER
```

```

C   COMPARAÇÃO DE MEDIAS
    SSB=SVR2—S2VR/AN
    SSA=SVC2—S2VC/AN
    SSS=(SSA+SSB)/2.*(AN—1.) )
    TT=( (SC—SVR)/AN)/SQRT(SSS
    *(2.*AN)/AN**2)
C   CALCULO DE R
    R=(AN*SVV—SVR*SVC) /SQRT(
      (AN*SVR2—S2VR)*(AN*SVC2
      —S2VC) )
    WRITE(3,70)SD,SVR,SVC,SR2,
    SVC2,SVV,EEE,EECR,SSB,SSA,
    SSS,A,B,T,TT,1R
70  FORMAT(///,3F20.5/,3F20.5/,
    ,2F20.5/,3F20.5///,1X,'VALOR DO
    COEFICIENTE   A = ',F10.5/,1X,'

```

```

VALOR DO COEFICIENTE  B =
',F10.5/,1X,'TESTE DO COEFI-
CIENTE   T = ',F10.5/,1X,'TESTE
T DE MEDIAS   T = ',F10.5/,1X,'
COEF. DE CORRELACAO   R =
',F10.5)
CALL EXIT
END
FEATURES SUPPORTED
EXTENDED PRECISION
IOCS
CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 1406
PROGRAM 854
END OF COMPILATION
// XEQ

```

PROF — ROBERTO T. HOSOKAWA

DAP	V. SMALIAN	DAP	V. SMALIAN	DAP	V. SMALIAN
0.135	0.09995	0.147	0.13885	0.145	0.19015
0.094	0.04518	0.151	0.15778	0.133	0.13647
0.109	0.08264	0.150	0.16957	0.125	0.11008
0.103	0.05879	0.157	0.18509	0.128	0.13479
0.128	0.11410	0.161	0.19647	0.148	0.13388
0.074	0.01606	0.154	0.14754	0.081	0.02676
0.210	0.40611	0.154	0.15564	0.133	0.10288
0.184	0.27277	0.152	0.12881	0.089	0.03376
0.100	0.04973	0.165	0.19078	0.096	0.04982
0.139	0.12896	0.143	0.14455	0.091	0.04403
0.147	0.16621	0.171	0.19913	0.103	0.04474
0.134	0.12679	0.101	0.05338	0.104	0.05357
0.078	0.02529	0.128	0.10426	0.109	0.06990
0.099	0.04513	0.091	0.04570	0.076	0.01979
0.141	0.13913	0.098	0.04553	0.128	0.09156
0.100	0.05490	0.119	0.07779	0.105	0.06133
0.105	0.05965	0.117	0.07986	0.070	0.01545
0.200	0.31434	0.097	0.05651	0.114	0.07140
0.188	0.26004	0.132	0.10571	0.112	0.06679
0.095	0.05536	0.101	0.06282	0.075	0.02500
0.125	0.09082	0.130	0.09800	0.111	0.04483
0.115	0.06720	0.133	0.11788	0.086	0.02695
0.087	0.03450	0.123	0.08244	0.105	0.05594
0.115	0.08552	0.179	0.21850	0.139	0.10569
0.084	0.03049	0.165	0.23599	0.197	0.29394
0.114	0.06665	0.081	0.03147	0.149	0.14874
0.128	0.09487	0.122	0.10915	0.148	0.13058
0.145	0.13081	0.111	0.10076	0.179	0.23838
0.145	0.13455	0.135	0.14130	0.152	0.15121
0.108	0.06637	0.185	0.30099	0.143	0.14122
0.138	0.12251	0.100	0.06532	0.197	0.26386

DAP	V. SMALIAN	DAP	V. SMALIAN	DAP	V. SMALIAN
0.195	0.26479	0.147	0.16419	0.107	0.05805
0.116	0.08621	0.074	0.02541	0.20	0.10158
0.098	0.05416	0.077	0.01866	0.098	0.05991
0.101	0.04899	0.106	0.06430	0.157	0.16451
0.108	0.06652	0.120	0.08785	0.076	0.02442
0.146	0.13568	0.090	0.03715	0.093	0.03692
0.141	0.15774	0.097	0.05821	0.138	0.13455
0.150	0.16679	0.115	0.07433	0.122	0.09622
0.133	0.12915	0.140	0.12685	0.125	0.07727
0.111	0.08242	0.110	0.06639	0.137	0.11471
0.110	0.07094	0.104	0.06863	0.114	0.08570
0.094	0.05068	0.099	0.05943	0.155	0.17470
0.098	0.04892	0.120	0.08360	0.122	0.08727
0.075	0.02308	0.121	0.08512	0.158	0.19258
0.097	0.05962	0.110	0.08810	0.130	0.10527
0.096	0.05299	0.120	0.09950	0.150	0.16341
0.098	0.05446	0.114	0.08509	0.126	0.11017
0.169	0.23288	0.104	0.06085	0.133	0.12400
0.149	0.16305	0.092	0.04737	0.127	0.09962
0.088	0.03818	0.118	0.07873	0.108	0.07315
0.102	0.06495	0.100	0.04540	0.146	0.14215
0.092	0.03753	0.095	0.04359	0.111	0.07314
0.095	0.04015	0.093	0.03628	0.114	0.07164
0.116	0.08403	0.124	0.10670	0.115	0.08865
0.112	0.07515	0.104	0.05211	0.139	0.11383
0.089	0.03867	0.081	0.03115	0.114	0.07165
0.160	0.20082	0.122	0.08986	0.127	0.09715
0.110	0.07571	0.109	0.08843		
0.078	0.02080	0.161	0.17533		
0.136	0.13502	0.083	0.02958		

$$A = -0,03065$$

$$B = 8,43820$$

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE CART SPEC
0000 0007

CART AVAIL PHY DRIVE
0007 0000

V2 M07 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// FOR

*IOCS(CARD,1132 PRINTER)

*EXTENDED PRECISION

*LIST SOURCE PROGRAM

```
C    FACULDADE DE FLORESTAS  --        20   S(I)=X+V*( (A+D)/100.):**2
     TABELA DE VOLUME DO               J=A
     ACUNGUI                        WRITE(3,30) J,(S(I),I=1,10
     DIMENSION S(10)
     A=7.
     PI=3.141592
     X=-0.03065
     V=8.43820
6    K= 0
     WRITE(3,10)
10   FORMAT(1H1,'TABELA DE VO-
     LUME INDIVIDUAL (M3)',25X,'
     —',26X,'PARQUE NACIONAL DO
     ACUNGUI',1X,'DIAM-CM',5X,'O
     ',9X,'.1',9X,'.2',9X,'.3',9X,'.4',9X,'.5
     ',9X,'.6',9X,'.7',9X,'.8',9X,'.9')
5    DO 20 I= 1,10
     D=I
     D=(D—1.)/10.
     20   S(I)=X+V*( (A+D)/100.):**2
         J=A
         WRITE(3,30) J,(S(I),I=1,10
30   FORMAT(2X,13,2X,10F11.7)
     A=A+1.
     IF(J—30)8,8,9
8    K=K+1
     IF(K—49) 5,5,6
9    CALL EXIT
     END
     FEATURES SUPPORTED
     EXTENDED PRECISION
     IOCS
     CORE REQUIREMENTS FOR
     COMMON        0 VARIABLES
     56 PROGRAM    278
     END OF COMPILATION
     // XEQ
```

TABELA DE VOLUME INDIVIDUAL (M3)

PARQUE NACIONAL DO AÇUNGUI

DIAM-CM	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
7	0.0106971	0.0118869	0.0130936	0.0143171	0.0155575	0.0168148	0.0180890	0.0193800	0.0206880	0.0220128
8	0.0233544	0.0247130	0.0260884	0.0274807	0.0288899	0.0303159	0.0317589	0.0332187	0.0346954	0.0361889
9	0.0376994	0.0392267	0.0407709	0.0423319	0.0439099	0.0455047	0.0471164	0.0487450	0.0503904	0.0520527
10	0.0537320	0.0554280	0.0571410	0.0588708	0.0606175	0.0623811	0.0641616	0.0659589	0.0677731	0.0696042
11	0.0714522	0.0733170	0.0751987	0.0770973	0.0790128	0.0809451	0.0828944	0.0848605	0.0868434	0.0888433
12	0.0908600	0.0928936	0.0949441	0.0970115	0.0990957	0.1011968	0.1033148	0.1054497	0.1076014	0.1097700
13	0.1119555	0.1141579	0.1163771	0.1186133	0.1208663	0.1231361	0.1254229	0.1277265	0.1300470	0.1323844
14	0.1347387	0.1371098	0.1394978	0.1419027	0.1443245	0.1467631	0.1492186	0.1516910	0.1541803	0.1566864
15	0.1592094	0.1617493	0.1643061	0.1668798	0.1694703	0.1720777	0.1747020	0.1773431	0.1800012	0.1826761
16	0.1853679	0.1880765	0.1908021	0.1935445	0.1963038	0.1990799	0.2018730	0.2046829	0.2075097	0.2103534
17	0.2132139	0.2160914	0.2189857	0.2218968	0.2248249	0.2277698	0.2307316	0.2337103	0.2367059	0.2397183
18	0.2427476	0.2457938	0.2488569	0.2519368	0.2550336	0.2581473	0.2612779	0.2644254	0.2675897	0.2707709
19	0.2739690	0.2771839	0.2804158	0.2836645	0.2869300	0.2902125	0.2935118	0.2968281	0.3001611	0.3035111
20	0.3068780	0.3102617	0.3136623	0.3170797	0.3205141	0.3239653	0.3274334	0.3309184	0.3344202	0.3379390
21	0.3414746	0.3450271	0.3485964	0.3521826	0.3557858	0.3594057	0.3630426	0.3666964	0.3703670	0.3740545
22	0.3777588	0.3814801	0.3852182	0.3889732	0.3927451	0.3965338	0.4003395	0.4041620	0.4080013	0.4118576
23	0.4157307	0.4196207	0.4235276	0.4274514	0.4313920	0.4353495	0.4393239	0.4433152	0.4473234	0.4513484
24	0.4553903	0.4594490	0.4635247	0.4676172	0.4717266	0.4758529	0.4799961	0.4841561	0.4883330	0.4925268
25	0.4967375	0.5009650	0.5052094	0.5094707	0.5137489	0.5180439	0.5223558	0.5266846	0.5310303	0.5353928
26	0.5397723	0.5441686	0.5485818	0.5530118	0.5574587	0.5619225	0.5664032	0.5709008	0.5754152	0.5799465
27	0.5844947	0.5890598	0.5936417	0.5982406	0.6028563	0.6074888	0.6121383	0.6168046	0.6214878	0.6261879
28	0.6309048	0.6356387	0.6403894	0.6451570	0.6499414	0.6547427	0.6595610	0.6643960	0.6692480	0.6741169
29	0.6790026	0.6839052	0.6888246	0.6937610	0.6987142	0.7036843	0.7086713	0.7136751	0.7186959	0.7237335
30	0.7287879	0.7338593	0.7389475	0.7440527	0.7491746	0.7543135	0.7594692	0.7646419	0.7698314	0.7750377
31	0.7802610	0.7855011	0.7907581	0.7960320	0.8013227	0.8066303	0.8119548	0.8172962	0.8226545	0.8280296

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

1. DILLEWIJN, F. VON. e Sebastião do Amaral Machado, Curso de Dendrometria. Faculdade de Florestas da U.F.P.
2. LATORRE, J. La formula franco-inglesa como modelo matemático para la construcción de tablas locales de volumen de plantaciones. Escuela de Ingenieria Forestal. Universidad de Chile.
3. US Department of Agriculture. Forest Service. Elementary Statistical Methods for Foresters.