

## ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Pinus taeda* L. UTILIZANDO AEROFOTOS DE CÂMERA DIGITAL DE PEQUENO FORMATO CALIBRADA

ANA PAULA HUMMES<sup>1</sup>  
FLÁVIO FELIPE KIRCHNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFPR – Universidade Federal do Paraná  
Curso de Engenharia Florestal  
Rua Lothario Meissner, 3400 – 80.210-170 – Curitiba – PR, Brasil  
aphummes@bol.com.br

<sup>2</sup> UFPR – Universidade Federal do Paraná  
Curso de Engenharia Florestal  
Rua Lothario Meissner, 3400 – 80.210-170 – Curitiba – PR, Brasil  
kirchner@floresta.ufpr.br

**Abstract.** This paper aim to present the volume estimation of *Pinus taeda* L. individual trees in homogeneous stands from dendrometric variables measured in aerial pictures taken from small format digital camera. Using a calibrated digital camera MAMYIA 645 PRO, of 80mm focal distance, it was obtained 0,15m resolution images. It was collected ground control points with geodetic GPS that, with the camera calibration parameters, made possible to do the stereoscopic model orientation and to restitute the desired features. The dendrometric variables total height and breast height circumference were collected in field and, crown area and total height in the images. The tree volumes in field was estimated by volumetric equation developed for the region. The regression equations for volume estimation were adjusted by least squares method considering the volume estimated in field and the variables measured in the aerial images.

**Keywords:** forest inventory, volume estimation, *Pinus taeda* L., digital cameras.

### 1. INTRODUÇÃO

A avaliação periódica da produtividade dos povoamentos florestais é uma prática comum nas empresas cujo objetivo é a produção madeireira. Esta prática consiste em uma determinação acurada de variáveis dendrométricas, como altura das árvores e diâmetro a altura do peito, que possam ser usadas na estimativa do volume das florestas. Durante as fases iniciais dos povoamentos, tais variáveis podem ser obtidas mais rápida e precisamente. Porém, em fases mais avançadas, muito tempo é despendido para se obter dados acurados, aumentando, conseqüentemente, o custo de obtenção dos mesmos.

Atualmente, com o avanço da fotogrametria digital, é possível obter-se dados acurados sobre os recursos naturais em um menor tempo. O grande potencial oferecido pelas novas tecnologias, como câmeras digitais de alta resolução, sistema de posicionamento global por satélites (GPS), *hardwares* de elevada capacidade de processamento e armazenamento e *softwares* de alta interatividade, não apenas viabilizaram as técnicas de fotogrametria digital voltadas ao mapeamento terrestre, mas também otimizaram as avaliações qualitativa e quantitativa dos recursos naturais.

A realização de um estudo sobre a estimativa volumétrica de árvores individuais de *Pinus taeda* L a partir de variáveis dendrométricas medidas em imagens aéreas digitais métricas como complemento, e até mesmo substituição aos trabalhos de campo, certamente contribuirá para o acompanhamento do desenvolvimento dos povoamentos florestais, especialmente em relação ao tempo despendido e à acurácia na obtenção dos dados.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo estimar o volume de árvores individuais de *Pinus taeda* L. em povoamentos adultos homogêneos através do ajuste de

equações volumétricas pelo método dos mínimos quadrados e utilizando técnicas de fotogrametria digital.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido em uma área de reflorestamento de *Pinus taeda* L. localizado na Estação Experimental de Silvicultura, no município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul.

### 2.2. Obtenção das Imagens Aéreas

Com o objetivo de efetuar medições precisas de área da copa e da altura das árvores, adotou-se a resolução final do pixel das imagens de 15cm no terreno e, sendo a resolução do CCD de 15 $\mu$ , a escala média determinada para o vôo foi de 1:10.000.

O plano de vôo gráfico para obtenção das aerofotos digitais na escala média de 1:10.000 foi traçado sobre um mapa da área na escala 1:5.000, onde foram estabelecidas quatro faixas de vôo de 2.000m de comprimento no sentido leste-oeste de modo a abranger o povoamento que se desejaria avaliar. Para a escala média de vôo de 1:10.000 e distância focal nominal da câmera fotográfica de 80mm, a altura de vôo calculada foi de 800m. Sendo a área útil de registro das imagens pelo CCD de 31mm x 31mm, com resolução de 2048 x 2048 pixels, e a velocidade média da aeronave de 150km/h, o intervalo de exposição entre a tomada das imagens foi de 3 segundos para uma sobreposição longitudinal de 60%. A distância entre faixas de vôo para uma sobreposição lateral de 40% foi de 186m.

Antes da execução do vôo foram instalados quinze alvos em campo, de 1,80m x 1,80m, com círculos centrais de 0,60m de diâmetro, confeccionados com pó de carvão e cal virgem. Cinco alvos foram instalados no início, cinco no meio, e cinco no final das faixas de vôo, localizados na região de sobreposição lateral das imagens. Esses alvos serviram de pontos de apoio terrestre para a posterior orientação do modelo estereoscópico.

O vôo foi executado no dia 18 de julho de 2000, entre 10h e 11h, em um avião monomotor Cessna SKYLANE equipado com um aparelho GPS de navegação GARMIN 12XL.

As imagens foram tomadas com a câmera fotográfica MAMYIA 645 PRO, com distância focal nominal de 80mm, calibrada por Andrade (2001). Nela foi acoplado um dispositivo CCD (*Charge Couple Device*), cujo sensor apresenta 2048 x 2048 pixels, ou seja, 31mm x 31mm e 15 $\mu$  de resolução, que atua como substituto do filme fotográfico registrando as imagens diretamente em meio digital. O CCD captura uma imagem em formato pseudo *tiff* de 8Mb a cada 0.7 segundos e armazena em memória de *buffer* (RAM) com capacidade de 64Mb. Após a execução do vôo e tomada das imagens, as mesmas foram processadas em ambiente MACHINTOSH utilizando-se o *software* PHOTOSHOOT e convertidas para o formato *tiff*.

### 2.3. Levantamento das Coordenadas dos Pontos de Apoio Terrestres

Para se obter a precisão centimétrica requerida na determinação das coordenadas geodésicas horizontais  $\phi$ ,  $\lambda$  e verticais  $h$  dos pontos de apoio terrestre, optou-se pela metodologia de posicionamento geodésico por satélites, sistema NAVSTAR – GPS, através do método Estático Relativo, com a utilização de dois receptores GPS SOKKIA GEODÉSICOS,

MODELO GSS 1A, 8 canais, Portadora L1 e Código C/A, com precisão de 0,5cm + 1ppm, para o levantamento estático com base curta e pós processamento.

O levantamento obedeceu ao princípio de irradiação a partir do ponto HV 1005, sobre o qual foi instalado um receptor que assumiu a função de *estação base*. Com o segundo receptor, denominado *receptor móvel*, percorreu-se os quatro pontos de apoio para a determinação de suas coordenadas geodésicas. Os dois receptores foram configurados da seguinte maneira: a altura da antena foi variável tanto para a base quanto para o móvel; os dados de temperatura e umidade relativa para ambos os receptores também variaram conforme as condições climáticas, e a pressão atmosférica considerada foi 760mmHg; o intervalo de tempo de registro dos sinais foi de 5 segundos e o ângulo da máscara de elevação de 10° para os dois receptores; tempo de rastreamento dos sinais com o receptor móvel em cada ponto de apoio foi de 360 épocas, e a estação base permaneceu ligada durante todo o período de levantamento.

As coordenadas aproximadas da estação base HV1005 foram calculadas em função dos sinais rastreados pelo próprio aparelho receptor. Porém, para a determinação de suas coordenadas conhecidas, foi necessário o rastreamento deste ponto por aproximadamente 3 horas simultaneamente e em sincronia com um receptor instalado em um ponto com coordenadas conhecidas localizado na UFSM, a aproximadamente 20km da área de estudo. O receptor utilizado na UFSM foi um GPS TOPCON GEODÉSICO, MODELO GP- R1, 12 canais, Portadora L1 e Código C/A, com precisão de 0,5mm + 2ppm. As coordenadas conhecidas dos demais pontos de apoio foram determinadas com o pós processamento diferencial dos dados do receptor móvel com os da estação base HV1005, tendo esta suas coordenadas já determinadas, baseado no sistema de referência de coordenadas WGS-84.

## 2.4 Medição das Variáveis Dendrométricas e Estimativa do Volume em Campo

No mês de setembro de 2000, foram medidos a CAP (circunferência a altura do peito) e a altura total de 316 árvores em um povoamento homogêneo de *Pinus taeda* L., com 22 anos de idade, espaçamento inicial de 2,5m x 2,5m e regime de desbaste seletivo. Juntamente com as medições foi feito um croqui da localização das árvores em campo para posterior identificação das mesmas nas imagens aéreas.

A CAP das árvores foi medida com uma fita métrica e, posteriormente, convertidas para valores de DAP (diâmetro a altura do peito). A altura total das árvores em campo foi determinada com um hipsômetro FORESTOR VERTEX.

O volume das árvores em campo foi estimado através de equação de volume para árvores individuais de *Pinus* spp. com casca desenvolvida para a região em ocasião do Inventário Florestal Nacional para Reflorestamentos no Rio Grande do Sul (IBDF, 1983). A equação volumétrica utilizada foi:

$$\log V = -4,0576 + 1,7884 \log d + 0,9204 \log h$$

a qual apresenta um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,98647$  e um erro padrão da estimativa  $S_{xy} = 0,04769$ .

O volume obtido com esta equação foi utilizado no ajuste dos modelos de regressão testados com os dados coletados das imagens aéreas.

## 2.5 Restituição Fotogramétrica

Esta etapa do trabalho foi executada em uma estação fotogramétrica digital *DVP (Digital Video Plotter)*. A área de estudo foi recoberta por duas aerofotos, gerando assim apenas um modelo estereoscópico ou estereomodelo através das operações de orientação interna e externa do par de aerofotos.

A etapa seguinte da restituição fotogramétrica consistiu na reconstrução das feições do terreno, em especial as curvas de nível e a copa das árvores, já que as variáveis fotogramétricas de interesse estão diretamente ligadas a essas feições.

## 2.6 Identificação e Medição das Variáveis Dendrométricas nas Imagens Aéreas

A identificação das árvores nas imagens aéreas foi feita seguindo-se rigorosamente o croqui de localização das mesmas, confeccionado durante o levantamento de campo. A presença de linhas regulares de plantio facilitou esta etapa do trabalho.

Em se tratando de estimativa volumétrica de árvores individuais de *Pinus taeda* L., foram medidas nas imagens aéreas as seguintes variáveis: área da copa utilizando o comando de medição de área do *software* MICROSTATION/j, e altura das árvores pela diferença dos valores de cota na base e no topo das árvores. O valor da cota na base das árvores foi determinado em função das curvas de nível do terreno. Para a determinação do valor da cota referente ao topo das árvores, o modelo estereoscópico permaneceu fixo na tela do computador e as marcas flutuantes ajustadas de modo a tangenciar o topo das mesmas. O valor numérico observado no instante da sobreposição das marcas flutuantes foi o valor da cota do topo das árvores.

## 2.7 Modelos de Regressão Pré-Selecionados da Literatura

Visando a estimativa volumétrica de árvores individuais de *Pinus taeda* L. em povoamentos homogêneos a partir de variáveis dendrométricas determinadas em imagens aéreas de alta resolução, alguns modelos matemáticos foram pré-selecionados da literatura, ajustados e testados pelo Método dos Mínimos Quadrados. Tendo-se como variável dependente o volume ( $V_c$ ), determinado pela equação volumétrica desenvolvida por IBDF (1983), e como variáveis independentes área de copa e altura total das árvores medidas nas imagens aéreas, procedeu-se o desenvolvimento estatístico utilizando-se o *software* STATISTICA.

Os modelos matemáticos pré-existent selecionados para o ajuste do conjunto de dados estudado foram agrupados em três grupos. No Grupo 1 encontram-se os modelos matemáticos que consideram o volume apenas em função da altura total ( $H$ ) (**Tabela 1**). No Grupo 2 encontram-se os modelos matemáticos que consideram o volume apenas em função da área de copa ( $AC$ ) (**Tabela 2**), e no Grupo 3 encontram-se os modelos matemáticos que consideram o volume em função da altura total e da área da copa (**Tabela 3**).

**Tabela 1 – Grupo 1: modelos matemáticos para estimar o volume em função da altura total.**

	<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>
1	$V = b_o + b_1 H + b_2 \log H$	OLIVEIRA (1980)
2	$V = b_o + b_1 H + b_2 H^2 + b_3 \log H$	OLIVEIRA (1980)

**Tabela 2 – Grupo 2: modelos matemáticos para estimar o volume em função da área de copa**

	<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>
3	$V = b_o + b_1 AC + b_2 \log AC$	Oliveira (1980) Modificada
4	$V = b_o + b_1 AC + b_2 AC^2 + b_3 \log AC$	Oliveira (1980) Modificada

**Tabela 3 – Grupo 3: modelos matemáticos para estimar o volume em função da altura total e área da copa.**

	<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>
5	$V = b_o + b_1 H \log AC + b_2 H$	Oliveira (1980)
6	$V = b_o + b_1 H \log AC$	Sayn-Wittgenstein (1967; 1972)
7	$V = b_o + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 \sqrt{AC}$	Sayn-Wittgenstein (1972)
8	$V = b_o + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 AC$	Oliveira (1980)
9	$V = b_o + b_1 H \sqrt{AC} + b_2 \sqrt{AC}$	Sayn-Wittgenstein (1972)
10	$V = b_o + b_1 H^2 + b_2 AC^2 + b_3 (H \cdot AC)$	Fontes(1983) Modificada

### 2.8 Elaboração de Equação de Regressão pelo Método *Stepwise*

A elaboração de uma equação volumétrica que superasse os resultados obtidos com os modelos pré-selecionados foi feita através da análise de regressão múltipla pelo método *Stepwise*, realizado com auxílio do *software* STATISTICA.

A avaliação comparativa de todas as equações de regressão para estimar o volume de árvores individuais de *Pinus taeda* L. foi feita com base nos seguintes critérios:

- Coeficiente de determinação ( $R^2$ );
- Erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{xy}\%$ );
- Teste *F*;
- Teste de comparação entre os coeficientes de correlação;
- Significância dos coeficientes da equação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise Estatística das Equações de Regressão Ajustadas pelos Modelos de Regressão Pré Selecionados

Analisando as estatísticas das equações volumétricas ajustadas, observa-se que obtiveram melhor desempenho as do Grupo 3, que consideram as variáveis independentes altura total e área da copa na estimativa da variável dependente volume (**Tabela 4**). Essas equações explicam em torno de 70% da variação total do conjunto de dados estudado ( $R^2_{aj} \cong 0,70$ ), com um erro  $S_{xy}\% \cong 17$ . As piores equações foram as do Grupo 1, que consideraram apenas a altura total das árvores como variável independente, apresentando um  $R^2_{aj} \cong 0,34$  e um  $S_{xy}\% \cong 25,40$ , e as do equações do Grupo 2 apresentaram valores intermediários ( $R^2_{aj} \cong 0,55$  e um  $S_{xy}\% \cong 21$ ).

Spurr (1960) mencionou que, em geral, os erros obtidos na estimativa de volume de árvores individuais utilizando fotografias aéreas são altos, variando entre 30 e 60%. Assim sendo, considerando apenas o critério Erro Padrão da Estimativa, verificou-se um bom ajuste para todas as equações, já que o maior erro ficou em torno de 25% e, o menor, em torno de 17%.

Embora a diferença entre as estatísticas obtidas para as equações de regressão dentro de cada grupo tenha sido pequena, aplicou-se o teste de comparação entre os coeficientes de correlação múltipla (*R*) para verificar se esta diferença foi estatisticamente significativa ao nível de probabilidade de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Dentro dos grupos não foi observada diferença estatística significativa entre as equações, ou seja, todas representam igualmente a

variabilidade dos dados. Porém, entre os grupos, o teste de comparação entre os coeficientes de correlação mostrou haver diferença estatística significativa entre as equações, sendo esta diferença maior entre os Grupos 1 e 3.

Observando-se os valores de *F* de todas as equações ajustadas e as análises realizadas pelo *software* STATISTICA, conclui-se que todas as equações são estatisticamente significativas, ou seja, representam bem a relação entre variáveis dependente e independente.

**Tabela 4 – Grupo 3: equações de regressão ajustadas para estimar o volume em função da altura total e área da copa.**

Equações	Estatísticas					
	Coefficientes	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	R	S <sub>xy</sub>	S <sub>xy</sub> %	F
5) $V = b_o + b_1H \log AC + b_2H$	-0,21711 0,01110 * 0,03173 *	0,7087	0,8418	0,0931	16,9303	153,05*
6) $V = b_o + b_1H \log AC$	-0,02526 0,03523 *	0,6989	0,8360	0,0946	17,2031	291,21*
7) $V = b_o + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3\sqrt{AC}$	-0,69754 0,02947 0,00212 0,20295	0,7060	0,8402	0,0935	17,0031	101,06*
8) $V = b_o + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3AC$	-0,18632 0,00417 0,01321 * -0,00946	0,7047	0,8394	0,0937	17,0394	100,47*
9) $V = b_o + b_1H\sqrt{AC} + b_2\sqrt{AC}$	-0,03791 0,01480 * -0,08209	0,7053	0,8398	0,0936	17,0213	150,58*
10) $V = b_o + b_1H^2 + b_2AC^2 + b_3(H \cdot AC)$	0,00459 0,00038 * -0,00177 0,00327 *	0,7021	0,8379	0,0941	17,1122	99,22*

### 3.2 Análise Estatística das Equações de Regressão Ajustadas pelo Método Stepwise

Observando as estatísticas da equação ajustada pelo método *Stepwise* (Tabela 5), percebe-se que estas foram muito semelhantes às apresentadas pelas equações do Grupo 3, com R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = 0,7089 e S<sub>xy</sub>% = 16,91. Aplicando-se o teste de comparação entre o coeficiente de correlação desta equação com as do Grupo 3, verificou-se não haver diferença estatística significativa ente as mesmas.

Segundo o teste *F*, esta equação representa bem a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, da mesma forma que as demais equações ajustadas.

**Tabela 5 – Equação de regressão ajustada pelo método Stepwise.**

Equações	Estatísticas					
	Coefficientes	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	R	S <sub>xy</sub>	S <sub>xy</sub> %	F
11) $V = b_o + b_1H\sqrt{AC} + b_2(H \cdot AC)$	-0,22378 0,01791 * -0,00133 *	0,7089	0,8419	0,0930	16,9121	153,24*

### 3.3 Seleção da Melhor Equação de Regressão

Para a seleção da melhor equação de regressão, foram considerados os critérios mencionados no item 2.8. Pelo fato das equações que apresentaram os melhores estimadores R<sup>2</sup><sub>aj</sub> e S<sub>xy</sub>% não apresentarem diferença significativa entre si, conforme mostrou o teste de comparação entre os coeficientes de correlação, e o valor de *F* ser significativo para todas as

equações estudadas, o próximo passo consistiu em verificar a significância estatística dos coeficientes das equações.

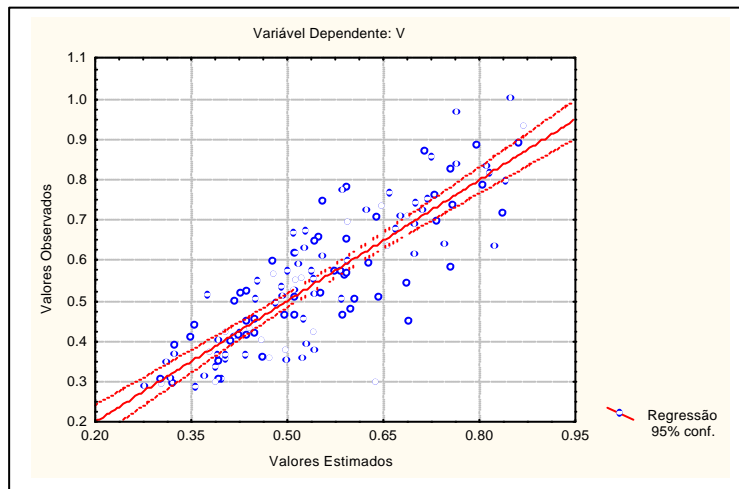
Com base na análise da significância estatística dos coeficientes das equações, foram eliminadas as equações número 6, 7, 8, 9 e 10, havendo empate entre as equações 5, apresentada por Oliveira (1980) para *Araucaria angustifolia*, e a ajustada pelo método *Stepwise*, sendo que ambas apresentaram significância estatística de todos os coeficientes a uma probabilidade de 95%.

Desta forma, selecionou-se as equações 5 e 11 como sendo as que melhor representam a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, apresentando um coeficiente de determinação  $R^2_{aj} = 0,70$  e um erro padrão da estimativa  $S_{xy}\% = 16,9$ .

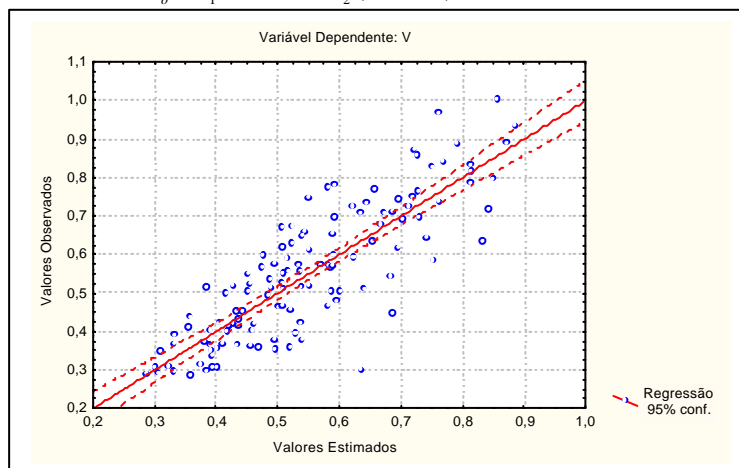
Comparando os ajustes alcançados pela equação número 5, proposta por Oliveira (1980), para os dados desta pesquisa, com os alcançados para os dados originais com *Araucaria angustifolia*, observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{xy}\%$ ) obtidos por essa autora foram, respectivamente, 0,6471 e 43,57.

Nas **Figuras 1 e 2** podem ser visualizadas as distribuições gráficas dos volumes observados e estimados em torno da linha de ajuste da regressão pelas equações 5 e 11, respectivamente.

**Figura 1 – Volume Observado vs. Volume Estimado da Equação 5**  
 $V = b_o + b_1 H \log AC + b_2 H$



**Figura 2 – Volume Observado vs. Volume Estimado da Equação 11**  
 $V = b_o + b_1 H \sqrt{AC} + b_2 (H \cdot AC)$



#### 4. CONCLUSÃO

Através de imagens aéreas digitais de alta resolução obtidas com câmera digital calibrada é possível identificar e efetuar medições confiáveis em árvores individuais de *Pinus taeda* L. em povoamentos homogêneos. Dentre as variáveis dendrométricas medidas nas imagens, altura total e área de copa, encontrou-se maior dificuldade na medição desta última, especialmente nas regiões com menor densidade de árvores, pois o crescimento irregular dos galhos, propiciado pela entrada de luz nessas regiões do povoamento, dificultou a individualização das copas.

Dentre as dez equações de regressão pré-selecionadas da literatura e a equação gerada pelo método *Stepwise* para estimar o volume de árvores em função de variáveis dendrométricas medidas nas imagens aéreas, houve empate entre as equações número 5, proposta por Oliveira (1980), e número 11, gerada pelo método *Stepwise*. Ambas apresentaram valores  $R^2_{aj}$  de 0,7087 e 0,7089 e  $S_{xy}\%$  de 16,9303 e 16,9321 respectivamente, além de significância do valor de F, significância de todos os coeficientes e resíduos normalmente distribuídos. Desta forma, tem-se as equações:

$$\text{Equação 5: } V = -0,2171 + 0,0111(H \log AC) + 0,0317(H)$$

$$\text{Equação 11: } V = -0,2237 + 0,0179(H\sqrt{AC}) - 0,0013(H \cdot AC)$$

Embora a tecnologia adotada esteja disponível no mercado, dentre os fatores limitantes à sua aplicação em escala comercial está a resistência de muitas empresas e profissionais do setor florestal à abertura para novas tecnologias, especialmente devido à falta de conhecimento do seu potencial e à ampla difusão e domínio dos métodos tradicionais de inventário florestal. Porém, a eficácia da metodologia apresentada, não apenas em relação aos resultados obtidos, mas também ao número reduzido de pessoas envolvidas na atividade para a obtenção das informações em um curto espaço de tempo, certamente despertará maiores interesses.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R.R. *Mensurações dendrométricas com câmeras digitais calibradas*. Curitiba, 2001. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Fontes, J.M. *Estimativa volumétrica individual de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., através de fotografias aéreas em grande escala*. Curitiba, 1983. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Hummes, A.P. *Estimativa volumétrica de árvores individuais de Pinus taeda L. utilizando aerofotos de câmera digital de pequeno formato calibrada*. Curitiba, 2002. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- IBDF. *Inventário Florestal Nacional*. Brasília, Departamento de Economia Florestal, 1983. 182p.
- Oliveira, Y.M.M. *Correlação entre parâmetros dendrométricos em Araucaria angustifolia, utilizando fotografias aéreas*. Curitiba, 1980. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- Sayn-Wittgenstein, L.; Aldred, A.H. Tree volumes from large scale photos. *Photogrammetric Engineering*, v.33, n.1, p.69-73, 1967.
- Sayn-Wittgenstein, L.; Aldred, A.H. Tree size from large-scale photos. *Photogrammetric Engineering*, v.38, n.10, p.971-973, 1972.
- Spurr, S.H. *Photogrammetry and photo-interpretation*. New York: The Ronald Press Company, 1960. 472p.