

YEDA MARIA MALHEIROS DE OLIVEIRA

CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS EM  
*Araucaria angustifolia*, UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS.

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção de Título de "Mestre em Ciências-M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1980



P A R E C E R

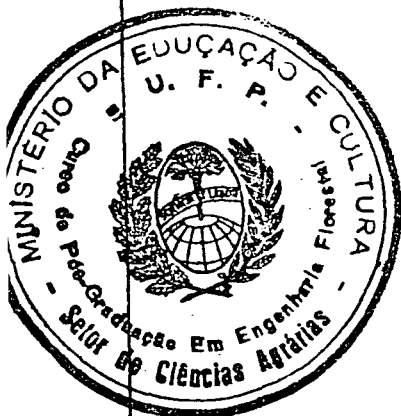
Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pela candidata YEDA MARIA MALHEIROS DE OLIVEIRA, sob o título "CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS DE *Araucaria angustifolia*, UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS", para obtenção do grau de Mestre em Ciências - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata e realizada a atribuição de conceitos, são de parecer pela "APROVAÇÃO COM DISTINÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências.

Curitiba, 10 de outubro de 1980.

Professor Quintino Dalmolin, M.Sc.  
Primeiro Examinador

Professor Sebastião do Amaral Machado, Ph.D  
Segundo Examinador

Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa, Dr.  
Presidente



CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS EM  
*Araucaria angustifolia*, UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS.

DISSERTAÇÃO

Submetida à consideração da Comissão Examinadora,  
como requisito parcial para a obtenção do título de  
Mestre em Ciências - M.Sc.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL  
DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

APROVADA:

---

---

---

## AGRADECIMENTOS

A autora deseja expressar sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e entidades:

Ao Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa por seu estímulo e orientação.

Aos professores Sebastião do Amaral Machado, Quintino Dalmolin e Dietrich Burger pela dedicada e eficaz atenção dada nas diversas etapas durante a realização do trabalho.

Ao Dr. Antonio Paulo Mendes Galvão, Coordenador do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (Embrapa) pela possibilidade da realização deste trabalho.

Ao Dr. Luciano Lisbão Júnior, Chefe da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (Embrapa) pelo apoio e compreensão.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação por possibilitar a realização deste trabalho.

Ao técnico Joel Penteado Júnior pelo auxílio na coleta de dados.

À Mariza do Carmo Drusina pela colaboração no processamento dos dados.

Ao Bráulio Z. Júnior pela colaboração nas análises estatísticas.

À Leocilêa Aparecida Vieira pela datilografia deste trabalho.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pelo auxílio financeiro.

Aos colegas de trabalho por toda compreensão e estímulo.

Aos amigos, sem os quais não seria possível o término deste.

Aos demais colegas e a todos que colaboraram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

A autora nasceu na Cidade de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil, no dia 18 de agosto de 1952.

Realizou os estudos primários e secundários em Curitiba.

Em 1972 iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em 1975.

Atualmente é pesquisadora da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul - Embrapa.

## SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras .....	x
Lista de Quadros .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Natureza e implicação do problema .....	2
1.2. Objetivos .....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Histórico .....	5
2.2. Características ecológicas da espécie .....	6
2.2.1. Distribuição geográfica .....	6
2.2.2. Clima .....	7
2.2.3. Geologia .....	8
2.2.4. Solos .....	9
2.2.5. Vegetação .....	9
2.3. Interpretação das características florestais .....	10
2.4. Avaliação volumétrica .....	12
2.4.1. Volume de povoamentos .....	12
2.4.1.1. Tamanho das parcelas .....	13
2.4.1.2. Diâmetro de copa médio .....	14
2.4.1.3. Altura média do povoamento .....	15
2.4.1.4. Densidade do povoamento .....	16
2.4.2. Volume de árvores individuais .....	17
2.4.2.1. Estimativa do DAP .....	17

	Página
2.4.2.2. Metodologias de medição das dimen- sões das copas em fotografias aé- reas .....	18
2.4.2.2.1. Área de copa .....	18
2.4.2.2.2. Diâmetro de copa .....	19
2.4.2.2.3. Altura das árvores ....	21
2.4.2.3. Precisão nas medições do diâmetro das copas .....	26
2.4.2.4. Precisão nas medições da altura ..	27
2.5. Análise de regressão .....	28
2.6. Relação diâmetro do peito (DAP) e diâmetro da copa .....	31
2.7. Relação DAP/Diâmetro de copa na <i>Araucaria angustifolia</i> .....	32
2.8. Estimativa do DAP através do $\overline{DC}$ e H .....	33
2.9. Estimativa do Volume .....	38
2.10. Espécie florestal em relação à sua identi- ficação em fotografias aéreas .....	43
2.11. Amostragem .....	45
2.12. Competição de copas - um avaliador da densi- dade .....	46
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	48
3.1. Características .....	48
3.2. Características das fotografias aéreas ....	50
3.3. Amostragem .....	50
3.4. População estudada .....	51
3.5. Coleta de dados .....	52
3.6. Variáveis medidas no campo .....	52



	Página
3.6.1. Medição do DAP (Diâmetro à altura do peito).	52
3.6.2. Medição da Altura total .....	58
3.6.3. Medição da Altura Comercial .....	58
3.6.4. Medição do diâmetro de copa .....	58
3.7. Cômputo do volume do campo .....	61
3.8. Variáveis medidas na fotografia aérea .....	61
3.8.1. Medição do $\overline{DC}$ .....	61
3.8.2. Medição da altura nas fotografias aéreas ...	63
3.8.2.1. Princípios de uso da barra de para- laxe .....	63
3.8.2.2. Operacionalidade .....	64
3.9. Cálculo da área da copa .....	66
3.10. Preparação do material .....	68
3.11. Modelos testados .....	68
3.11.1. Modelos testados para a estimativa do DAP ..	69
3.11.2. Modelos testados para a estimativa do volume	71
3.11.3. Estudo das variáveis .....	72
3.11.4. Escolha do melhor modelo .....	73
3.12. Área máxima de copa .....	73
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	76
4.1. Identificação da espécie nas fotografias aé- reas .....	76
4.2. Medições nas fotografias aéreas .....	77
4.2.1. Medição do diâmetro de copas .....	77
4.2.2. Medição da altura .....	80
4.3. Correlação simples e tendência dos dados ...	82
4.3.1. Correlação das variáveis medidas com o DAP .	82
4.3.2. Correlação das variáveis medidas com o V ...	85

	Página
4.4.	Escolha do melhor modelo para estimativa do DAP ..... 88
4.5.	Escolha do melhor modelo para estimativa do Volume ..... 101
4.6.	Implicações da montagem de uma tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta ..... 106
4.7.	A competição de copas como índices de densidade - determinação da AMC ..... 108
5.	CONCLUSÕES ..... 114
6.	RESUMO ..... 116
	SUMMARY ..... 118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 120
	APÊNDICE ..... 127

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Área de distribuição natural da <i>Araucaria angustifolia</i> , segundo HUECK .....	7
02	Balanço hídrico da Cidade de Curitiba (Golfari, 1971) .....	8
03	Variáveis usualmente medidas nas fotografias aéreas .....	19
04	Características das sombras nas fotografias aéreas .....	23
05	Deslocamento em uma única fotografia devido à elevação .....	25
06	Nh - Variável a ser considerada em estimativas do volume individual .....	39
07	Nm - Variável a ser considerada em estimativas do volume individual .....	40
08	A - Variável a ser considerada em estimativas do volume individual .....	40
09	Geometria da copa da <i>Araucaria angustifolia</i> .....	44
10	Posição sociológica da <i>Araucaria angustifolia</i> .....	45
11	Locais de coleta de dados .....	48
12	Diagrama de Curitiba .....	49
13	Curva de frequência e frequência acumulada para classes de DAP e diâmetro de copa ( $\overline{DC}$ ). .....	53

Figura		Página
14	Croquis de campo para coleta de dados .....	54
15	Croquis de campo para coleta de dados .....	55
16	Croquis de campo para coleta de dados .....	56
17	Croquis de campo para coleta de dados .....	57
18	Esquema de medição do diâmetro da copa no cam po .....	59
19	Medições realizadas nas copas .....	59
20	Esquema da medição do diâmetro de copa utili- zando a barra de paralaxe .....	62
21	Esquema da barra de paralaxe .....	64
22	Medição da altura pelo método de diferença de paralaxe .....	65
23	Área de copa pelo método dos triângulos .....	67
24	Área de copa através do diâmetro médio .....	68
25	Porcentual de árvores visualizadas nas fotogra- fias aéreas em relação ao total medido no cam po .....	78
26	Tipos de curva possíveis para a relação DAP/diâ- metro de copa segundo DAWKINS .....	90
27	Relação existente entre DAP e diâmetro de co- pas .....	91
28	Distribuição dos pontos ajustados com a equa- ção da reta .....	92
29	Distribuição dos pontos ajustados com a equa- ção parabólica .....	93
30	Resposta do DAP à equação $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} \times H$ .	99

Figura		Página
31	Relação existente entre DAP e $\sqrt{\pi(\overline{DC})^2/4}$ .....	128
32	Relação existente entre DAP e $H \sqrt{\pi(\overline{DC})^2/4}$ ...	129
33	Relação existente entre DAP e $\pi(\overline{DC})^2/4$ .....	130
34	Relação existente entre DAP e $H \cdot \pi(\overline{DC})^2/4$ ..	131
35	Relação existente entre DAP e $H \cdot \log \pi(\overline{DC})^2/4$	132
36	Formulário de campo para medição de área de copa .....	133

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Tamanho de parcelas circulares em fotografias aéreas de diferentes escalas .....	13
02	Distribuição das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> em classes de diâmetro e altura .....	60
03	Modelos testados para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copas .....	69
04	Modelos testados para o DAP em função da altura .....	70
05	Modelos testados para a estimativa do DAP em função da altura e diâmetro de copas .....	70
06	Modelos testados para a estimativa do DAP em função do DAP e Área de Copa ( $\pi(\overline{DC})^2/4$ ) ....	71
07	Modelos testados para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa e da altura ...	71
08	Modelos testados para a estimativa do volume em função da altura .....	72
09	Modelos testados para a estimativa do volume em função da Área de copas ( $\pi(\overline{DC})^2/4$ ) da altura .....	72
10	Árvores identificadas nas fotografias em relação às medidas no campo .....	78

Quadro		Página
11	Características dendrométricas das variáveis estudadas .....	81
12	Coeficiente de correlação simples (r) e de determinação ( $r^2$ ) entre as variáveis (e as variáveis combinadas) com o DAP .....	84
13	Coeficiente de correlação simples (r) e de determinação ( $r^2$ ) entre as variáveis (e variáveis combinadas com o volume) .....	87
14	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa. ....	94
15	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função da altura .....	94
16	Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do DAP em função da altura ....	96
17	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa e altura .....	98
18	Modelos de regressão logarítmicos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa e altura .....	100
19	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa transformado para área de copa através de $AC = (\overline{DC})^2/4$ .....	100
20	Modelo de regressão logarítmico para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa transformado para Área de copa através de $AC = (\overline{DC})^2/4$ e altura .....	103

Quadro		Página
21	Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa e altura .....	103
22	Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa e da altura .....	103
23	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa e da altura .....	104
24	Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa transformado para Área de copa através de $AC = \pi(\overline{DC})^2/4$ .....	105
25	Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa transformado para Área de copa através de $AC = \pi(\overline{DC})^2/4$ .....	105
26	Tabela de DAP obtida através da equação $DAP = b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3H \times \overline{DC}$ .....	109
27	Tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta Equação $(V = b_0 + b_1(D \times H) + b_2 \times D) \times D \times H$ .	110
28	Determinação da Área Máxima de Copa para a <i>Araucaria angustifolia</i> .....	112



## 1. INTRODUÇÃO

As fotografias aéreas vêm sendo usadas a muitas déca das, como um instrumento para os Inventários Florestais. Sua grande utilidade tem sido o mapeamento de tipologias, medição de áreas e a organização do Inventário, propriamente di to.

Com relação à avaliações volumétricas, através de fo tografias aéreas, mesmo que há muito tenham deixado de ser novidade em vários países, não têm sido incorporadas de forma efetiva em regiões tropicais e sub-tropicais.

Algumas razões poderosas têm contribuído para esta si tuação, não permitindo progressos comparáveis aos dos países temperados tais como: a composição e estrutura dessas flores tas, como o desconhecimento de sua estrutura e condições, a falta de investigações adequadas (LUNA<sup>52</sup>) e restrições quanto à qualidade e escala das fotografias aéreas.

Em regiões temperadas, o campo das determinações volu métricas através de fotografias aéreas, tem sido bastante de desenvolvido, principalmente no que tange a parâmetros de po voamentos, como tabelas volumétricas construídas com base na correlação do volume por unidade de área, com a densidade de copas e altura média de povoamento (BONNOR<sup>16</sup>).

Recentemente, entretanto, as fotografias aéreas têm sido também utilizadas com maior frequência, em estudos que

visam detectar os parâmetros mensuráveis ou interpretáveis, que forneçam a melhor predição do volume individual das árvores.

Nos últimos anos, um grande número de pesquisadores no campo florestal têm realizado medições, suficientemente precisas, que através das dimensões individuais podem estimar o volume da árvore.

A *Araucaria angustifolia* (Bertolani) Otto Kuntze, espécie florestal envolvida nesta pesquisa, é uma espécie cuja identificação e medição torna-se facilitada por se tratar de essência com formas geométricas bastante definidas, tonalidade peculiar e posição sociológica característica.

A realização de um estudo sobre a existência de correlação para esta espécie, entre os parâmetros dendrométricos mensuráveis em fotografias aéreas, certamente contribuirá para avaliações do potencial volumétrico ainda existente. Além disso, tal pesquisa poderá criar uma opção econômica em termos de tempo e disponibilidade do elemento humano, quando da utilização desta técnica em povoamentos implantados.

### 1.1. NATUREZA E IMPLICAÇÃO DO PROBLEMA

Ultimamente tem sido confirmadas as vantagens do uso das fotografias aéreas e dos métodos fotogramétricos, para avaliações quantitativas do potencial volumétrico de madeira de uma determinada área (LUNA<sup>52</sup>).

Em levantamentos de campo, as variáveis comumente utilizadas para o cálculo do volume individual são altura e diâmetro da árvore.

Procedimento similar a este pode ser adotado para a estimativa de volume, utilizando-se as fotografias aéreas (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>). Como a medição do diâmetro da árvore através das fotos, não é possível (ALDRED & SAYN - WITTGENSTEIN<sup>4</sup>), vários estudos, têm sido realizados para correlacioná-lo com variáveis mensuráveis nas fotografias. Autores como DAWKINS<sup>25</sup>, KRAJICEK et al.<sup>49</sup>, SWELLENGREBEL<sup>84</sup>, entre outros, encontraram altas correlações entre o diâmetro a altura do peito e diâmetro de copa, para espécies tropicais e sub-tropicais nativas.

Já autores como SPURR<sup>79</sup>, ALDRED<sup>7</sup> e BONNOR<sup>16</sup>, assinalam que a inclusão da altura da árvore no modelo de regressão, melhora a correlação com o diâmetro do tronco.

Para se obter resultados positivos que permitam tornar a avaliação dendrométrica através de fotografias aéreas utilizável e para que ela possa realmente tornar-se uma opção viável, é condição primordial, que venha a apresentar vantagens de minimização de custos/tempo ou aumento de precisão do levantamento.

A confirmação da possibilidade de utilizar-se as fotografias aéreas como instrumento nas medições, certamente reduzirá o custo/tempo do levantamento de campo, se for considerado que o custo de voo pode e deve ser rateado entre todas as suas outras utilidades. Não é imprescindível trabalhar com uma porcentagem altíssima de precisão, que é determinada pela exatidão com que parâmetros, como altura da árvore e diâmetro de copa, podem ser medidos nas fotografias aéreas e a correlação destas variáveis, com o volume da árvore (BONNOR<sup>16</sup>). Porém, é necessário e básico, conhecer a margem de

erro dessas determinações (ALVAREZ<sup>6</sup>), já que a qualificação e medição dos dados, deverá acontecer dentro de certos limites de precisão, economia, tempo e disponibilidade do elemento humano.

## 1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem por finalidade alcançar os seguintes objetivos:

a) Verificar a possibilidade de se efetuar medições em árvores individuais de *Araucaria angustifolia*, em povoamento natural utilizando fotografias aéreas na escala 1: 10.000.

b) Estabelecer para fins de estimativa, uma indicação da relação entre parâmetros medidos nas fotografias aéreas com o diâmetro a altura do peito (DAP) e volume total (V) medidos no campo.

c) Estudar e selecionar modelos de regressão para estimar o diâmetro a altura do peito e o volume em função de parâmetros dendrométricos medidos nas fotografias aéreas.

d) Confeccionar uma tabela de volume por fotografias aéreas obtida por via indireta e apresentar um índice de competição de copas proposto para avaliação da densidade.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. HISTÓRICO

Fotogrametria é definida como "a ciência ou arte de se obter medições fidedignas através de fotografias" (TOMAR<sup>85</sup> citando "Manual de Fotogrametria"\*).

Tal ciência foi desenvolvida rapidamente. Atualmente a utilização de computadores eletrônicos acoplados ao instrumental fotogramétrico é bastante comum.

Tal desenvolvimento iniciou-se já no século XV, paralelamente com sugestões de instrumentos avançados como a lanterna Mágica, com o princípio básico do helicóptero, sugeridos por DA VINCI em 1492 e a concepção de novas teorias matemáticas como o conceito do cálculo integral e diferencial, proposto por Newton e Leibnitz em 1700 (GRUNER<sup>33</sup>).

Assim, ainda que Aristóteles já houvesse estudado sobre a natureza da luz e Schulze demonstrado a sensibilidade de certos componentes químicos à mesma luz, foram Niepce e Daguerre, com seu "Daguerreótipo", em 1839, que resolveram a grande dificuldade de fixar a imagem exposta. Gaspar Felix Tournachan, conhecido como Nadar, em 1858 conseguiu realizar

\* AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY. Manual of photogrametry. Washington, 1960. 168 p.

com sucesso a primeira tentativa de fotografar uma área, utilizando para tanto, um balão. Dois anos depois, em 1860, Samuel A. King e J.W. Black, fotografaram Boston (EUA), de uma altura de 40 m.

O rápido desenvolvimento nas técnicas aerofotográficas pode também ser atribuído ao fato delas passarem a ser usadas como instrumentos táticos de guerra. Durante as I.<sup>a</sup> e II.<sup>a</sup> Guerras Mundiais, cientistas de vários campos dedicaram-se ao estudo intensivo das aplicações das fotografias aéreas, com objetivo militar (RICCI & PETRI<sup>69</sup>).

No campo florestal, o valor do uso das fotografias aéreas já foi reconhecido desde 1887, quando um especialista alemão fotografou uma área em seu país, através de um balão. Entretanto, apenas após a I.<sup>a</sup> Guerra Mundial, por volta de 1920, é que as fotografias aéreas começaram a ser utilizadas com os objetivos atualmente conhecidos (NIELSEN & ALDRED<sup>62</sup>).

## 2.2. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DA ESPÉCIE

### 2.2.1. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

A *Araucaria angustifolia* ocorre naturalmente no sul e sudeste do Brasil, compreendida entre paralelos 19°30' e 31°30' de latitude sul e os meridianos 41°30' e 54°30' de longitude oeste, estendendo-se inclusive à parte da província de Misiones na Argentina segundo GOLFARI<sup>30</sup>.

HUECK<sup>42</sup> menciona que a região da *Araucaria* apresenta como limite inferior altitudes entre 500 a 600 m, nos estados do sul. No entanto, SHIMIZU & OLIVEIRA<sup>75</sup> encontram na li

temperatura, referências da presença da *Araucaria* abaixo de 300 m de altitude.

O limite superior, da *Araucaria angustifolia* é de aproximadamente 2000 m, encontrado no Estado de Minas Gerais, segundo HUECK<sup>42</sup>.

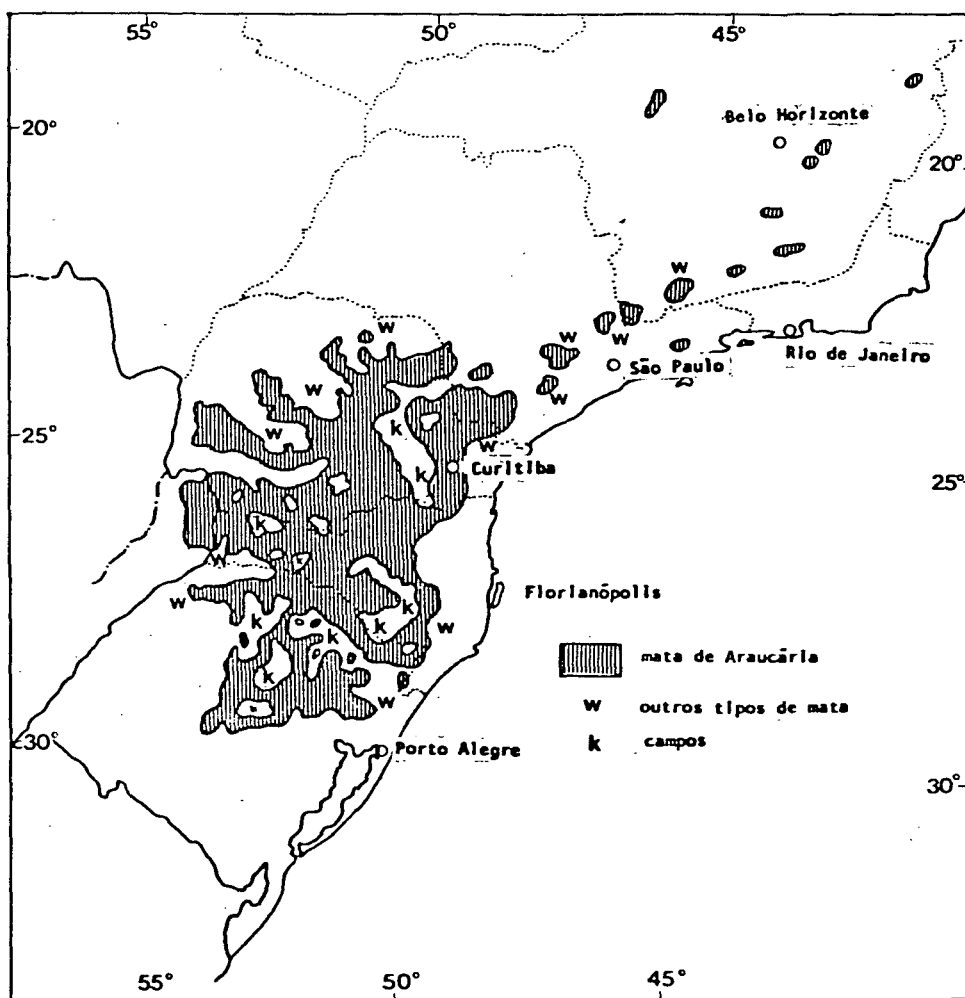


Figura 01: Área de distribuição natural de *Araucaria angustifolia*, segundo HUECK<sup>42</sup>.

#### 2.2.2. CLIMA

O planalto de Curitiba (1º planalto) apresenta temperatura média de 16,5°C (MAACK<sup>51</sup>) sendo aproximadamente a média

das temperaturas da região da *Araucaria* ., que está entre 20 e 21°C no verão e 10 e 11° no inverno (OLIVEIRA<sup>65</sup>).

A precipitação média anual, para o 1º planalto do Paraná de 1450 mm; a classificação climática, segundo Köppen que baseia-se na ação conjunta de temperatura e precipitação é Cfb (subtropical úmido, sem estação seca) caracterizado por verões frescos.

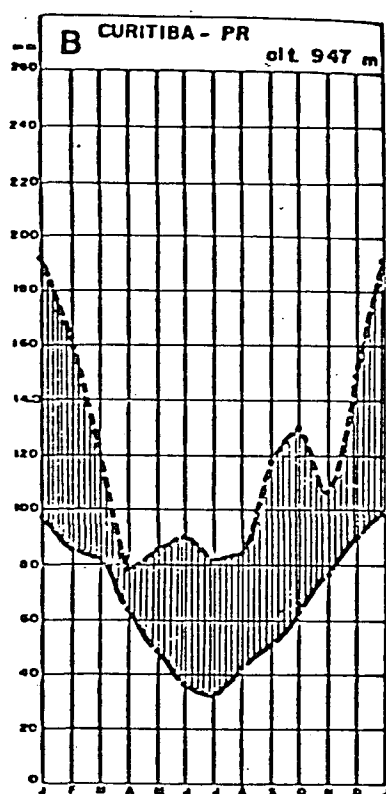


Figura 02: Balanço hídrico da cidade de Curitiba (GOLFARI<sup>30</sup>).

### 2.2.3. GEOLOGIA

No Paraná, o limite oriental da zona dos pinheiros é dado pela serra do Mar, que aí forma um estreito e antigo terraço pene planado. Capeando o arqueano aparecem ao norte, noroeste e a oeste até a meia encosta do Purunã, as exposi-



ções da série Açunguí constituindo o relevo dobrado e montanhoso do vale da Ribeira. O terceiro planalto paranaense se formou pelo favor do ciclópico vulcanismo triássico que, em sucessivos derrames estruturou a grande província basáltica do Brasil Meridional (OLIVEIRA<sup>65</sup>). Segundo MAACK<sup>53</sup>, a geologia é formada por uma paisagem suavemente ondulada, com planícies de várzeas intercaladas por sedimentos fluviais e paludais do quartenário recente, predominando argilas plásticas pretas de humus cru ácido e areias brancas.

#### 2.2.4. SOLOS

Segundo OLIVEIRA<sup>65</sup> há outros fatores, além do clima, que interferem secundariamente na vida ou no desenvolvimento dos pinheiros e entre estes, menciona o fator solo.

Exemplifica que, em certos locais, os pinheiros são muito esparsos ou desaparecem totalmente nos campos, em outros, em altitudes idênticas, os pinheiros se distribuem com profusão. A explicação deste fenômeno, segundo o autor, está na natureza físico-química do solo. Afirma ainda que a *Araucaria angustifolia* ocorre em diferentes tipos de solos, mas de maneira geral, são principalmente argilosos e sílticos.

#### 2.2.5. VEGETAÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertolani) Otto Kuntze ou pinheiro-brasileiro, é uma espécie que se encontra formando agrupamentos densos, principalmente na parte leste e central do planalto meridional do Brasil, abrangendo os Estados do

Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ocorrendo ainda, como manchas esparsas, também no sul do Estado de São Paulo e na serra da Mantiqueira, internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (KLEIN<sup>46</sup>).

Vegeta na região das matas de araucária, para a qual empresta o nome por ser a árvore dominante desta região (MAACK<sup>53</sup>). A vegetação da região da *Araucaria* é uma formação heterogênea, formada por múltiplas associações e agrupamentos que se encontram nos mais variados estágios de sucessão. A vegetação arborea, é interrompida de quando em quando, pelos campos naturais ou edáficos, que muito contribuem para a fisionomia tão característica do planalto sul brasileiro (KLEIN<sup>46</sup>).

Segundo HUECK<sup>42</sup> no Paraná, aparece associada principalmente com a imbuia (*Ocotea porosa*), erva mate (*Ilex paraguariensis*) e pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*).

### 2.3. INTERPRETAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FLORESTAIS

As características florestais que podem ser interpretadas em fotografias aéreas, são classificadas em qualitativas e quantitativas.

a) Características qualitativas: são as imagens visualizadas nas fotografias, subjetivamente identificadas pelo intérprete. Tais características são, por exemplo, a textura, o padrão, o tom e a cor da vegetação. Chaves classificatórias ou guias, correlacionam os vários graus das características qualitativas, descrevendo-as com a informação correspondente (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

b) Características quantitativas: são aquelas informa

ções que podem ser avaliadas através de medições nas fotografias aéreas. Tais avaliações dendrométricas, datam do início do século XX (NIELSEN & ALDRED<sup>62</sup>). Inúmeras pesquisas correlacionando parâmetros mensuráveis nas fotografias aéreas, foram realizadas em países de clima temperado.

Os métodos de fotointerpretação que nos países temperados são de grande utilidade na realização de inventários florestais e elaboração de planos de manejo, são de difícil aplicação em regiões tropicais, devido principalmente à heterogeneidade de espécies e relativamente escasso conhecimento da vegetação, bem como devido à qualidade do material fotográfico usado (BONN\*, citado por CARRASCO<sup>19</sup>).

No Brasil, as fotografias aéreas são comumente utilizadas no campo florestal, principalmente pelas suas características qualitativas, quando do planejamento de inventários. Pelo fato de oferecerem um incomparável poder de síntese, fixando instantaneamente os elementos estudados, são frequentemente usadas para dividir a área a ser inventariada em elementos homogêneos (ALVAREZ<sup>6</sup>). Torna-se então, perfeitamente possível, a divisão do local em áreas florestadas ou não, assim como estratificá-las segundo tipologia, agrupando sob um mesmo tipo, áreas com características semelhantes.

Tal procedimento, evidentemente, tem o objetivo de reduzir o número de unidades amostrais necessárias para a obtenção de um determinado grau de precisão (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

\* BOON, D.A. Recent development in photo-interpretation of tropical forests. Photogrammetria, 12(1): 382-6, 1955/6.

## 2.4. AVALIAÇÃO VOLUMÉTRICA

Com relação aos métodos de estimativa do potencial, ma deireiro através de fotointerpretação, GRINGRICH & MEYER<sup>31</sup>, indicam dois caminhos distintos:

a) determinação do volume de povoamento com características definidas.

b) medição de parâmetros que possam conduzir a uma estimativa do volume de árvores individuais.

SPURR<sup>79</sup> salienta que, em qualquer das metodologias utilizadas, a precisão obtida depende da exatidão com que se possa efetuar as medições nas fotografias, assim como a corrrelação que tenham com o parâmetro desejado.

### 2.4.1. VOLUME DOS POVOAMENTOS

As variáveis independentes mais correlacionadas com o volume de povoamentos por unidade de área, são a altura e sua densidade, motivo pelo qual são os mais usados no modelo de regressão (SPURR<sup>80</sup>) que ajusta os dados de volume em função destas variáveis independentes.

Como se trata de povoamento, normalmente utiliza-se a instalação de parcelas, tanto nas fotografias, como no campo. A coleta de dados da área estudada por meio da enumeração total dos membros da população, normalmente não é usada, sendo regra a utilização de amostragem, segundo LOETSCH & HALLER<sup>51</sup> e TOMAR<sup>85</sup>, que citam como aconselháveis as parcelas circulares, pela facilidade de sua identificação e delimitação nas fotografias.

## 2.4.1.1. TAMANHO DAS PARCELAS

Evidentemente, a escolha do tamanho da parcela depende:

- da escala das fotografias e
- das características da área florestal estudada (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

TOMAR<sup>85</sup> cita que não é prudente utilizar parcelas com tamanho menor que 2 mm de diâmetro, que dificulta as medições. Recomenda que se utilizem parcelas de no mínimo 3 - 4 milímetros medidos nas fotografias.

LOETSCH & HALLER<sup>51</sup> indicam, como regra prática, que a parcela possa conter não menos que 10 e não mais que 30 árvores visíveis independente da escala usada. Em florestas tropicais recomenda a medição de, no mínimo, 5 árvores dominantes por parcela.

Quadro 1: Tamanho de parcelas circulares em fotografias aéreas de diferentes escalas.

Escala da Fotografia	1,0 ha	0,50 ha	0,25 ha	0,10 ha
	Raios em milímetros			
1: 5000	11,28	7,98	5,64	3,57
1:10000	5,64	3,99	2,82	1,79
1:15000	3,76	2,66	1,88	1,79
1:20000	2,82	2,00	1,41	0,90
1:40000	1,41	1,00	0,71	0,45

A partir deste quadro, pode-se concluir que se forem utilizadas escalas grandes, como 1:5000, pode-se decidir por

parcelas pequenas, como 0,1 ha, que as mesmas ainda serão possíveis de medição, o que não ocorre com fotografias de escalas menores, como 1:40000, quando a parcela deverá ter uma área maior que 1,0 ha, sob pena de ser impossível medi-las nas fotografias.

Outra questão também abordada por TOMAR<sup>85</sup>, refere-se ao fato das parcelas possuírem, tanto no campo como na foto o mesmo tamanho, embora em fotografias de escalas pequenas (1:40000 ou menores), as unidades amostrais no campo, deveriam ser maiores, o que oneraria o custo de coleta de dados. Conclui que, para se obter uma correlação máxima entre volumes medidos no campo e nas fotografias, tanto o técnico de campo como o fotointérprete, devem medir as mesmas árvores, e para que isto seja possível, a parcela deve apresentar o mesmo tamanho e mesma forma nas duas situações, sendo de extrema importância, a exata localização de tais parcelas no campo e nas fotografias.

Para a delimitação da parcela, pode-se utilizar uma lâmina de material resistente e transparente, na qual o círculo com o seu tamanho correto está desenhado. Anteriormente, já deve-se ter indicado com uma marca na fotografia, o centro da parcela, de maneira que se ajusta a lâmina, delimitando-se exatamente a unidade amostral (ALDRED & SAYN-WITTGEN - STEIN<sup>4</sup>).

#### 4.1.2. DIÂMETRO DE COPA MÉDIO

Considerações a respeito da medição dessa variável, serão tecidas adiante. Quando se trata de volume de povoamen

tos, normalmente mede-se o diâmetro das árvores dominantes como sugere NYSSÖNEN<sup>64</sup> que propõe a medição de 20% de todas as copas contadas na parcela, definindo tal número como classe das dominantes. Também AVERY & MEYER<sup>9</sup>, utilizaram a medição das copas das dominantes.

#### 2.4.1.3. ALTURA MÉDIA DO POVOAMENTO

A variável altura, reveste-se de grande importância, já que além de contribuir tanto ou mais que o diâmetro da copa para a obtenção do volume, também é indicadora para classificação de sítios (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

A técnica de medição da altura para árvores individuais, será tratada no capítulo 3. Para o cálculo da altura média do povoamento, pode se considerar o mesmo raciocínio utilizado anteriormente, no caso do diâmetro de copa médio. As alturas das árvores mais baixas e menores, também não poderão ser medidas por estarem recobertas pelas árvores mais altas. BERNSTEIN<sup>13</sup>, em povoamentos equianos de Douglas-fir e usando parcelas de 0,2 acres (0,08 ha), preconizou a medição de no mínimo 3 árvores dominantes e codominantes por parcela. KAHLEYSS & KLIER<sup>47</sup>, utilizando fotografias na escala 1: 13000 e trabalhando com povoamentos equianos de *Picea* sp., mediu 5 alturas e de 5 a 10 diâmetros de copa por parcela aleatoriamente. Nesta escala e para espécies e condições locais, copas de árvores com menos de 40 anos de idade, não foram medidas por impossibilidade de identificá-las.

Ao realizar um teste para tabela de volume por fotografias aéreas, LAMONT et al.<sup>50</sup> realizaram medições de altu

ra em 5 árvores dominantes por parcela de 1 acre.

#### 2.4.1.4. DENSIDADE DO POVOAMENTO

A densidade das copas, "crown closure" ou "crown cover" é expressa em porcentagem ou fração decimal coberta pelas copas das árvores. É a característica realmente relacionada à povoamentos, não podendo ser obtida através de árvores individuais, contrariamente à médias de diâmetro de copas e alturas, ambas derivadas de observações de indivíduos. A densidade de copas é um guia essencial para a estimativa de volumes através de fotografias aéreas (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

Alguns autores, preconizam a consideração ou medição, apenas das árvores dominantes, baseando-se na premissa de que seria lógico, incluir a estimativa da densidade somente daquelas árvores, que acredita-se, mais contribuirão para o volume (POPE<sup>66</sup>). CARRASCO<sup>19</sup>, trabalhando com fotografias, considerou intervalos de altura de 10 m, e mediu a densidade de copas por estratos, fazendo-o simultaneamente com a medição de alturas.

GRINGRICH & MEYER<sup>31</sup>, ao confeccionarem tabela de volume para *Quercus* sp, consideraram como variáveis, mais estreitamente correlacionados com o volume, a altura do povoamento, o diâmetro da copa e a densidade em porcentagem.

TOMAR<sup>85</sup>, salienta a importância da densidade para povoamentos equianos, considerando relativamente fácil a construção de classes de densidade com um grau de precisão aceitável. Porém, concorda que em florestas heterogêneas (irregulares e/ou compostas por folhosas) a medição desta variável



torna-se mais problemática e subjetiva; considera a dificuldade na decisão de que copas devem ser incluídas na estimativa.

#### 2.4.2. VOLUME DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

Em inventários de campo, o volume de uma área florestal é obtido pela medição das variáveis adequadas em árvores (indivíduos). As variáveis mais importantes são: diâmetro a altura do peito (DAP) e altura da árvore. Um procedimento similar, pode ser adotado com fotografias aéreas (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>). Nestas, a medição direta do DAP, torna-se impossível, principalmente em fotografias verticais (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>) e, assim a obtenção do volume, depende da correlação entre esta variável (DAP) e as dimensões da copa, correlação que pode ser estabelecida para uma ou um grupo de espécies (AVERY<sup>7</sup>, ALDRED<sup>1</sup>).

##### 2.4.2.1. ESTIMATIVA DO DAP

Medições do diâmetro do fuste e particularmente do DAP, fazem parte da maioria dos levantamentos florestais (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>). Esta variável é plenamente aceita como altamente descritiva do volume da árvore, e é também base para estimativas de volume/árvore nas tabelas usuais.

No caso em que se utiliza fotografias aéreas, as dimensões das copas assumem um papel importante, o que não acontece com levantamentos terrestres. As variáveis normalmente utilizadas para o estudo de correlações com o DAP variam um pou

co entre autores. Assim, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, procuraram definir exatamente estas variáveis:

a) largura da copa total - uma medição da largura da copa na direção do eixo maior e outra em ângulo reto à ela (BONNOR<sup>16</sup>);

b) largura da copa efetiva - duas medições em ângulo reto, em que os galhos mais salientes e recortes de copas são menosprezados (BONNOR<sup>16</sup>);

c) diâmetro da copa (em fotografias aéreas) - medido a ângulos retos com a linha traçada desde o ponto principal através do centro da copa (KIPPEN & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>45</sup>). Segundo estes autores o uso do termo "diâmetro" para descrever copas, é inadequado;

d) área de copa - definida como a área ocupada pela projeção da copa sobre um plano horizontal;

Num grande número de trabalhos, nota-se uma indistinção entre os termos largura e diâmetro de copas. Por ser o termo diâmetro de copas mais usual, ele será utilizado de ora em diante.

#### 2.4.2.2. METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS COPAS EM FOTOGRAFIAS AÉREAS

##### - 2.4.2.2.1. Área de copa

A área de copa pode ser medida com rede de pontos, sob um estereoscópio. A escolha da rede é determinada pela escala das fotografias, características próprias da área, como tamanho e forma das árvores (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>).

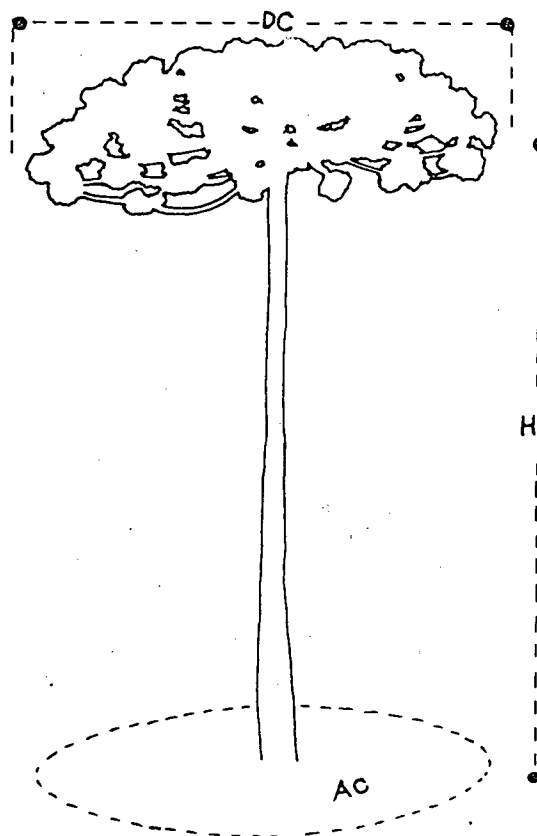


Figura 03: Variáveis usualmente medidas nas fotografias aéreas para a estimativa do DAP ou volume.

Existem trabalhos que suportam que a variável área da copa é mais consistente que a variável diâmetro de copa. Em escalas grandes, isto é provável (ex.: escalas de 1:500 até 1:4000 aproximadamente). Em escalas menores, a medição da área da copa torna-se difícil, em função do tamanho que as árvores são visualizadas (TOMAR<sup>85</sup>).

#### - 2.4.2.2.2. Diâmetro da copa

Os instrumentos para medição do diâmetro da copa, citados por LOETSCH e HALLER<sup>51</sup>, são:

- cunha micrômetro, o qual consiste de duas linhas convergentes e calibradas. O gabarito é colocado sobre a imagem da copa da árvore, até que as duas linhas toquem os lados opostos da copa. Neste ponto é realizada a leitura.

- A escala para diâmetro de copa, consiste de uma série de pontos ou círculos de diferentes tamanhos. O gabarito é colocado sobre a copa a ser medida, procurando-se o círculo, cujo diâmetro corresponde ao diâmetro da copa considerada. Faz-se então, a leitura neste ponto. Escalas como estas, normalmente são apresentadas em medidas inglesas (centésimos de polegada).

Um terceiro método a ser considerado, seria o de utilizar a barra de paralaxe, como instrumento de medição (calibre). Como foi o procedimento utilizado no presente trabalho, a descrição do mesmo, será feita no Capítulo 3.

Um ponto importante a ser tratado, é o das diferenças que existem entre medições de dimensões das copas nas fotografias aéreas e no campo. Sobre isso, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, comentam que tal fato não acarreta sérias conseqüências para o desenvolvimento de trabalhos que se utilizam de tais variáveis, mas reafirmam da importância de serem repetidas as medições nas fotografias.

Já AVERY<sup>7</sup> explana que, as diferenças em perspectiva que resultarem das duas técnicas de medição, podem conduzir a resultados diversos, mesmo que para as mesmas árvores. Exemplifica que, se as copas são medidas em fotografias de escala pequena, apenas parte do diâmetro visível é considerado na medição; galhos finos e perímetros de copas irregulares, não podem ser resolvidos pelo sistema fotográfico. Portanto, me

dições dos diâmetros das copas por fotografias aéreas, por vezes, são menores que as medições realizadas no campo.

Segundo SPURR<sup>79</sup>, os dados obtidos de medições das copas em fotografias aéreas não são comparáveis com os volumes similares obtidos no campo. Considera que, apenas a porção da árvore visível na fotografia será medida, não o sendo galhos ocultados pela projeção de outras árvores. Isto reforça referências de outros autores (AVERY<sup>7</sup>, TOMAR<sup>85</sup>), que sugerem que tais medições, normalmente apresentam resultados menores que as realizadas nas mesmas árvores no campo.

JOSHI\* citado por TOMAR<sup>85</sup> (p. 89) encontrou que a correlação entre medições de diâmetro de copa no campo e em fotografias aéreas, utilizando a escala de 1:5000, foi pequena.

#### - 2.4.2.2.3. Altura das árvores

Em fotografias aéreas, a altura da árvore e do povoamento podem ser medidos diretamente (SPURR<sup>79</sup>). Basicamente, existem quatro métodos para realizar tal medição: (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>)

- a) medição do comprimento das sombras;
- b) estimativa ocular da altura em um estereo-par ou em fotografia única;
- c) medição da diferença de paralaxe em pares estereos cópicos;
- d) deslocamento em uma única fotografia.

ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, incorporam aos quatro métodos citados, um quinto, denominado medição direta de altura

\* JOSHI, S.C. The influence of misinterpretation on area assessment. Ind. Forester, 98(12), 1972.

ra de árvore em fotografias oblíquas.

O primeiro método mencionado, medição do comprimento das sombras pode ser utilizado bastando-se conhecer o ângulo do sol no momento em que a fotografia foi tomada e o comprimento da sombra ser visível. Tem sido extensivamente usado em vários países, mas existem limitações (SPURR<sup>79</sup>) como os erros que podem ser introduzidos pela inclinação do terreno. A medição só será realizada se a sombra da árvore não é obstruída por outro objeto. LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>, salientam a necessidade do conhecimento do tempo de exposição, e posição geográfica aproximada do local para o cálculo do ângulo do sol e da escala exata no ponto de medição. NYYSÖNEN<sup>64</sup>, encontrou que o método das sombras, apresenta resultados semelhantes ao de paralaxe, sob condições específicas, isto é, em florestas pouco densas. SPURR<sup>79</sup>, acredita ser o método pouco promissor em florestas tropicais. SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED<sup>72</sup> não recomendam que se utilize o comprimento das sombras para a estimativa da altura e diâmetro uma vez que a inclinação e outros fatores introduzem imprecisões (Fig.4).

A precisão do 2º método, ou seja, estimativa ocular, depende da habilidade do fotointérprete, do seu conhecimento da área estudada e do relevo da área. SPURR<sup>79</sup>, considera o método suficientemente preciso para muitos propósitos. Com prática, pode-se medir precisamente as árvores que podem ser facilmente visíveis nas fotografias e as adjacentes, comparadas ocularmente às primeiras.

Para evitar tendências, ocasionalmente o fotointérprete pode checar sua estimativa medindo algumas árvores com barra de paralaxe. Utilizando-se de esquemas de divisão de

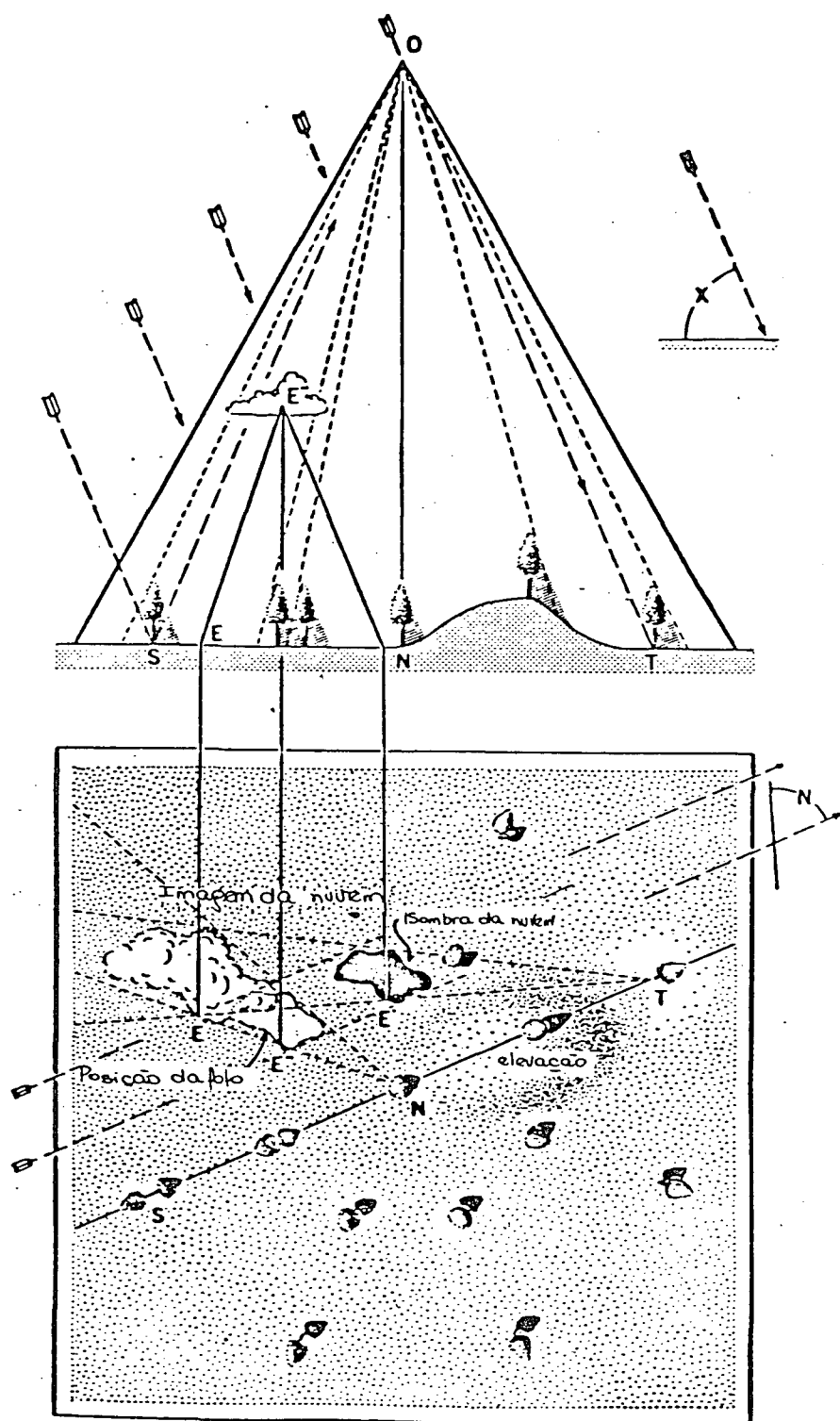


FIGURA 04: Características das sombras nas fotografias aéreas.

A direção dos raios do sol é mostrada pelas flechas nos desenhos que possuem o ponto de reflexão solar (S), o nadir (N) e a ausência de sombra (T). Percebe-se o efeito da inclinação no comprimento das sombras das árvores e do deslocamento radial nas imagens das árvores nas figuras.

classes como 2, 3 ou 5 m e, comparando com outras árvores medidas, realmente tal método apresenta muitas vantagens (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>) principalmente em povoamentos mais densos, onde é impossível perceber-se o solo para a leitura de paralaxe da base.

Devido à dificuldade de medir árvores na escala 1:40000 na floresta Amazônica, HEINSDIJK<sup>37</sup> desenvolveu o método de estimativa ocular, classificando as árvores em menores que 25 m (baixas) e maiores que 25 m (altas).

No caso específico de fotografias únicas, a altura da árvore pode ser estimada através da textura (SPURR<sup>79</sup>), aspectos e tamanhos das copas.

Para LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>, o êxito depende basicamente da experiência do fotointérprete, que pode também ser auxiliado pela comparação ocular do comprimento das sombras.

O 3º método, da diferença da paralaxe é o mais satisfatório e preciso para a medição de altura (SPURR<sup>79</sup>, TOMAR<sup>85</sup>, LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>).

Basicamente, consiste na medição da altura aparente da árvore como ela aparece na imagem estereoscópica (SPURR<sup>79</sup>). Como se trata do método utilizado no presente trabalho, será tratado no Capítulo 3.

Um quarto método, de aplicação prática restrita (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>), pode ser reunido aos três anteriormente citados. Trata-se de "deslocamento em uma única fotografia". Baseia-se na comprovação de que as imagens, em fotografias aéreas, são geralmente deslocadas de sua verdadeira posição devido:

- ao equipamento fotográfico;



- ao relevo;
- à inclinação da câmara (SPURR<sup>53</sup>).

Como o topo da árvore é mais alto que sua base é, em consequência, aparentemente deslocado do centro da fotografia.

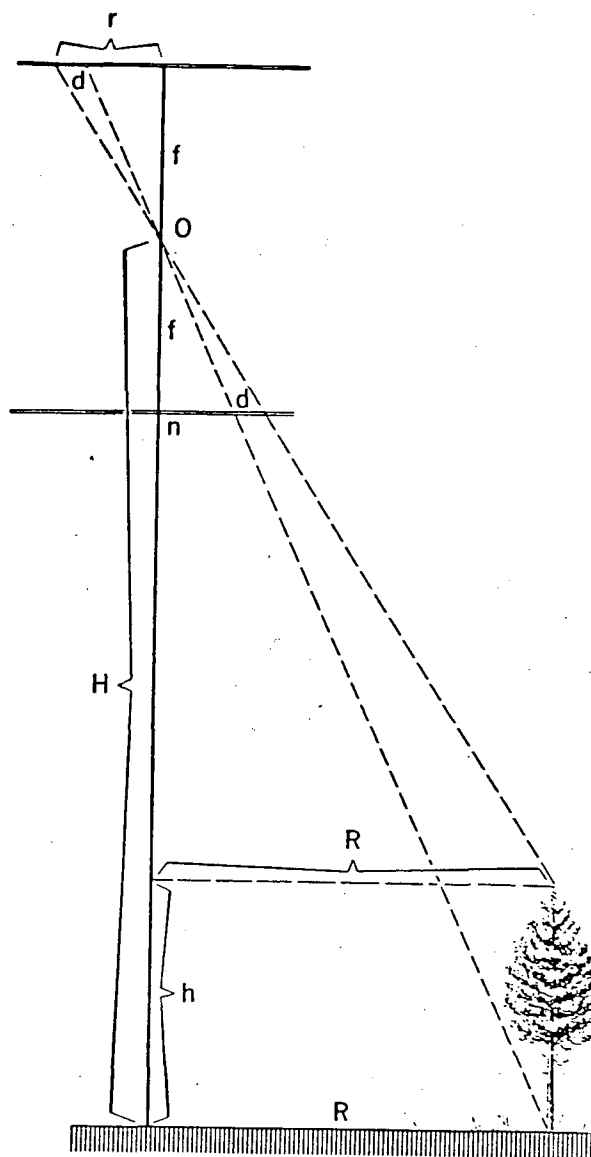


Figura 05: Deslocamento em uma única fotografia devido a elevação.

LOESTCH & HALLER<sup>51</sup>, justificam a aplicação prática limitada deste método, devido ao fato de que o deslocamento da imagem da altura da árvore ser relativamente pequeno, dificultando sobremaneira a sua medição. Será maior, quando os

objetos se situarem próximos aos bordos das fotografias.

#### 2.4.2.3. PRECISÃO NAS MEDIÇÕES DO DIÂMETRO DAS COPAS

Exceção feita à altura total das árvores, medições de campo não podem fornecer uma checagem satisfatória das estimativas obtidas por fotografias aéreas (TOMAR<sup>87</sup>). Desde que a precisão dessas estimativas não pode ser facilmente determinada, pode-se verificar a consistência entre medições realizadas por intérpretes diferentes, ou pelo mesmo intérprete em diferentes ocasiões.

Embora a literatura não o recomende, MEYER & TRANTON<sup>58</sup>, trabalhando com fotografias pancromáticas (menos azul) em escalas entre 1:15.840 e 1:24.000, realizaram comparação entre medições de diâmetro de copa no campo e nas fotografias.

Nas fotografias foram realizadas três medições por copa, sendo selecionadas as dominantes e codominantes de uma floresta mista. As diferenças encontradas, não foram significativas.

NAKAYAMA<sup>60</sup>, também comparou medições de campo e fotográficas em relação ao diâmetro das copas. A escala utilizada foi de 1:10000 em fotografias pancromáticas e as espécies consideradas foram: árvores de *Chriptomeria japonica* e *Chamaesiparis obtusa*.

No campo, o diâmetro da copa foi medido com precisão através da trena. Foram encontradas árvores de 2 a 11 m. Nas fotografias, as medições foram efetuadas com micrômetro sob estereoscópio. Erros absolutos de 0 a 3 m (0 a 33%) para *Chriptomeria japonica* e de 0 a 2,1 m (0 a 32%) para *Chamaesiparis*

*obtusa*. Para a obtenção do diâmetro de uma copa com 95% de precisão a 95% de probabilidade, 5 repetições por medição foram necessárias. Erro padrão da estimativa encontrado  $\pm 0,81$  m, com coeficiente de variação em torno de 15% da média. Foram encontrados erros positivos e negativos (48% cada), não mostrando tendência, mas acrescenta serem os erros diretamente proporcionais ao tamanho das copas.

#### 2.4.2.4. PRECISÃO NA MEDIÇÃO DA ALTURA

ALDRED & KIPPEN<sup>2</sup>, encontraram para povoamento natural no Canadá através de fotografias na escala 1:1200, um erro padrão da estimativa da ordem de 6% da média na medição de altura através de fotografias aéreas.

AVERY<sup>8</sup>, ao construir uma tabela de volume para coníferas e folhosas do sul dos E.U.A. e utilizando fotografias pancromáticas na escala 1:20.000 encontrou erro padrão em torno de 1,5% da média das alturas das árvores consideradas.

COLLINS<sup>23</sup>, em realizando um estudo da precisão na medição de alturas por fotografias aéreas e trabalhando na escala 1: 14.400 mediu 40 árvores tendo a árvore média 27,4 m. O erro padrão da estimativa para as árvores dominantes foi de 1,5 m.

Em um estudo realizado por NAKAYAMA<sup>60</sup> no Japão com *Chriptomeria japonica* e *Chamaesiparis obtusa*, com fotografias pancromáticas na escala 1:10.000 foi encontrado o seguinte: o erro sistemático como média para as duas espécies variou entre 0 e 4,2 m. O autor comenta que a necessidade de repetições na medição da diferença de paralaxe aumenta com o decrés

cimo da altura. Acrescenta que 86% dos erros na medição de alturas foram negativos.

Ao realizar um estudo na Alemanha sobre *Picea* spp. KAHLEYSS<sup>44</sup> conclui que a altura não se apresentou como uma variável satisfatória para a estimativa do volume por fotografias aéreas apresentando erro padrão da estimativa em torno de 1,2 m.

MacLEAN<sup>54</sup>, também ao estudar as tendências nas estimativas de altura por fotografias aéreas comenta que houve significância estatística entre medições realizadas por diferentes intérpretes, porém em geral apresentava-se a seguinte situação característica: subestimativa das árvores pequenas e superestimativas das grandes árvores no povoamento. A espécie estudada foi *Pseutotsuga menziesii*.

Segundo SPURR<sup>80</sup>, a precisão da medição da altura é diretamente proporcional à escala da fotografia e o instrumento que mais acuracidade promoveu, foi a barra de paralaxe.

## 2.5. ANÁLISES DE REGRESSÃO

LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>, definem a regressão como a obtenção de uma expressão quantitativa da dependência da variável Y de uma ou mais variáveis independentes X.

Segundo FREESE<sup>26</sup>, as aplicações mais frequentes dos modelos de regressão acontecem por um ou ambos dos seguintes objetivos:

a) Encontrar uma função matemática que possa ser utilizada para descrever a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

b) Testar algumas hipóteses sobre a relação existente entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

A elaboração de equações de volume apresenta, segundo LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>, 3 fases:

- seleção de um número suficientemente grande de árvores amostrais representativas;
- medição das variáveis dependentes e independentes para a derivação da equação;
- testes das diferentes funções, através de computadores e seleção da melhor equação.

De acordo com FREESE<sup>26</sup>, a variável dependente deve ser equacionada em função de variáveis que lhe sejam correlacionadas, já que sua estimativa somente pode ser determinada com precisão se esta correlação existir.

Muitas pesquisas têm sido realizadas procurando encontrar mais variáveis que possam ser medidas ou interpretadas nas fotografias aéreas. Tais trabalhos tem o objetivo de estimar variáveis como diâmetro (DAP) e volume, que através de fotografias aéreas não podem ser medidos. A relação entre estas variáveis e outras, passíveis de medição nas fotografias aéreas, pode diferir de espécie para espécie, sendo importante o exato conhecimento dessas relações, para a eventual combinação de dados de várias essências na análise (ALDRED & SAYN-WITTEGENSTEIN<sup>4</sup>).

A regressão pode ser simples ou múltipla, dependendo do número de variáveis independentes ; linear, de acordo com a natureza da equação básica (LOETSCH & HALLER<sup>51</sup>).

BONINI<sup>14</sup> cita que o método de regressão linear simples

pode ser aplicado a outros casos, além do método da relação linear entre duas variáveis isto porque; mediante uma adequada transformação de variáveis, as funções podem ser linearizadas.

Segundo STEEL & TORRIE<sup>81</sup>, a forma mais utilizada para o ajustamento de uma reta é através do critério dos mínimos quadrados, que produz uma mínima soma dos quadrados dos desvios dos pontos observados em relação aos estimados.

SILVA\*, citado por SCHNEIDER<sup>73</sup>, (p. 17) menciona entre outros, os seguintes critérios a serem observados na seleção do melhor modelo:

- a) coeficiente de determinação;
- b) erro padrão residual;
- c) distribuição uniforme dos valores residuais;
- d) Índice de Furnival.

Segundo ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, o principal critério para a escolha final da regressão deve ser a redução no erro padrão da estimativa. Como um padrão de comparação para regressões com conjuntos de dados diferentes, o erro padrão da estimativa traz vantagens sobre o coeficiente de determinação ( $R^2$  ou  $r^2$ ) que é fortemente afetado pelo escopo de dados.

Segundo os mesmos autores, os critérios descritos abaixo, também devem ser considerados:

- 1) Regressões que sigam padrões conhecidos do desenvolvimento da árvore;

\* SILVA, J.A.A. Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, região e método de regeneração. Viçosa, 1977. 93p. Tese. Mestrado. Universidade de Viçosa.

2) Atenção especial deve ser dada às variáveis que de monstrem ser valiosas em mais que um conjunto de dados.

## 2.6. RELAÇÃO DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) E DIÂMETRO DA COPA

A medição do diâmetro do tronco, particularmente do DAP, tem sido preocupação em muitas pesquisas florestais. Em fotografias aéreas, sua importância torna-se reduzida já que a coleta de tal variável normalmente não é possível (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>).

Alguns estudos realizados de maneira independente por pesquisadores de renome, têm demonstrado que o diâmetro do tronco, geralmente expresso como diâmetro a altura do peito (DAP) é diretamente correlacionado com o diâmetro da copa. Em muitos casos, a relação é levemente curvilínea, mas aproxima-se em forma a uma linha reta. Ainda que ocasionalmente boas estimativas de DAP possam ser baseadas no diâmetro da copa, a dispersão é em geral, razoavelmente grande resultando em que o erro padrão da estimativa é usualmente alto (SPURR<sup>79</sup>).

A forma de regressão varia de acordo com a espécie, e a parte da população amostrada.

Uma regra preliminar aceita como verdadeira, é que, para classes de diâmetro médio de espécies americanas, o diâmetro do tronco em polegadas é igual a  $3/4$  do diâmetro da copa em pés.

Para pinus do sul dos Estados Unidos, MINOR<sup>59</sup>, sugere que o diâmetro do tronco em polegadas é aproximadamente i

igual à metade da copa em pés, somado com um fator de correção (normalmente cinco).

AVERY<sup>8</sup> construiu uma tabela de volume para coníferas e folhosas do sul dos E.U.A. e baseou-se na premissa de que as copas das árvores estudadas tendiam a ocupar áreas próximas ao quadrado de seus diâmetros médios.

## 2.7. RELAÇÃO DAP/DIÂMETRO DE COPA NA *Araucaria angustifolia*

Em trabalhos de campo, SILVA<sup>77</sup> investigou a relação entre duas variáveis no pinheiro brasileiro, em povoamento natural. Concluiu que os pinheiros deverão desenvolver grandes diâmetros, a fim de suportar copas maiores, dependendo de sua posição sociológica. A regressão que melhor definiu a relação entre as referidas variáveis foi:

$$\overline{DC} = \frac{DAP}{b_0 + b_1 \times DAP}$$

onde:

DAP = diâmetro a altura do peito em cm

$\overline{DC}$  = diâmetro de copa em m

$b_0, b_1$  = coeficientes da regressão.

A inclusão da idade, altura do tronco, comprimento da copa e do volume com casca, não promoveram redução no erro padrão da estimativa que foi de 0,814; coeficiente de correlação (R) igual a 0,71, referindo-se, porém, à variável DAP/ $\overline{DC}$ .

VOLKART<sup>87</sup> realizou pesquisas em povoamentos também naturais de pinheiros, na Província de Misiones. Os gráficos confeccionados, apresentaram tendência retilínea entre as duas



variáveis.

## 2.8. ESTIMATIVA DO DIÂMETRO DO TRONCO (DAP) ATRAVÉS DO DIÂMETRO DE COPAS E ALTURA

Vários estudos já demonstraram a alta correlação entre o diâmetro das copas e o DAP. Entretanto, alguns autores sugerem que a inclusão da variável altura melhorada a correlação com o DAP.

BONNOR<sup>16</sup>, ao construir uma tabela de volume para *Pinus resinosa* Ait (red pine) incluiu na equação final de regressão a variável altura e o produto altura x diâmetro de copas atingindo um coeficiente de correlação (R) igual a 0,957 e erro padrão da estimativa de  $\pm 1,24$ ".

ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, após peneiramento preliminar das variáveis independentes usadas para a estimativa do DAP, concluíram que a interação H log AC (altura x área da copa), H x  $\sqrt{AC}$  e H x AC melhor se apresentaram.

Reforçando o já mencionado, SMITH & CHIAM<sup>78</sup> citando CHIAM<sup>\*</sup> afirmam que as medições das copas no campo e nas fotografias aéreas foram altamente correlacionadas e concluiu que a interação de H e  $\overline{DC}$  (altura e diâmetro de copas) é a melhor indicadora do DAP e volume do povoamento.

Segundo DAWKINS<sup>25</sup>, a interpretação mais prática da relação entre diâmetro do tronco (DAP) e o diâmetro da Copa ( $\overline{DC}$ )

\*CHIAM, Y. C. The use aerial photographs to distinguish between stocking and density of western hemlock stands on the University of British Columbia Research Forest, Haney, Bristish Columbia. Univ. of Bristish Columbia, Faculty of Forestry, 1967. 234 p. "Tese M.F."

para árvores de regiões tropicais (ou temperadas), em todas, com exceção dos extremos da distribuição (árvores muito grandes ou muito pequenas) é a linha reta:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$$

onde:

DAP = diâmetro a altura do peito em cm.

$\overline{DC}$  = diâmetro da copa em m.

$b_0$ ,  $b_1$  = coeficientes.

HETHERINGTON<sup>40</sup>, trabalhando em povoamentos de *Picea sitchensis*, concluiu que não há razões para suspeitar que a relação seja curvilínea. Resultados semelhantes foram obtidos por AVERY & CANNING<sup>12</sup> para *Pinus radiata*, e por SWELLENGREBAL<sup>84</sup> para florestas naturais da Guiana Britânica. Este último, dividiu a vegetação em 3 estratos, em função do tipo de solo, sendo que, para todas, a reta foi o melhor modelo. Também sugere que: quando se afirma que a regressão é dada por uma linha reta, pode-se imaginar que se as árvores de grandes e pequenas dimensões aumentam seu DAP em igual incremento, o aumento correspondente em copa em ambos os casos, seria na mesma proporção, o que não corresponde com a realidade. Quando uma árvore chega à senilidade, a copa é a primeira a sofrer. O primeiro estágio nesta sucessão seria provavelmente, copas múltiplas. Nos estágios seguintes um ou mais dos grandes galhos fenecem ou quebram. SWELLENGREBAL<sup>84</sup> também concluiu, que o diâmetro de copa é muito pequeno para o DAP das árvores. Em casos extremos, o que sobra da copa é tão pequeno, que nas fotografias aéreas é facilmente encoberto por outras copas. Notou também, que as copas das árvores pequenas são em algumas vezes, maiores que o esperado, quando não

existem outras árvores em competição.

Resultados que evidenciam ser a regressão melhor ajustada por uma linha reta, também foram descritos por LUNA<sup>52</sup>, para espécies do bosque de Caimital, Venezuela, por AVERY<sup>8</sup>, que confeccionou tabela de volume composto por folhosas do sul dos Estados Unidos, por KRAJICEK et al.<sup>49</sup>, em matas naturais (cujas copas não estavam entrelaçadas) de *Quercus alba*, *Quercus velutina* e *Carya ovata* e por VEZINA<sup>86</sup> para povoamentos de *Abies balsamea* e *Picea glauca*.

CUPTA<sup>34</sup> concluiu para povoamentos de *Tectona grandis*, que o melhor ajuste foi a equação da forma  $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$ , ressaltando porém, que a medição do diâmetro da copa em fotografias aéreas na amostra considerada (18000 ha), frequentemente mostra uma correlação não significativa com o DAP, altura ou volume, e pode ser omitida em determinados casos.

MINOR<sup>59</sup> encontrou que a relação DAP/DC é levemente curvilínea, mais aproxima-se em forma de uma linha reta. Assim, o modelo  $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$  expressa bem a relação das duas variáveis quando as copas são pequenas ou médias (entre 1,5 e 6,0 m). Acima de 6,0 m, os dados apresentam tendência a uma inclinação gradual até que o DAP aumenta levemente, exceto para diâmetros de copas grandes. Alerta ainda que esta tendência também pode surgir devido a um número insuficiente de dados de copas e diâmetros maiores.

Já HOLLERWÖGER<sup>41</sup>, para florestas de *Tectona* sp. em Java, concluiu que nos povoamentos maduros desta espécie, não existe relação direta entre os diâmetros da copa e do tronco. Sugere que isso se deva ao fato de que a *Tectona* sp. atinge seu diâmetro de copa máximo numa idade em que o DAP ainda es

tã aumentando bastante, em árvores velhas as copas podem co-  
meçar a diminuir, enquanto que o DAP pode ainda aumentar. Con-  
cluiu também que para povoamentos jovens foi encontrada uma  
correlação alta para  $DAP/\overline{DC}$ . Nos povoamentos maduros, encon-  
trou alta correlação entre DAP e altura total da árvore.

BONNOR<sup>16</sup>, para a confecção da tabela de volume para  
*Pinus resinosa*, selecionou como a melhor equação para esti-  
mar o diâmetro do tronco:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} \cdot H + b_2 \overline{DC} + b_3 H$$

Também visando estimativa do DAP, BONNOR<sup>15</sup> concluiu  
que equação da forma:  $DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \times \overline{DC}$  foi a  
melhor para quatro espécies de coníferas (*Pinus strobus*, *Pi-  
nus banksiana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*) e cinco espé-  
cies de folhosas: *Betula alleghaniensis*, *Betula papyrifera*,  
*Populus* spp., *Acer* spp. e *Fagus* spp. A mesma equação foi in-  
dicada por DILWORTH\* citado por ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>.

DAWKINS<sup>25</sup> sugere que, para determinadas espécies e con-  
dições de sítio, a relação pode ser mais aproximada por:

$$\overline{DC} = b_0 + b_1 DAP + b_2 H$$

analisando que nestas espécies, para um determinado diâmetro,  
as árvores mais altas têm copas menores que aquelas de altu-  
ra mais reduzida. Deduz que tal situação decorre de que nem  
sempre sítios de alta qualidade são capazes de produzir, pa-  
ra diâmetros específicos, altas densidades em área basal, não  
obstante apresentem grandes alturas médias.

Jã outros autores preferem considerar a área e não o

\* DILWORTH, J.R. The use of aerial photographs in cruising second-growth Douglas fir stands. Washington, Univ. of Washington, 1956. Thesis. Ph.D.

diâmetro de copa como a variável mais altamente correlacionada com o DAP e volume. ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup> selecionaram para a estimativa do DAP as equações:

$$DAP = b_0 + b_1 H \log AC$$

$$DAP = b_0 + b_1 H \sqrt{AC}$$

$$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 \sqrt{AC}$$

BONNOR<sup>15</sup> considerou as variáveis Área de copa e altura para a estimativa do DAP. A melhor correlação encontrada foi o produto da altura (H) pela área de copa (AC). O erro padrão da estimativa para *Pinus* sp, *Picea* sp e folhosas e estudadas foi de aproximadamente 2 cm. O modelo foi:

$$DAP = b_0 + b_1 H \times AC$$

As tendências, segundo o autor, expressas como proporção do diâmetro médio, foram de 3,5%. A uniformidade nos erros sistemáticos sugere que fatores como determinação incurada de escala, operadores ou instrumentos, podem ter sido responsáveis por tais erros.

SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED<sup>72</sup> utilizaram a seguinte metodologia para a estimativa do diâmetro do tronco e volume: no campo, medição de árvores maiores que um determinado DAP (não especificado). Estas árvores foram numeradas, realizada a identificação da espécie e as medições. Tais medições foram somados para produzir o volume por unidade de área.

A equação selecionada para a estimativa do DAP foi:

$$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 AC$$

Surpreendentemente, segundo o autor, a mesma equação foi a que melhor se apresentou para a estimativa do volume.

Algumas das equações apresentadas possuem certa semelhança, se considerarmos que:

$$AC = \frac{\pi(\overline{DC})^2}{4}$$

ou, se for assumido que a forma da copa é circular com área calculada a partir do diâmetro médio da copa.

## 2.9. ESTIMATIVA DO VOLUME

Segundo BONNOR<sup>16</sup> e ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, para se construir tabelas de volume de árvores individuais, um dos seguintes métodos podem ser utilizados:

1) obtenção no campo do volume individual, assim como de variáveis que possam ser medidas ou estimadas nas fotografias aéreas. Aplicação dos dados de análises de regressão múltipla e seleção de variáveis que melhor se correlacionam com o volume; subsequentemente, constituição da tabela com base na melhor equação de regressão.

SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED<sup>71</sup> consideram que o volume de árvores individuais é obtido mais precisamente quando diretamente estimado através das fotografias aéreas e não por meio da estimativa do DAP. Este provavelmente é um caminho que deva ser seguido em trabalhos com o mesmo objetivo deste. As variáveis preconizadas para a estimativa do volume, podem ser definidos como:

H - altura total

$\overline{DC}$  - diâmetro de copa

AC - área de copa

P - a proporção da área de copa que é recoberta

pela projeção vertical da copa de outra árvore.  
 Nh - o número de árvores que vegetam em uma área circular que envolve a árvore em consideração, com raio igual à altura desta árvore.

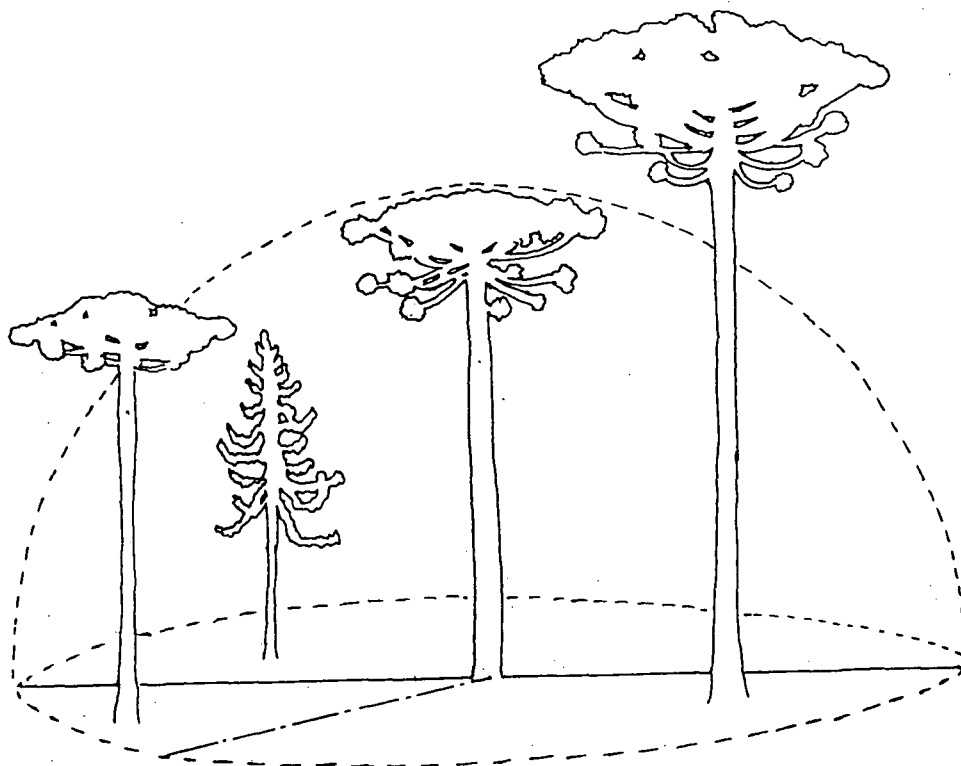


Figura 06: Nh - Variável a ser considerada em estimativas do volume individual.

Nm - o número "m" de árvores vizinhas que são menores que a árvore em questão (Figura 7).

A - o número de copas de árvores que se encontram dentro de um ângulo maior que um pré-fixado (por exemplo  $20^{\circ}$ ), o qual parte do centro da árvore sob consideração (Figura 8).

Tais variáveis como P, Nh, Nm, e A são passíveis de interpretação apenas em fotografias aéreas de escala grande. No presente trabalho, porém, não foram interpretadas em fun

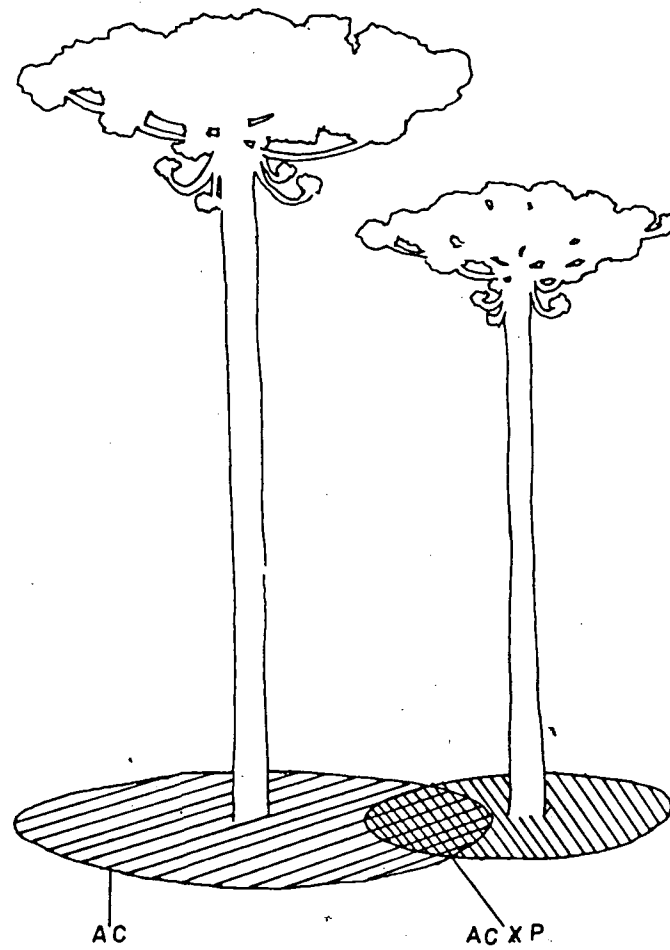


FIGURA 07:  $N_m$  - variável a ser considerada em estimativas do volume individual.

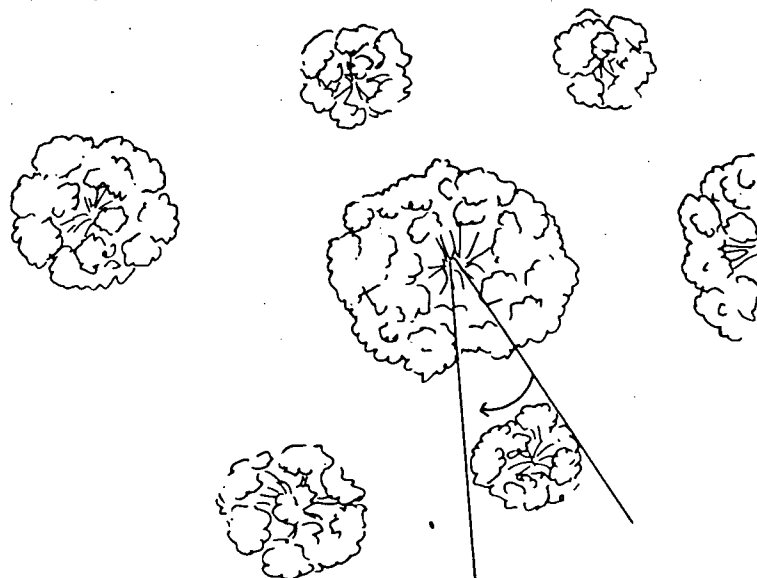


FIGURA 8 - A - Variável a ser considerada em estimativas do volume individual.



ção da escala utilizada 1:10000 ter sido pequena demais para sua introdução.

2) obtenção no campo do diâmetro a altura do peito e de outras variáveis que possam ser medidas (ou estimadas) nas fotografias aéreas. Através de regressão múltipla, seleção das variáveis que melhor se correlacionam com o DAP. Através deste, da altura (H) e da tabela de volume já existente, construção da tabela de volume individual através de fotografias aéreas.

A segunda aproximação tem sido a mais utilizada, mas se o objetivo for a construção de uma tabela de volume, os mesmos deverão ser obtidos no campo pela cubagem das árvores (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>).

Os mesmos autores sugerem que o procedimento para análise das equações é o análogo ao usado na estimativa do DAP. Os modelos:

$$\hat{V} = b_0 + b_1 H \log AC + b_2 Nh$$

$$\hat{V} = b_0 + b_1 H \log AC$$

$$\hat{V} = b_0 + b_1 H + b_2 \sqrt{AC} + b_3 \sqrt{AC}$$

foram testados. A variável Nh refere-se a uma relação subjetiva com as árvores vizinhas.

Os mesmos autores, SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED<sup>72</sup> realizando estudos em uma floresta mista típica (coníferas e folhosas) relacionaram dezessete combinações de variáveis mensuráveis nas fotografias aéreas. Destas, através do processo stepwise foram selecionadas:

*Picea glauca* - H x log AC, H x AC, AC

*Pinus strobus* - H x log AC

Folhosas -  $H \times \log AC, AC$

O modelo que melhor relacionou estas variáveis foi:

$$\hat{V} = b_0 + b_1 H + b_2 H\sqrt{AC} + b_3 AC$$

BONNOR<sup>17</sup> selecionou como melhor equação:

$$\hat{V} = b_0 + b_1 H\sqrt{AC} + b_2 \sqrt{AC}$$

em Inventário Florestal realizado na Nova Escócia. Foram realizadas estimativas para três grupos de espécies e quatro estratos. O sistema utilizado foi Amostragem em dois estágios usado em conjugação com equações de volume por fotografias aéreas.

ALDRED & KIPPEN<sup>2</sup>, após estimarem o DAP através da área de copa e altura, utilizaram-se para a estimativa do volume de tabela anteriormente construída. Como resultado encontraram que os volumes/parcela, para todos os grupos de espécies foram subestimados. Concluiu que grande parte deste resultado deve ser atribuído à subestimativa do DAP, já que a outra variável envolvida, a altura, foi medida com erros quase nulos. As fotografias aéreas utilizadas foram tomadas na escala 1:1200.

Também AVERY<sup>8</sup> ao construir uma tabela de volume composta através de fotografias aéreas para o gênero *Pinus* do Sul dos Estados Unidos, utilizou-se de tabela de volume anteriormente construída para a estimativa do volume.

BONNOR<sup>16</sup>, também construiu uma tabela de volume baseada em metodologia similar às acima citadas. Para testar a tabela confeccionada, novos dados foram coletados. Erros da ordem de  $\pm 84$  pés cúbicos ( $2,3 \text{ m}^3$ ) foram encontrados.

## 2.10. ESPÉCIE FLORESTAL EM RELAÇÃO À SUA IDENTIFICAÇÃO EM FOTOGRAFIAS AÉREAS

O pinheiro do Paraná é uma espécie cuja identificação nas fotografias aéreas, torna-se particularmente facilitada em função de alguns aspectos que, reunidos, contribuem para que seja ela distinguida das outras espécies da associação natural.

GLERUM & HEINSDIJK<sup>29</sup>, realizando um trabalho em Santa Catarina, com fotografias aéreas na escala de 1:25000, comentam que - nesta escala foi fácil distinguir os grandes pinheiros cujas copas aparecem em forma de disco, como pontos distintos em cinza, facilmente visíveis mesmo quando fortemente entrelaçados com espécies folhosas.

No Inventário do Pinheiro do Paraná<sup>20</sup>, realizado com fotografias aéreas na escala aproximada de 1:70000, foram delineados os tipos de vegetação e a conclusão sobre sua delimitação foi de que a diferença entre florestas pluviais tropicais e sub-tropicais e as florestas de Araucaria que ainda não foram tocadas pelo homem é muito típica devido a formação especial das copas das árvores de Araucaria.

Os aspectos que tornam a *Araucaria angustifolia* identificável em relação às outras espécies que compõe a mata de Araucaria podem ser enumerados como:

a) Estruturação dos galhos: a relação entre os galhos e a copa do pinheiro parece acidental, raras vezes torcidos ou desviados da linha horizontal enquanto que em outras espécies eles (os galhos) são como que um desdobramento do caule. (RAMBO, citado por REITZ & KLEIN<sup>67</sup>).

b) Estrutura da copa: nesta espécie ela se apresenta como um candelabro, dando por resultado final a umbela qu se horizontal (RAMBO, citado por REITZ & KLEIN<sup>67</sup>).

Nas fotografias aéreas sua identificação é facilita da pelo fato que:

- 1) os galhos partem do tronco em verticilos;
- 2) os ramos se condensam nas pontas dos galhos, nova mente em verticilos;
- 3) as últimas ramificações, nos ramos, repetem a mes ma disposição;

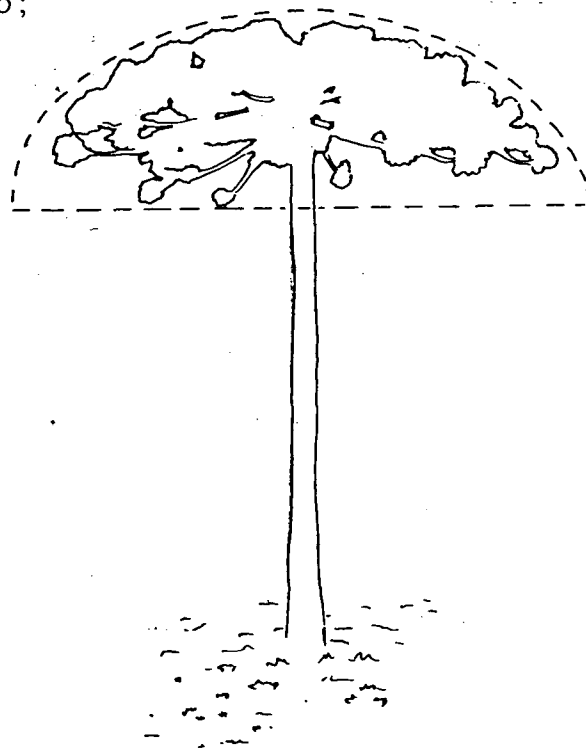


Figura 9: Forma da copa da *Araucaria angustifolia*

4) as folhas cercam os ramos em todas as direções, com grande regularidade.

c) Tonalidade: o verde escuro, quase preto da folha gem, é absolutamente peculiar, já que a água é um fator limitante no que concerne à maior ou menor quantidade de energia refletida pelas

\* GANTZEL, O.L. Avaliação das florestas de Araucaria angustifolia do Sul do Brasil, através de imagens do Satélite LANDSAT II. Curitiba, U.F.Pr. Tese de Mestrado 1979

coníferas e folhosas. Assim, supõe-se que o Pinheiro é uma espécie caracteristicamente não-suculenta; as acículas provavelmente possuem porcentagem de água pequena, parênquima paliçádico bastante desenvolvido e um mesófilo sem ou com poucos vacúolos e muita lignina\*.

d) Estrato sociológico: temos como característica das matas pretas, o fato de o Pinheiro formar o andar superior como elemento exclusivo (REITZ & KLEIN<sup>67</sup>).

Assim, nas fotografias aéreas o Pinheiro também se sobressai em relação às outras espécies, tornando possível a medição de suas copas.

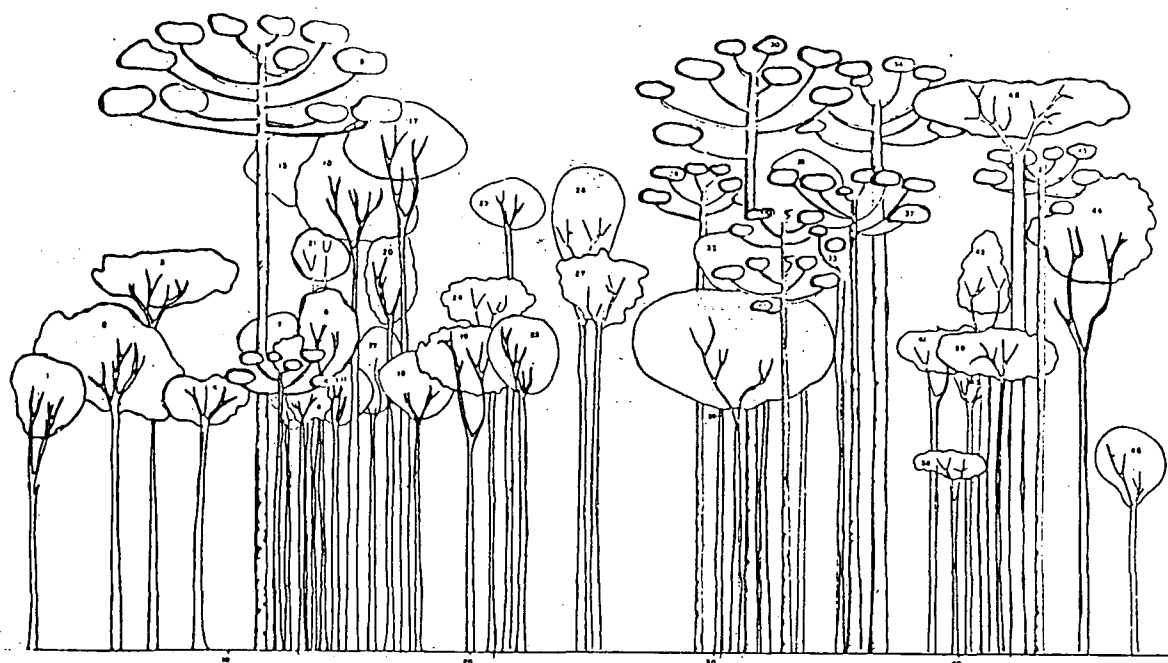


Figura 10: Posição sociológica da *Araucaria angustifolia*

## 2.11. AMOSTRAGEM

Segundo COCHRAN<sup>22</sup> a amostragem inteiramente aleatória é um processo de seleção de n unidades de amostra das N exis

tentes sendo que todas as n sempre teriam a mesma chance de serem escolhidas.

Quando se trata de amostragem de árvores individuais através de fotografias aéreas, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN<sup>4</sup>, comentam que tal método pode ser utilizado já que o critério prévio é indispensável é que as árvores sejam visualizadas nas fotografias aéreas, isto é, próximas às extremidades da floresta em clareiras.

## 2.12. COMPETIÇÃO DE COPAS - UM AVALIADOR DA DENSIDADE

A densidade de copas ou "crown density" é definida como a compacidade de copas de árvores em uma unidade de amostra quando da observação estereoscópica de um par de fotografias aéreas. Geralmente é expressa em porcentagem\*.

É comumente utilizada pelos pesquisadores do campo florestal como a relação entre o número de árvores (ou valores volumétricos) e a unidade de área considerando usualmente o hectare.

Portanto, a densidade seria utilizada para auxiliar na determinação do máximo espaço que a árvore média do povoamento poderia compor. Conseqüentemente também pode ser usada para determinar o espaço mínimo de tal árvore (KRAJICEK<sup>49</sup>).

Dentro deste conceito, segundo o autor (KRAJICEK<sup>49</sup>), pode-se manter a densidade completa utilizando assim a capacidade máxima do sítio para produzir um determinado volume.

\* ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES PARA PADRONIZAÇÃO DA TERMINOLOGIA FLORESTAL, 1., Curitiba, 1976. Curitiba, FIEP, 1976.

Assim, segundo VEZINA<sup>86</sup>, pode-se dispor de índices que possam contribuir para o maior desenvolvimento e conhecimento da produtividade de povoamentos florestais, como para controle do estoque ou densidade e determinação de graus e tipos de desbaste.

A determinação da relação espaço de crescimento/tamanho da árvore é complexa em função de efeitos da densidade anterior.

KRAJICEK<sup>49</sup> menciona que não obstante se tenha conhecimento da competição das árvores pela umidade e luz, é impraticável medir-se o grau e relacionar-se o tamanho do sistema radicular em função dos diversos graus de competição entre tais árvores. Mas KRAJICEK<sup>49</sup> comenta que é provável que a área de copas possa ser um indicador da área do sistema radicular e conseqüentemente um indicador da competição subterrânea.

Segundo SILVA<sup>76</sup>, as superfícies e comprimentos das copas, associadas às condições do meio, possibilitam ainda explicar a produção e o incremento de madeira.

O desenvolvimento do AMC (Área Máxima de Copa) é uma aplicação de trabalhos desenvolvidos pela "Central States Forest Experiment Station" em Iowa, EUA, e publicado por KRAJICEK et al.<sup>49</sup>. Posteriormente tal índice foi testado por outros investigadores, entre eles VEZINA<sup>86</sup>.

Embora, segundo KRAJICEK<sup>49</sup> tenha sido desenvolvido para povoamentos equianos, pode igualmente ser utilizado para florestas nativas, já que o método ajusta as variações em distribuição dos diâmetros e o espaço de copa potencial requerido para árvores individuais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS LOCAIS

Constituída pela vegetação de mata pluvial subtropical de Araucaria, apresenta as espécies da associação natural do pinheiro (*Araucaria angustifolia*), como as canelas (*Ocotea* sp., *Nectandra* sp), as diferentes mirtáceas comumente denominadas de guamirim (*Myrcia* sp), as guaçatungas (*Casearia* sp), as caporocas (*Rapanea* sp), o juvevê (*Fagara* sp), o pinho-bravo (*Podocarpus lambertii*), as guabirobas (*Campornanesia* sp), pessegueiro-bravo (*Prunus brasiliensis*), a erva-mate (*Ilex paraguariensis*), vacum, cuvitinga, pimenteira, etc...

Presente também as espécies pioneiras características de matas semi-devastadas ou seja, a canela-sebo (*Ocotea puberula*), o vassourão-preto (*Vernonia discolor*).

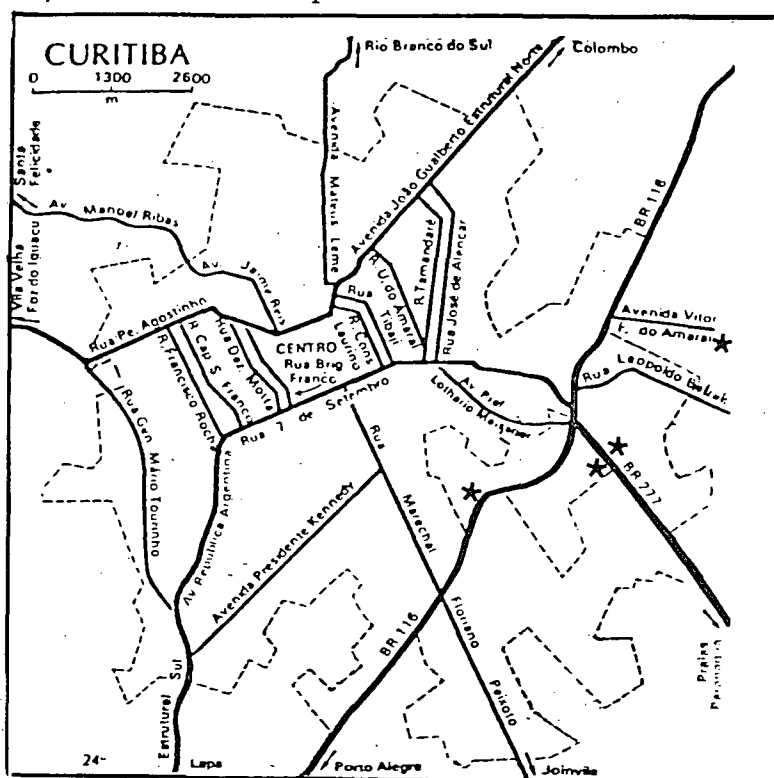


Figura 11: Locais de coleta de dados (\*)



A coleta de dados, foi executada no município de Curitiba, localizado entre  $25^{\circ}25'$  e  $25^{\circ}30'$  de latitude sul e  $49^{\circ}11'30''$  e  $49^{\circ}15'45''$  de longitude oeste. A altitude média de Curitiba é de 908 m, segundo o Anuário Estatístico-DEE, 1977. A altitude local está entre 915 e 945 m. (Folhas da COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba, 1976).

Segundo o Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, a Temperatura Média das máximas no mês mais quente é de  $26,3^{\circ}\text{C}$ , a Temperatura Média Anual é de  $16,5^{\circ}\text{C}$  e a Temperatura Média das Mínimas, no mês mais frio é de  $7,9^{\circ}\text{C}$ , com precipitação média anual de 1412,7 mm.

Segundo HUECK<sup>42</sup>, que considerou o diagrama de Curitiba como típico para a região da *Araucaria*, a temperatura média anual é de  $16,2^{\circ}\text{C}$  e a precipitação média/ano de 1373 mm.

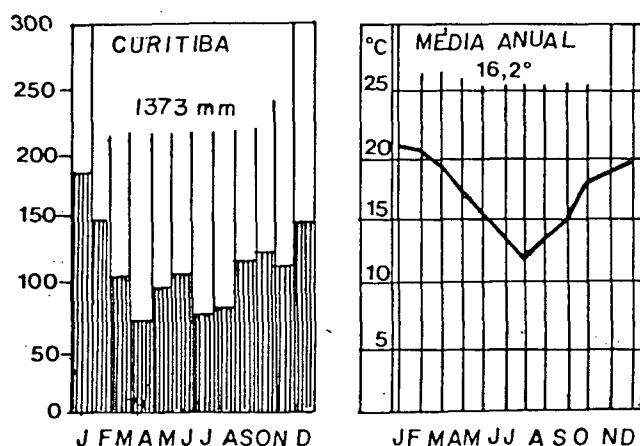


Figura 12: Diagrama de Curitiba.

No local onde a coleta de dados foi realizada, os solos são argilosos:

a) residuais quando decompostos das rochas arqueanas;

b) de "Diluvium", isto é, quando formados pelos sedimentos recentes que ali foram depositados no plistocênio ou no fim do terciário (OLIVEIRA<sup>41</sup>).

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

As fotografias aéreas utilizadas para o presente trabalho foram tomadas em outubro de 1978, aproximadamente 15 meses antes da coleta de dados no campo. A escala aproximada é de 1:10000 com recobrimento longitudinal (overlap) de cerca de 60%; aproximadamente 30% de recobrimento lateral (sidelap) e com dimensões de 23 x 23 cm.

Para tais fotografias foi utilizado filme pancromático e a distância focal foi de 152.94 mm.

O material utilizado constitui-se de 3 faixas, recobrimdo grande parte da Região Metropolitana de Curitiba. De posse do foto-índice, foram selecionados os locais utilizando-se finalmente as fotografias de números 43, 44 e 45 da faixa 2 e as de nº 60, 61 e 62 da faixa 3.

### 3.3. AMOSTRAGEM

O método de amostragem utilizado foi inteiramente aleatório, com o intuito de dar um caráter de independência em termos de área a ser amostrada.

Porém, dentro da área florestal amostrada, a coleta de dados assumiu um caráter seletivo, em função da necessidade de se incluir na amostragem somente árvores que tivessem chance de ser visualizadas nas fotografias aéreas, por

suas dimensões, posição sociológica e estrutura local em relação à densidade.

SCHMIDT e BRUCHWALD ambos citados por SCHNEIDER<sup>73</sup> consideram que são necessárias de 20 a 50 árvores para se obter uma boa estimativa das variáveis dependentes e alcançarse uma precisão suficiente nas estimativas. No presente trabalho, 196 árvores foram medidas no campo.

#### 3.4. POPULAÇÃO ESTUDADA

A população florestal escolhida para a execução deste trabalho foi definida como sendo povoamentos pouco densos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze, encontrados no município de Curitiba.

As árvores medidas, normalmente vegetavam nos bordos dos capões ou próximas a clareiras, possibilitando a medição de copas e a visibilidade do solo, para a medição das alturas. Houve casos em que as árvores medidas encontravam-se praticamente isoladas ou próximas a outros pinheiros, também medidos.

Inicialmente foram inspecionados vários locais (cobertos por fotografias aéreas) para a escolha dos que melhor se apresentassem para a execução do trabalho, isto é, com densidade não muito alta e com um número de pinheiros no estrato superior suficiente para a análise de dados. Destes, foram escolhidos 4 locais, todos bastante próximos e localizados nos arredores do Campus da Universidade Federal do Paraná (Centro Politécnico).

De posse das fotografias aéreas, efetuou-se a identificação das árvores no campo. Depois de identificadas, foram enumeradas com plaquetas de alumínio, prevendo-se retornos ao local, caso houvesse dúvidas sobre sua exata localização. Aconteceram, por vezes, 3 a 4 incursões a locais onde a identificação apresentava-se confusa.

Concomitantemente ao levantamento, era desenhado um croquis de campo, com a numeração das árvores e localização de acidentes geográficos como cursos d'água, elevações, assim como rodovias, estradas secundárias, casas, enfim todo e qualquer elemento que pudesse auxiliar na exata localização da árvore.

### 3.5. COLETA DE DADOS

Foram coletados dados de 196 árvores dentro de toda a amplitude de variação diametral, partindo-se de um diâmetro mínimo de 20 cm (e máximo de 87 cm).

Tal coleta foi realizada de maneira prática, sendo medidas as árvores que vegetassem em locais de fácil visualização para medição posterior nas fotografias aéreas, preferindo-se árvores próximas a clareiras ou praticamente isoladas.

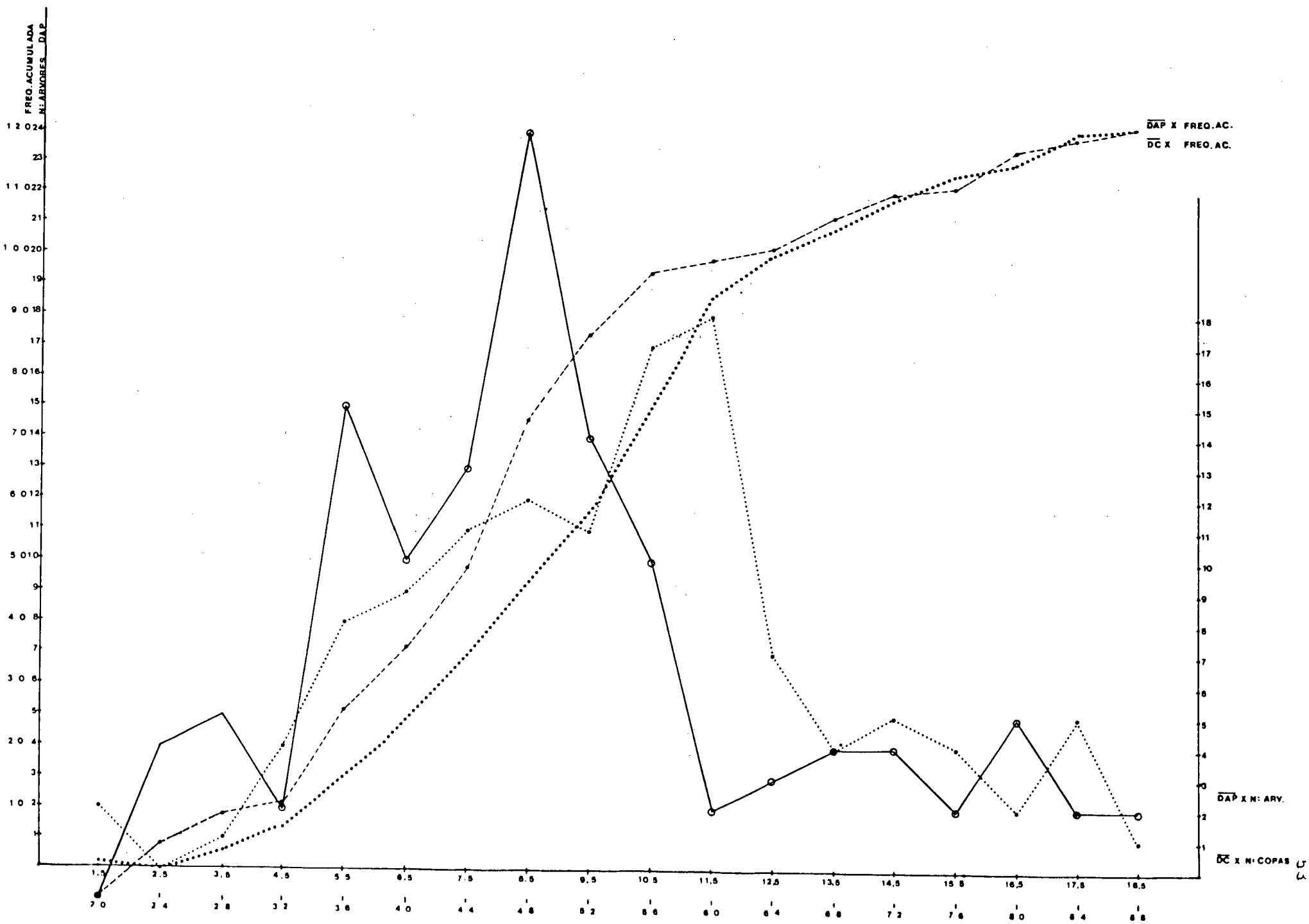
Em cada um dos quatro locais selecionados, foram feitas medições no campo e nas fotografias aéreas.

### 3.6. VARIÁVEIS MEDIDAS NO CAMPO

#### 3.6.1. MEDIÇÃO DO DAP (DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO)

Estas medições foram realizadas a 1,30 m do solo, com

FIGURA 13: Curva de frequência e frequência acumulada para classes de DAP e Diâmetro de Copa (DC).



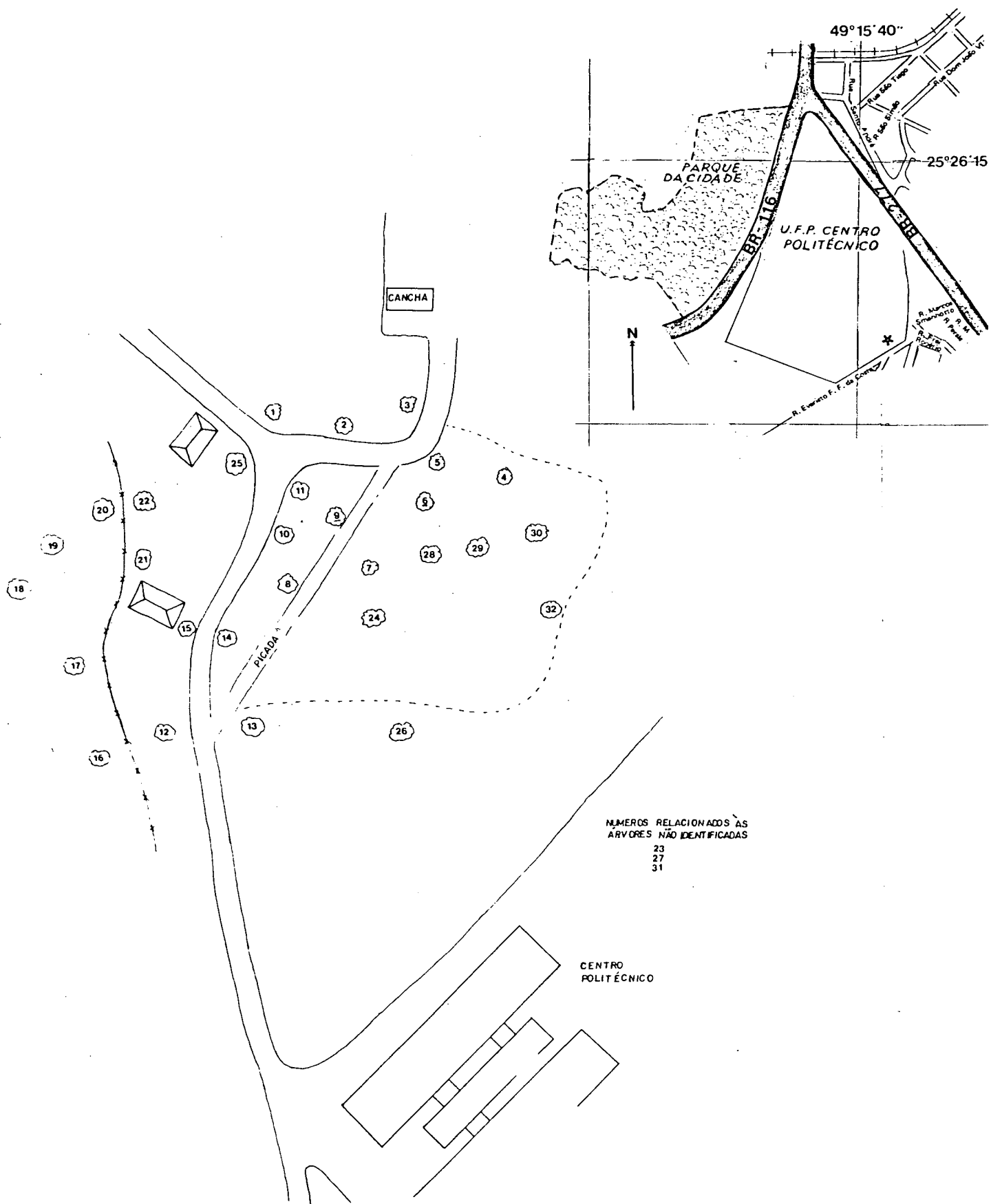
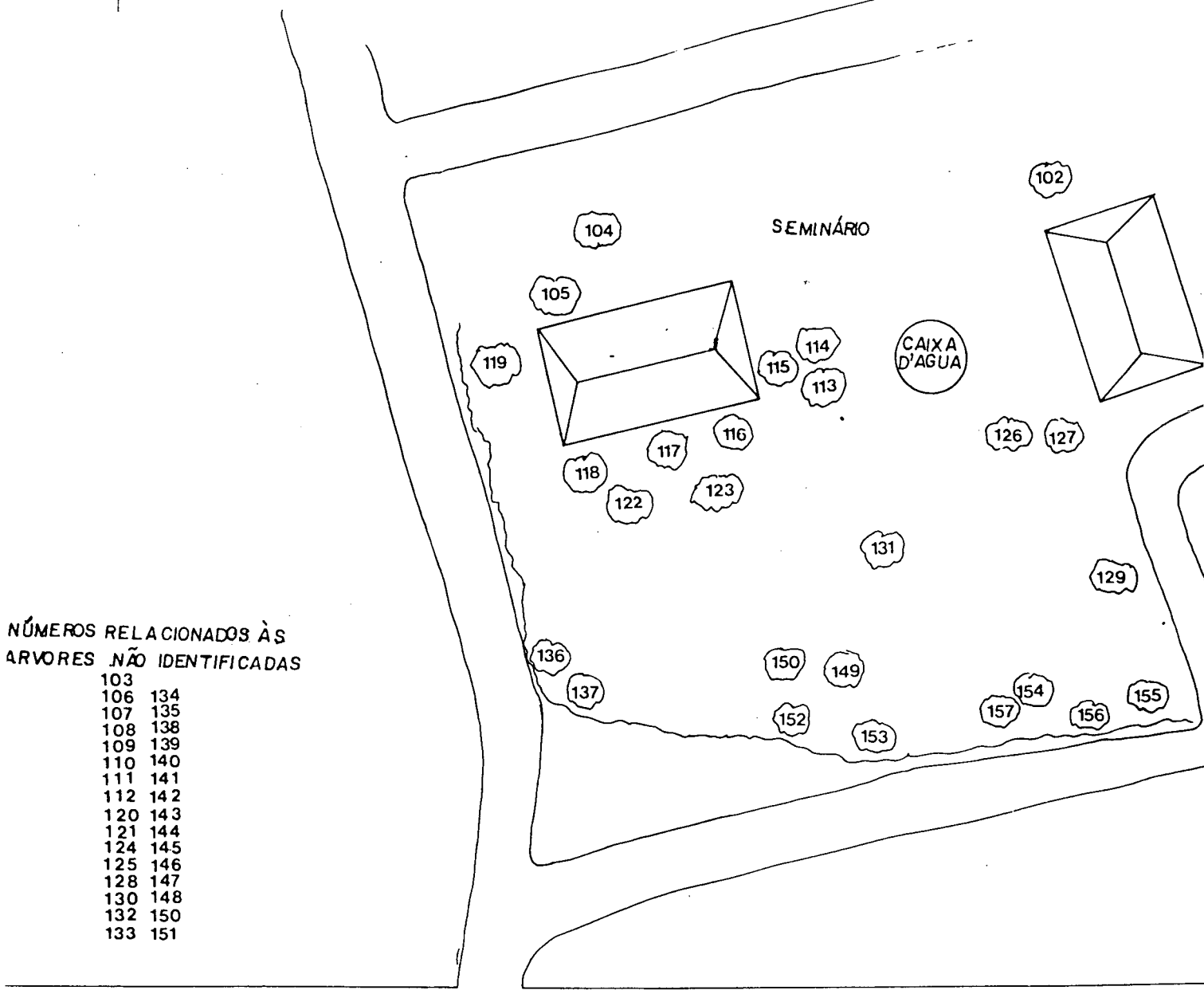
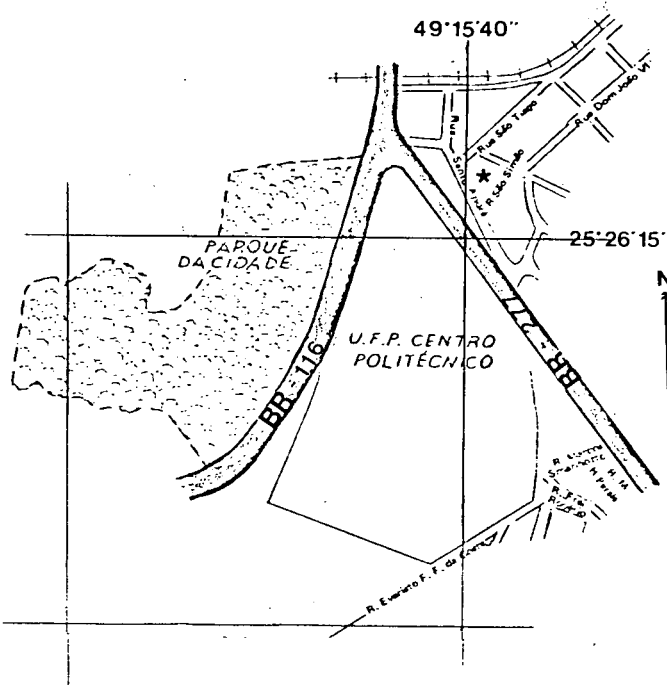


FIGURA 14: Croquis de campo para coleta de dados(\*)

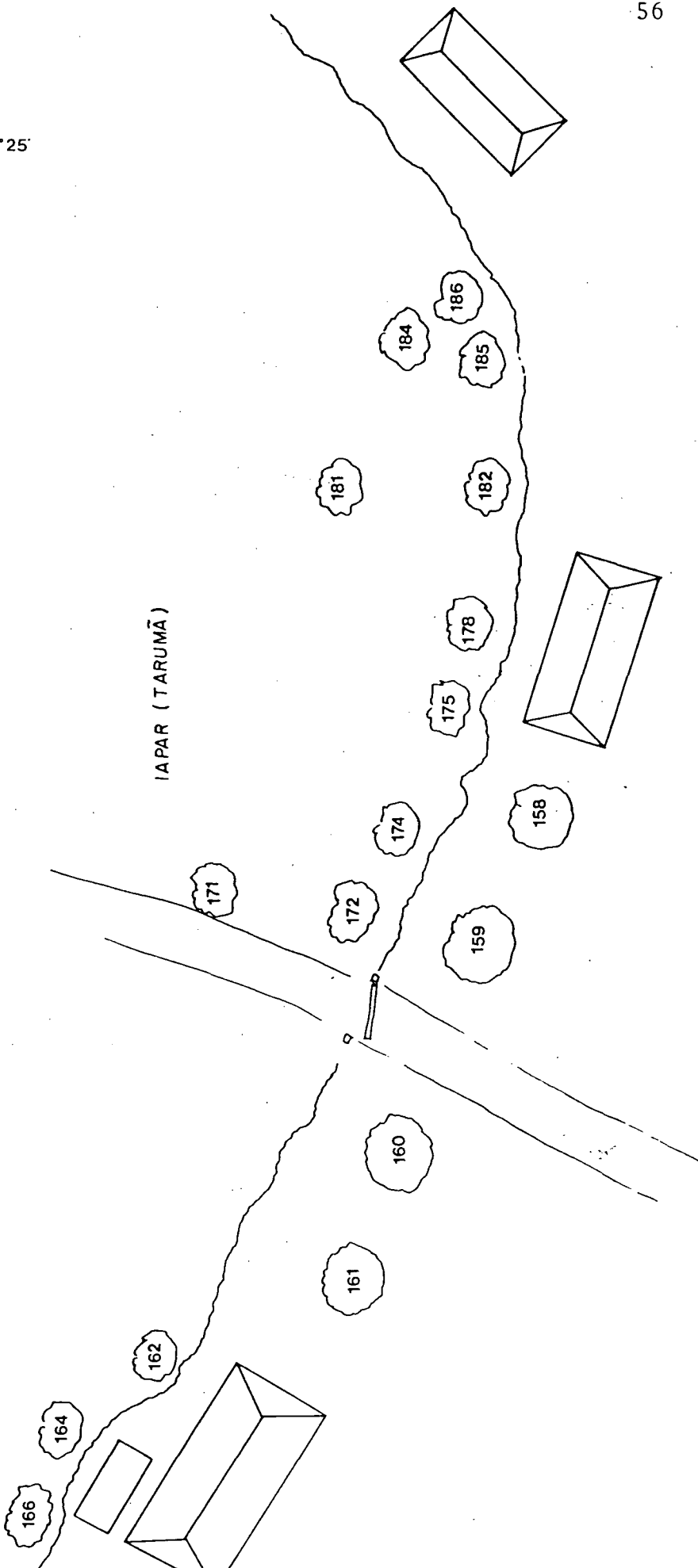
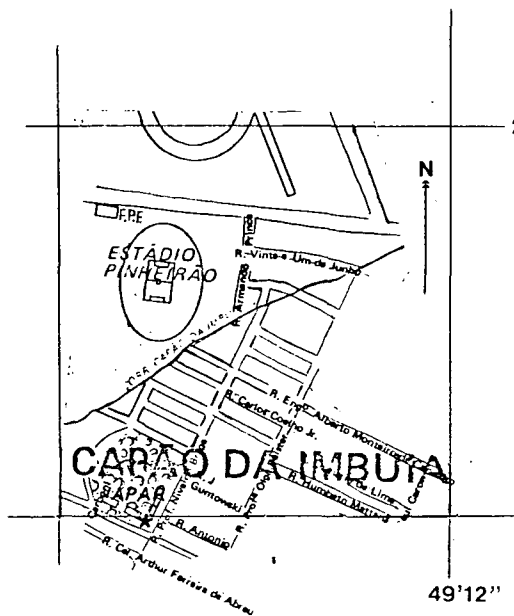


NÚMEROS RELACIONADOS ÀS  
ARVORES NÃO IDENTIFICADAS

- 103
- 106 134
- 107 135
- 108 138
- 109 139
- 110 140
- 111 141
- 112 142
- 120 143
- 121 144
- 124 145
- 125 146
- 128 147
- 130 148
- 132 150
- 133 151

BR-277

FIGURA 15: Croquis de campo para coleta de dados (\*)



NÚMEROS RELACIONADOS ÀS  
 ÁRVORES NÃO IDENTIFICADAS

- 163 183
- 165 187
- 167 188
- 168 189
- 169 190
- 170 191
- 173 192
- 176 193
- 177 194
- 179 195
- 180 196

FIGURA 16: Croquis de campo para coleta de dados (\*)



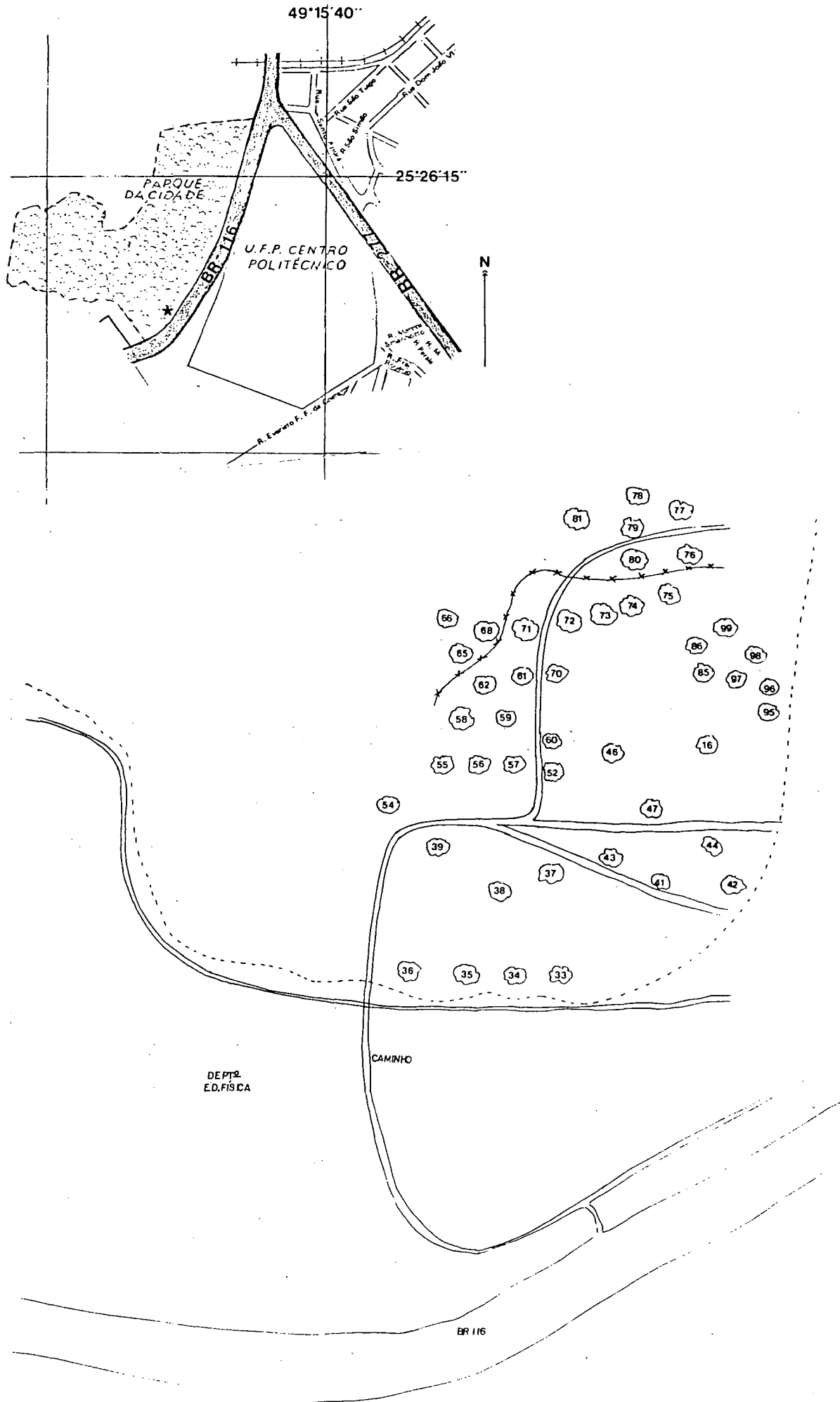


FIGURA 17: Croquis de campo para coleta de dados (\*)

fita diamétrica.

### 3.6.2. MEDIÇÃO DA ALTURA TOTAL

A altura total foi medida em todas as árvores "selecionadas", com hipsômetro de Blumn-Leiss.

### 3.6.3. MEDIÇÃO DA ALTURA COMERCIAL

A altura comercial foi considerada como a parte do tronco livre de galhos e também medida com o hipsômetro de Blumn-Leiss.

### 3.6.4. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA

A medição do diâmetro de copa no campo, foi realizada segundo metodologia preconizada por CURTIS & REUKEMA<sup>24</sup> e SILVA<sup>76</sup>. Objetivando a maior precisão possível, mediu-se 8 raios (comprimento dos galhos), tentando-se manter entre tais raios, um ângulo de 45°.

Um observador colocava-se sob a copa da árvore ao lado do centro do fuste, de onde partia a trena e outro observador media o galho no ponto correto, puxando-a até localizar-se aproximadamente no ponto que continua a linha vertical que passava pela extremidade do galho até o solo. Esta medida, era anotada em formulário especial que se encontra no apêndice.

Cabe ressaltar que, nem sempre foi possível realizar 8 medidas de cada copa, em função de fatores diversos, como:

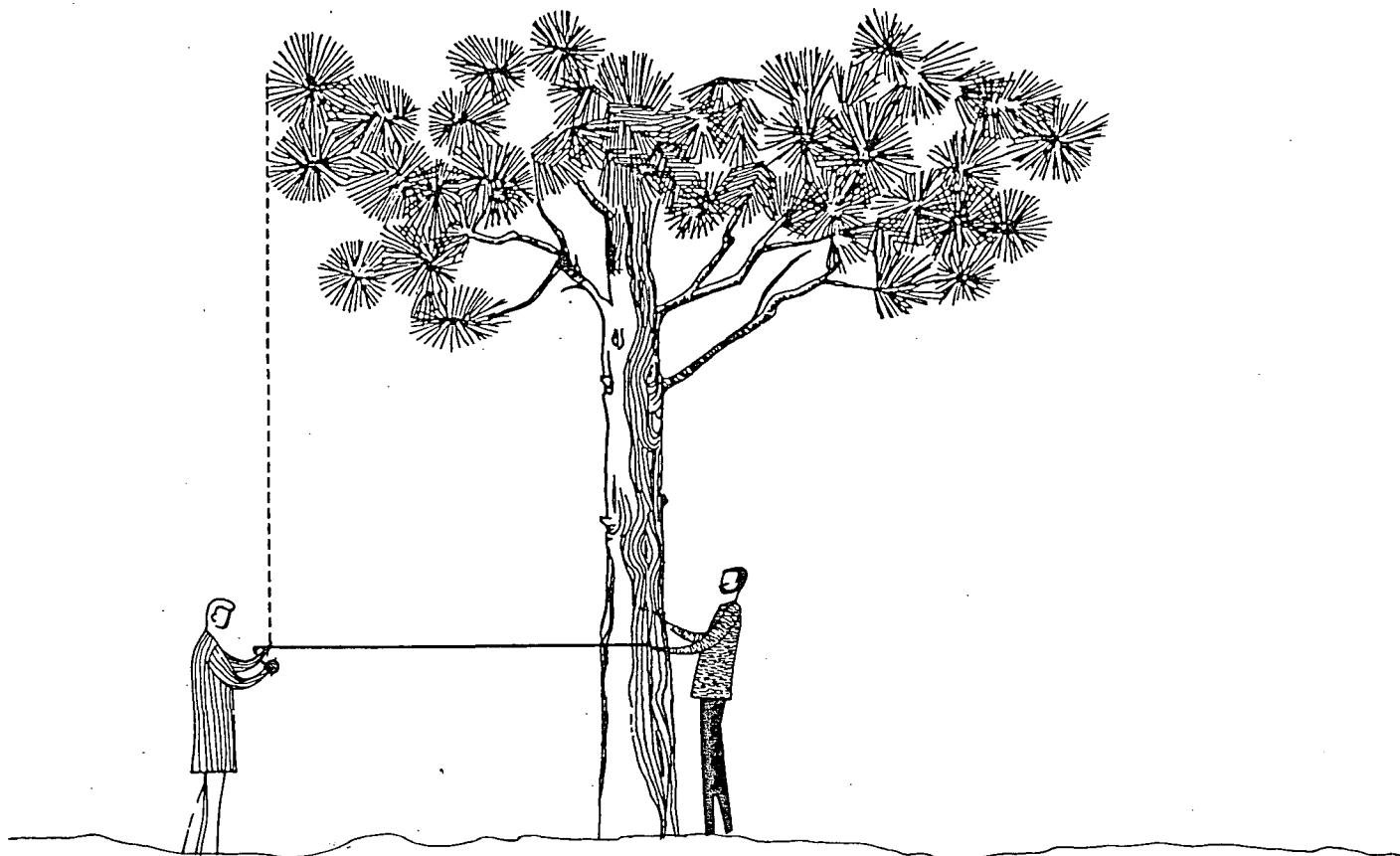


FIGURA 18: Esquema da medição de diâmetro da copa no campo.

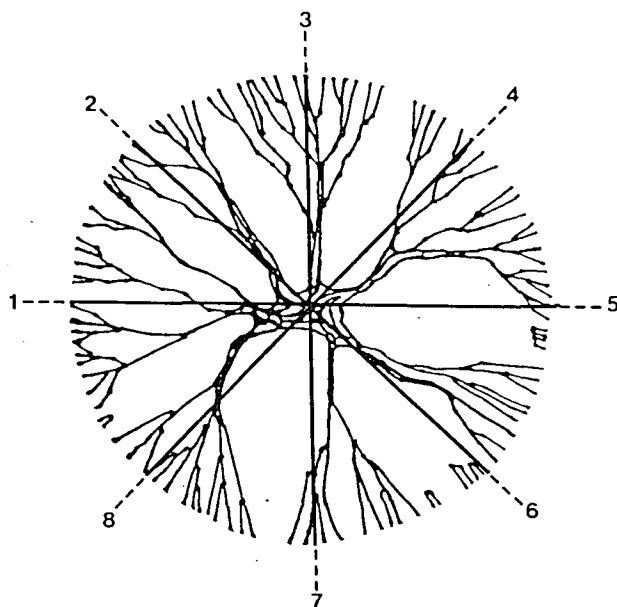


FIGURA 19: Medições realizadas nas copas.

DAP C/C	ALTURA (M)															SOM
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
20			1	1						1						3
24			2				2									4
28				2		2					1					4
32						1		2				1				4
36	1	1		1	1	4	2	5	1							16
40		1	1	3	1	2	1		3							12
44				1		2	7	2	3		1					16
48			1	1	2	2	6	2	4	2		1				21
52						3	2	1	4	2						12
56					1	1		3	2							7
60							1		1							2
64							1			2						3
68						1	1	1	2							5
72											1					1
76									1	3		1			1	6
80										1			1			2
84									1	1			1			3
SOM	1	2	5	9	5	18	23	16	22	12	3	2	2	0	1	121

QUADRO 02. Distribuição das árvores de Araucária angustifolia em classe de diâmetro e altura.

entrelaçamento da vegetação inferior e presença de árvores que impediam a perfeita visualização da copa. Quando isto acontecia, eram anotadas as medições possíveis num número mínimo de 6.

### 3.7. CÔMPUTO DO VOLUME NO CAMPO

Como no campo não foi calculado o volume real, isto é, cubagem das árvores amostradas, utilizou-se neste trabalho, como volume comparável ao das fotografias aéreas o apresentado em tabelas de volume por SIQUEIRA<sup>74</sup>. Tais tabelas, para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia*, são apresentadas para três regiões de cada Estado do sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

A equação utilizada foi a determinada para São João do Triunfo, localizada a 25°41' de latitude S e 50°11' de longitude W, sendo:  $V = (b_0 + b_1 / (D : H) + b_2 \cdot D) \cdot D \cdot H$

Os volume obtidos através da tabela, foram comparados aos obtidos por regressões nas fotografias aéreas.

### 3.8. VARIÁVEIS MEDIDAS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Como se trata de medições em árvores individuais, as variáveis medidas nas fotografias aéreas, foram: diâmetro de copa e altura total da árvore.

#### 3.8.1. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DE COPAS

São conhecidas várias metodologias para a medição do

diâmetro de copas, como a cunha micrômetro e escalas para diâmetro de copa (gabaritos).

No caso do presente trabalho, utilizou-se da barra de paralaxe como instrumento de medição (calibre).

Primeiramente localizou-se o agrupamento (local de estudo) no par de fotografias aéreas. O diâmetro de copas não é medido sob visão estereoscópica. Isto porque, as projeções dos galhos não são perfeitamente superpostas, dado que as fotografias foram tiradas sob ângulos diferentes.

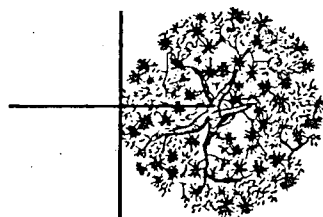


Figura 20: Esquema da medição do diâmetro de copa utilizando a barra de paralaxe.

Assim, escolhia-se a fotografia na qual a área a ser medida estivesse mais próxima do centro (PP ou ponto principal). Esta selecionada, era colocada sob o estereoscópio que, no caso foi utilizado apenas como instrumento auxiliar, na qual foi acoplada o binóculo ampliador 3 vezes (3X) em apenas uma das oculares. Um aumento maior, 8 vezes (8X) talvez tivesse sido mais conveniente, já que facilitaria a visualização e demarcação dos limites das copas, mas com o aumento 3X tal visualização não ficou prejudicada.

De posse do croquis de campo e do realizado através da fotografia aérea, isto é, com a árvore identificada, foi realizada a medição do diâmetro de sua copa, utilizando-se da barra de paralaxe e através do seguinte procedimento:

A escala vernier do aparelho foi zerada em uma marca conveniente (normalmente usa-se marcas próximas do centro para facilitar o manuseio do aparelho).

O instrumento mencionado possui 2 (dois) indicadores de vidro (marcas de medição), sendo um fixo e outro que pode ser deslocado através do parafuso micrométrico. Estes indicadores possuem marcadas em seus centros, duas marcas, ou seja, um ponto e o símbolo +. No caso da medição do diâmetro de copas, escolheu-se o símbolo +, que era colocado em um dos extremos da copa, e em seguida, o indicador de vidro era movido para o outro extremo da copa.

### 3.8.2. MEDIÇÃO DE ALTURA NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Existem muitos tipos de instrumentos, propositadamente projetados para medir as diferenças de paralaxe rapidamente e com precisão (RIZZI<sup>69</sup>). Entre eles, pode-se enumerar a cunha de paralaxe, o estereocomparâgrafo, "o'height finder", o "contour finder" e a barra do paralaxe. No presente caso, foi utilizada a barra de paralaxe por ser, juntamente com a cunha de paralaxe, o mais conhecido e usual instrumento de medição de objetos situados em diferentes alturas.

#### 3.8.2.1. PRINCÍPIOS DE USO DA BARRA DE PARALAXE

A barra de paralaxe, foi construída para ser usada com o estereoscópio de espelho; tanto que pode, em determinadas marcas (fábricas), ser fixa ao estereoscópio. Seu fun

cionamento é simples e é essencialmente constituída de um micrômetro em forma de barra, em cujas extremidades são fixadas 2 lâminas de vidro ( $A_1$  e  $A_2$ ), cada uma tendo no centro um pequeno ponto e um símbolo (+) podendo-se escolher um dos dois símbolos para efetuar as medições. Estes símbolos são normalmente denominados marcas de medição; uma dessas lâminas, ( $A_2$ ) é fixa à barra, enquanto que a outra ( $A_1$ ), pode mover-se na direção do eixo longitudinal da barra, quando se gira um parafuso micrométrico (B); desta maneira varia-se a distância entre as duas marcas de medição. O curso da barra de paralaxe, do estereoscópio TOPCON (c), é de 40 mm. O eixo guia traz as medições em milímetros (C), enquanto que o parafuso micrométrico possui divisões com intervalo de 0,05 mm (D), permitindo que se faça estimativas até a ordem de 0,03 milímetro.

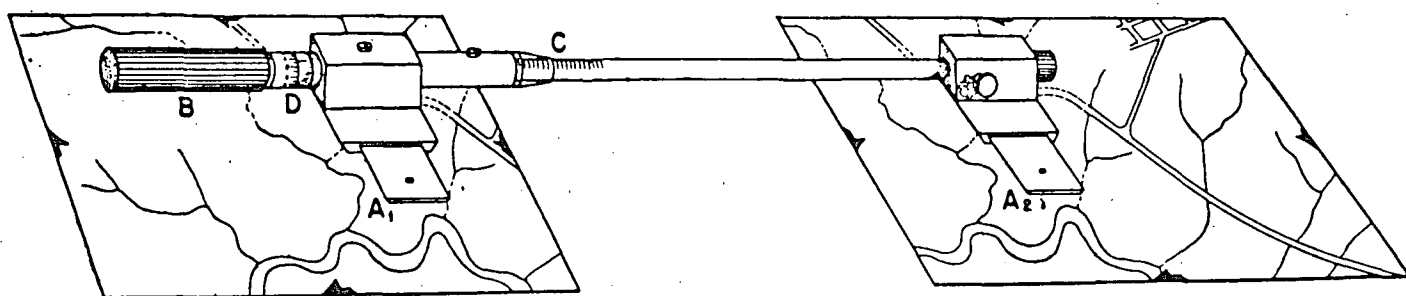


Figura 21: Esquema da barra de paralaxe.

#### 3.8.2.2. OPERACIONALIDADE

As fotografias aéreas inicialmente foram corretamente orientadas segundo a linha de vôo, e sobre elas, em seguida, colocada a barra de paralaxe, realizando-se as observações



sob o estereoscópio com a utilização do binóculo ampliador 3X. As duas marcas de medição, por fusão estereoscópica, aparecem como uma única marca, normalmente denominada "marca flutuante" (Floating mark); ao movimentar-se o parafuso micrométrico esta marca realmente parece flutuar, subindo ou descendo conforme se diminui ou aumenta a distância entre as duas marcas.

Assim, fazia-se com que a marca pousasse inicialmente no topo da árvore, manobrando o parafuso. Em seguida, anotava-se esta primeira leitura; de maneira análoga a marca era transportada para o solo, anotando-se a segunda lei

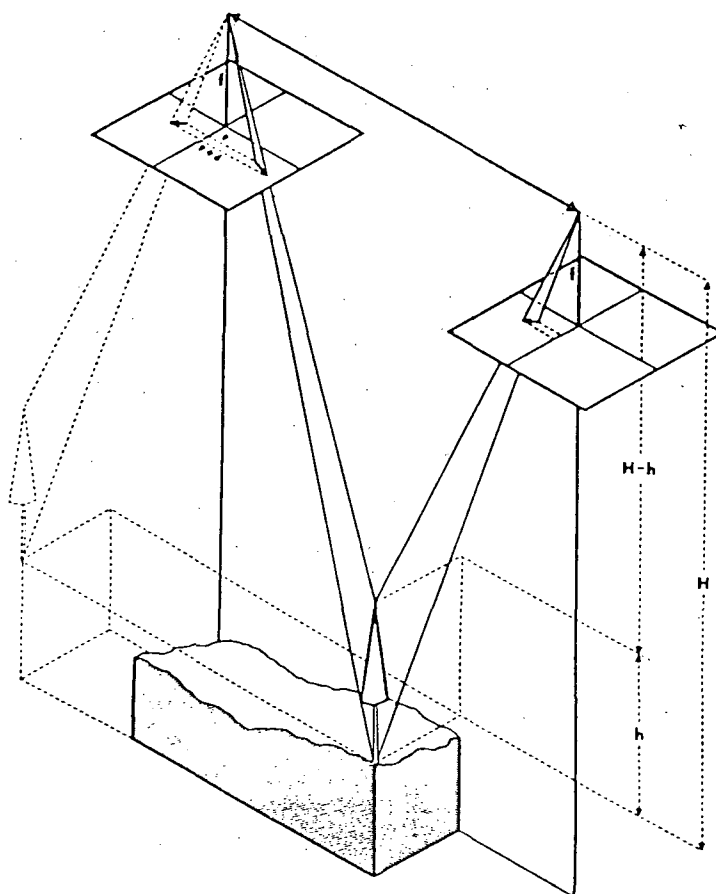


Figura 22: Medição de altura pelo método de diferença de paralaxe.

tura. A diferença entre as duas leituras fornecia a diferença de paralaxe ( $\Delta px$ ) dos dois pontos; a operação era repetida três vezes e o  $\Delta px$  considerado para a entrada na fórmula de cálculo da altura era a média desses três pares de leituras.

A fórmula mencionada é a geral da paralaxe:

$$h = \frac{H \times \Delta px}{P + \Delta px}$$

onde:

$h$  = altura da árvore em metros

$H$  = altura do vôo do avião em metros

$P$  = paralaxe absoluta em milímetros

$\Delta px$  = diferença de paralaxe em milímetros.

### 3.9. CÁLCULO DA ÁREA DA COPA

A área de copa no campo foi calculada através de dois processos, ambos citados por SILVA<sup>76</sup>:

#### a) Métodos dos triângulos

A área da copa foi obtida somando-se as áreas parciais triangulares, formada pelos raios (ou galhos) medidos.

A seguinte expressão foi utilizada:

$$AC = \sum_{i=1}^n \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c) \dots}$$

onde:

$s$  = semi-perímetro de cada triângulo

$a, b, c$  = lados do triângulo

$n$  = número de triângulos envolvidos no cálculo da área da copa.

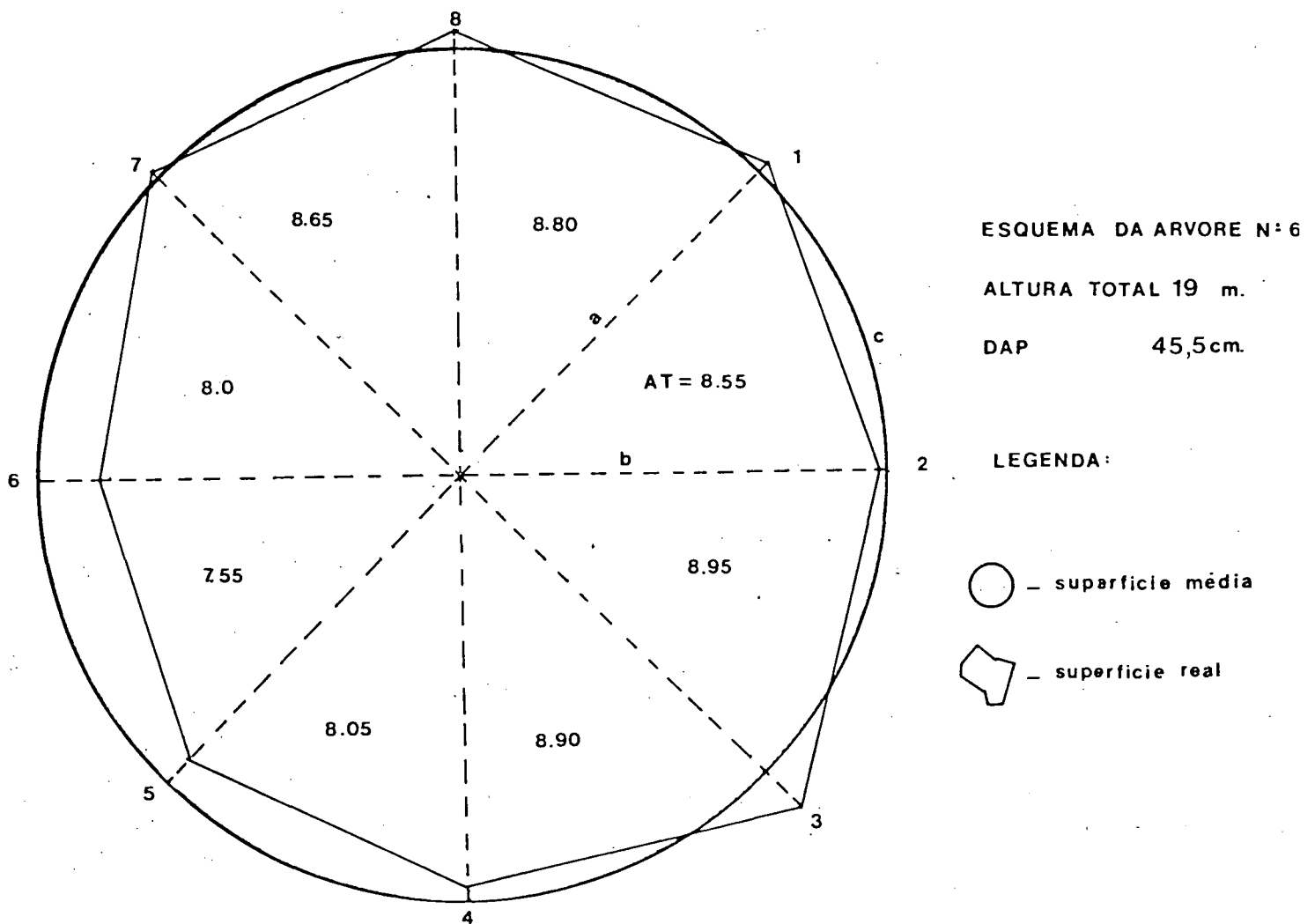


Figura 23: Área de copa pelo método dos triângulos.

### b) Método do diâmetro médio

Para este método considerou-se a área de copa circunferencial com diâmetro igual à média dos diâmetros medidos.

A seguinte expressão foi usada:

$$AC = \pi R^2$$

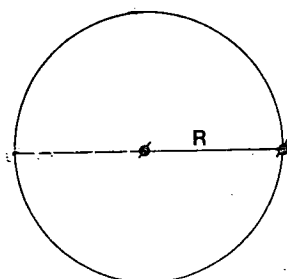


Figura 24: Área de copa através do diâmetro médio.

### 3.10. PREPARAÇÃO DO MATERIAL

Através de programa para o computador HP 9830 A do Departamento de Silvicultura e Manejo do Setor de Ciências Agrárias da UFPr, calculou-se os valores mínimo, médio e máximo, para cada variável envolvida na pesquisa. Calculou-se também o coeficiente de variação para cada variável.

### 3.11. MODELOS TESTADOS

Foram testados modelos sugeridos na literatura para a estimativa do DAP e volume. Em ambas as estimativas foram considerados os modelos em que a variável independente era Área de copa (AC), embora esta não tivesse sido medida nas fotografias aéreas. Para que o modelo pudesse ser efetivamente tes

tado, assumiu-se que a Área de copa da *Araucaria angustifolia* fosse circular.

Assim, nestes modelos, a Área de copa considerada, não era a superfície real da copa e sim uma aproximação de finida como:

$$AC = \pi (\overline{DC})^2/4$$

### 3.11.1. MODELOS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DO DAP

Para a resolução dos modelos, foi utilizado o método dos mínimos quadrados, cujo desenvolvimento matemático torna-se desnecessário, já que se trata de método bastante difundido. Foram testados todos os modelos apresentados nos quadros 3, 4, 5 e 6, nos quais o DAP é a variável dependente e a altura, diâmetro da copa ou área de copa as variáveis independentes.

Quadro 3: Modelos testados para o DAP em função do diâmetro de copas.

Número	Equação	Modelo
1	$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$	Hetherington (1977) Swellengrebel (1959) Volkart (1969) Luna Dawkins (1963) Avery & Canning (1973) Avery (1958) Minnor (1951)
2	$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC}^2$	Dawkins (1963)

onde: DAP = diâmetro a altura do peito

$\overline{DC}$  = diâmetro de copa

Quadro 4: Modelos testados para o DAP em função da altura.

Número	Equação	Modelo
1	$DAP = b_0 + b_1 \log H$	
2	$DAP = b_0 + b_1 \log H + b_2 H$	
3	$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 H^2$	
4	$DAP = b_0 + b_1 H$	
5	$DAP = b_0 + b_1 \log H + b_2 H^2$	

Quadro 5: Modelos testados para o DAP em função de altura e diâmetro de copas

Número	Equação	Modelo
1	$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \times \overline{DC}$	Dilworth (1956) Bonnor (1967)
2	$DAP = b_0 + b_1 H \times \overline{DC}$	Kirby & Johnstone (1970)
3	$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H + b_3 \overline{DC}^2$	
4	$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 H^2$	
5	$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}^2$	
6	$\log DAP = b_0 + b_1 \log H + b_2 \log \overline{DC}$	

Quadro 6: Modelos testados para o DAP em função da altura e AC ( $\pi \overline{DC}^2/4$ )

Número	Equação	Modelos
1	$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 AC$	
2	$DAP = b_0 + b_1 DC + b_2 H \sqrt{AC}$	
3	$DAP = b_0 + b_1 H \times AC$	Aldred & Kippen (1967)
4	$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \sqrt{AC} + b_3 AC$	Aldred & Sayn-Wittgenstein (1972)
5	$DAP = b_0 + b_1 H \sqrt{AC}$	Aldred & Sayn-Wittgenstein (1972) Aldred & Kippen (1967)
6	$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 AC + b_3 H \times AC$	
7	$\log DAP = b_0 + b_1 \log H + b_2 \log AC$	Lyons (1967)

### 3.1.1.2. MODELOS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME

Quadro 7: Modelos para volume em função do diâmetro de copa e a altura.

Número	Equação	Modelo
1	$V = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC}$	
2	$V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H$	
3	$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC}$	
4	$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$	
5	$V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC}^2 + b_3 H \times \overline{DC}$	
6	$V = b_0 + b_1 H \times \overline{DC}$	
7	$V = b_0 + b_1 H \log \overline{DC}$	
8	$V = b_0 + b_1 H \overline{DC}^2$	
9	$V = b_0 + b_1 H \sqrt{\overline{DC}}$	

Quadro 8: Modelos para volume em função da altura.

Número	Equação	Modelo
1	$V = b_0 + b_1 H + b_2 \log H$	
2	$V = b_0 + b_1 H + b_2 H^2 + b_3 \log H$	

Quadro 9: Modelos para o volume, em função da área de copas e altura.

Número	Equação	Modelo
1	$V = b_0 + b_1 H \log AC + b_2 H$	
2	$V = b_0 + b_1 H \log AC$	Sayn-Wittgenstein (1967) (1972)
3	$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 \sqrt{AC}$	Sayn-Wittgenstein (1972)
4	$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 AC$	
5	$V = b_0 + b_1 H \sqrt{AC} + b_2 \sqrt{AC}$	Sayn-Wittgenstein (1972)

### 3.11.3. ESTUDO DAS VARIÁVEIS

O grau de associação existente entre as variáveis in dependentes (diâmetro de copas e altura) e as variáveis de pendentés (DAP e volume) foi determinado através de um estudo de correlação simples com o objetivo de verificar quais as variáveis ou variáveis combinadas que melhor se correlacionam com as variáveis dependentes em questão.



### 3.11.2. ESCOLHA DO MELHOR MODELO

Utilizou-se como critério de escolha para o melhor modelo os seguintes critérios:

- a) coeficiente de determinação ( $r^2$ )
- b) erro padrão da estimativa  $S(yx)$

Para a comparação com equações logarítmicas foi realizada a retro-transformação, isto é, o cálculo de um novo  $S(yx)$ , agora em função da variável e não do logaritmo da variável.

O melhor modelo será o que apresentar o maior coeficiente de correlação com o menor erro padrão da estimativa.

### 3.12. ÁREA MÁXIMA DE COPA - UM AVALIADOR DE DENSIDADE

Conhecendo-se o diâmetro médio da copa e assumindo-se que a copa das árvores em crescimento livre ou próximo deste tende a ser circular, pode-se calcular a área aproximadamente coberta pela projeção das copas. Tal valor é denominado AMC ou "Área Máxima de Copa", sendo apresentada em porcentagem de um hectare.

$$AMC = \frac{\pi(\overline{DC})^2}{4 \cdot 100} \dots\dots\dots 1$$

$$\therefore AMC = 0,0079 (\overline{DC})^2 \dots\dots\dots 2$$

Inicialmente estabelece-se a relação entre  $\overline{DC}/DAP$ . No caso da utilização de fotografias aéreas usou-se o diâmetro de copas ( $\overline{DC}$ ) medido nas fotografias.

No presente trabalho utilizou-se a relação:

$$\overline{DC} = b_0 + b_1 DAP$$

Como o AMC é calculado em função do  $\overline{DC}^2$  tem-se:

$$(\overline{DC})^2 = (b_0)^2 + 2(b_0 \times b_1 \times DAP) + (b_1 \times DAP)^2 \quad \dots 3$$

$$AMC = \underbrace{0,0079((b_0)^2)}_a + \underbrace{0,0079 \cdot (2(b_0 \times b_1 \times DAP))}_b + \underbrace{0,0079(b_1 \times DAP)^2}_{c} \dots 4$$

O valor de AMC seria referenciado para o valor médio de cada classe de DAP e conseqüentemente ter-se-ia a área máxima de copa ocupada pelas árvores com DAP em intervalo pré-determinado.

Com os valores de AMC obtidos, calcula-se o número mínimo de árvores em crescimento livre ou próximos disso que são teoricamente suficientes para ocupar a área (assumindo que as copas são distorcidas o suficiente para preencher espaços vazios, sem reduzir a área individual da copa).

Utilizando-se valores de AMC de árvores de várias classes e combinando-os a ponto de chegar a um AMC próximo de 100 (cem), teoricamente tem-se a área totalmente ocupada.

Como o AMC é considerado como a porcentagem de um hectare ocupado pela copa de uma árvore, o termo FCC ou "Fator de competição de copas" foi criado para definir a soma dos valores AMC para todas as árvores do povoamento dividido pela área em hectares, sendo usado como expressão da densidade.

Substituindo-se as três operações da equação 4 ter-se-á:

$$FCC = a(D^2 \times N) + b(DN) + c(N)$$

O FCC seria um índice de manutenção da densidade do povoamento, sendo possível, após a determinação da densida-

de ideal para uma finalidade específica, a elaboração de planos de Manejo por fotografias aéreas ao se utilizar a estimativa do DAP através do  $\overline{DC}$  medido nas fotografias.

onde:

N = nº de árvores medidas

D = DAP

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Na escala em que o trabalho foi realizado, foi possível somente a identificação da *Araucaria angustifolia*, que contribuiu grandemente para o sucesso da operação dado aos seguintes fatores:

- é uma espécie que normalmente vegeta no extrato superior do povoamento,

- tem uma forma de copa bem regular e uniforme (próxima da circunferência);

- possui uma coloração mais escura, facilitando a delimitação de suas extremidades.

Em florestas sub-tropicais, com densidade média (60 a 80%) normalmente é possível apenas separar as copas das folhosas, numerá-las nas fotografias aéreas e identificá-las no campo. O conhecimento da fenologia das espécies que vegetam numa determinada associação, da estrutura da floresta e visitas constantes durante a realização do trabalho ao campo pelo foto-intérprete, contribuem sobremaneira para a identificação de folhosas por fotografias aéreas de escala média.

Se a espécie se encontra em fase de floração na época da tomada da fotografia aérea, esta sobressai-se das ou-

tras. A bracinga (*Mimosa scabrella*), por exemplo, na época da floração apresenta-se com tons esbranquiçados. O tamanho e forma típicos da copa também podem auxiliar.

Como resultado da identificação da *Araucaria angustifolia* tem-se o seguinte: 196 árvores medidas no campo, sendo que 62% foram visualizadas nas fotografias aéreas.

Conforme demonstra o quadro 10 e figura 25 as classes com DAP menor foram, em termos percentuais mais difíceis de serem visualizados, o que já era esperado. Na menor classe, de 18,0 a 30 cm de diâmetro foram medidas 50% do total de árvores identificadas no campo enquanto que na maior classe, de 78 a 90 cm de diâmetro visualizou-se 75%. Os valores intermediários nas classes 4 e 5 que não obedecem a mesma tendência podem ser explicados pela densidade em que vegetavam, o que provavelmente deve ter influenciado em sua visualização.

#### 4.2. MEDIÇÕES NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Conforme o descrito no capítulo 3, as variáveis medidas no presente trabalho foram: diâmetro da copa e altura da árvore.

##### 4.2.1. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DA COPA

O diâmetro da copa das árvores identificadas foi medido com a barra de paralaxe.

Em árvores isoladas não foram encontradas dificuldade para a execução da tarefa, o que não ocorreu em agrupamentos,

Quadro 10: Árvores identificadas nas fotografias em relação às medidas no campo.

Classe nº	Classes DAP cm	Frequência	Árvores identificadas nas fotografias aéreas	Diferença	% Identificado
1	18,0-29,9	18	9	9	50
2	30,0-41,9	44	27	17	61,36
3	42,0-53,9	77	51	26	66,23
4	54,0-65,9	27	15	12	55,55
5	66,0-77,9	18	10	8	55,55
6	78,0-89,9	12	9	3	75,00

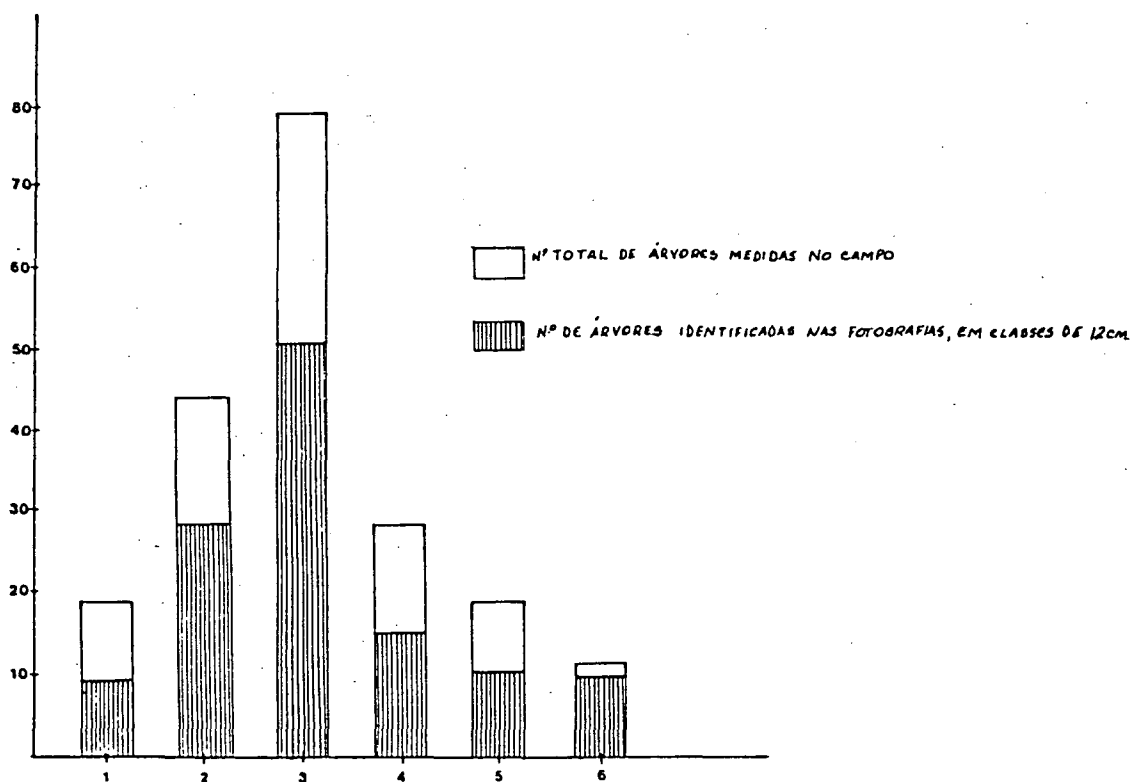


Figura 25: Porcentual do número de árvores identificadas nas fotografias aéreas em relação ao total.

devido ao problema de definição exata dos limites das copas. Às vezes imaginava-se uma árvore com copa de grandes dimensões, quando na realidade tratava-se de 2 árvores. Este problema foi reduzido com o aperfeiçoamento da acuracidade visual e com o acompanhamento do croquis de campo. Quando percebia-se a presença de 2 árvores próximas e selecionadas, procurava-se delimitá-las com maior precisão. Caso necessário, eram realizadas novas incursões aos locais de estudo.

Mesmo assim, não foi possível a medição das copas de todas as árvores medidas no campo devido:

- a) à incerteza da identificação correta do indivíduo;
- b) as copas estarem parcial ou totalmente encobertas por outros pinheiros ou outras espécies componentes da associação.

Esta situação ocorreu porque houve também no campo, seleção de árvores jovens que ainda não haviam atingido o estrato superior. Com relação à medição das copas selecionadas, foi possível medir 61,7% das árvores selecionadas no campo e 81,7% das árvores identificadas nas fotografias aéreas. Surpreendentemente houve maior dificuldade de medições dos diâmetros das copas que de alturas. Considerando-se o caso dos agrupamentos, as árvores com maiores dimensões de copa não se tornaram mais visíveis que as médias, já que nesta escala esta proporção foi insignificante.

Comparações entre diâmetros de copa medidos no campo e nas fotografias não foram realizadas pelas razões expostas no ítem 2.4.2.2.2. Estas medições não são comparáveis já que apenas a porção visível do diâmetro de copa foi medida nas fotografias aéreas.

Alguns autores consideram a área da copa como a variável mais correlacionada com o DAP do que o diâmetro de copas. Os investigadores que fazem esta recomendação, normalmente realizam seus trabalhos em escalas grandes, onde é possível superpor uma rede de pontos para efetuar o cálculo desta variável. Em escalas médias e pequenas para árvores individuais, tal técnica é dificultada, razão pela qual não foi efetuada neste trabalho.

A sùmula dos dados obtidos no campo e nas fotografias aéreas encontra-se no quadro 11.

O comprimento da copa médio do pinheiro (obtido pela diferença de altura total e altura do tronco) através de dados de campo, era praticamente constante, atingindo  $1/7$  da altura da árvore, aproximando-se de resultados apresentados por SILVA<sup>76</sup>. Esta variável é indicada por alguns autores para auxiliar na estimativa do DAP. Neste trabalho, porém ela não foi avaliada através de fotografias aéreas.

Com as medições dos diâmetros de copa no campo, realizou-se o cálculo das áreas por dois métodos, conforme especificado no capítulo 3. Estes foram, cálculo da área de copa

- pelo método dos triângulos;
- considerando-se a circunferência com diâmetro igual à média dos diâmetros medidos.

As áreas medidas pelo primeiro processo apresentavam-se menores em relação ao segundo método. Esta tendência foi da ordem de 11%.

#### 4.2.2. MEDIÇÃO DA ALTURA

A altura das árvores selecionadas e identificadas nas



Quadro 11: Características dendrométricas das variáveis estudadas.

Variável	mín.	médio	máx.	desvio padrão	coeficiente de variação
Altura total (m)	11,50	17,55	25,00	2,3873	13,60
DAP (cm)	20,00	49,29	87,00	14,5756	29,57
Diâmetro de copas (m)	2,76	10,04	19,52	3,7932	37,8

Variável	mín.	médio	máx.	desvio padrão	coeficiente de variação
Altura	9,69	17,99	25,30	2,9086	16,17
$\overline{DC}$	1,00	10,01	18,50	3,5019	34,98

fotografias aéreas foi avaliada através da diferença de paralaxe medida nas fotografias aéreas, conforme metodologia descrita no capítulo 3.

Conforme já foi afirmado anteriormente, esta variável foi obtida com maior facilidade que o diâmetro de copas.

Mesmo assim, algumas das árvores identificadas não foram incluídas nas medições em função da dificuldade de visualização do solo para medição da paralaxe da base.

Nestes casos (aproximadamente 10% do total de árvores com os diâmetros de copa perfeitamente delimitados) foi necessária a eliminação da árvore. Uma segunda alternativa foi a de utilizar a leitura da paralaxe da base de árvores vizinhas, quando ambas se encontravam em um segmento de terreno plano ou muito próximo disto. O erro padrão da estimativa encontrado nas medições de altura nas fotografias aéreas foi de 0,70m (aproximadamente 4%) a um nível de significância de 99%. O erro sistemático encontrado (diferença entre altura média no campo e altura média na fotografia) foi de aproximadamente 0,50m. A tendência encontrada foi de subestimativa da altura das árvores menores.

#### 4.3. CORRELAÇÃO SIMPLES E TENDÊNCIA DOS DADOS

No presente trabalho foram considerados o diâmetro da copa e a altura, assim como as diversas combinações das mesmas para a estimativa do DAP e volume.

Os resultados estatísticos sobre as variáveis na pesquisa são apresentados no Quadro 12.

##### 4.3.1. CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS MEDIDAS COM O DAP

O diâmetro a altura do peito é uma variável facilmente

medida no campo. Entretanto, e conforme já comentado anteriormente, nas fotografias aéreas sua obtenção direta torna-se impraticável.

Assim, deve ser estimado através de outras variáveis que sejam passíveis de medição nas fotografias aéreas.

O diâmetro da copa ( $\overline{DC}$ ) é citado por vários autores como altamente correlacionado com o DAP. Como variável única e que melhor estaria correlacionada com o DAP em florestas tropicais é citada por DAWKINS<sup>25</sup> e SWELLENGREBEL<sup>84</sup> entre outros.

Para a *Araucaria angustifolia*, nas condições do presente trabalho, o coeficiente de correlação simples entre DAP e  $\overline{DC}$  foi de 0,8530, semelhante ao encontrado por AVERY & CANNING<sup>12</sup>, para povoamentos de *Pinus radiata* ( $r = 0,843$ ). Já KAHLEYSS<sup>44</sup> apresenta resultados de 0,984 para povoamentos de *Picea* sp.

Como pode ser depreendido pelo quadro 12 o coeficiente de correlação entre DAP e  $\overline{DC}^2$  é maior do que na relação anteriormente citada.

Embora a variável Área de Copa não tenha sido medida no presente trabalho, pode-se anteciper da possibilidade de se alcançar uma correlação maior entre esta variável e o DAP já que a mesma, a princípio é igual a  $0,7854 \overline{DC}^2$ . Para esta conclusão considera-se que a copa seja circular com raio igual à metade do diâmetro médio da copa.

A inclusão da variável H (altura medida nas fotografias) na estimativa do DAP tem sido preconizada por autores como BONNOR<sup>11</sup>, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN & DAWKINS<sup>25</sup>. Segundo estudos realizados por estes e outros investigadores

Quadro 12: Coeficiente de correlação simples entre as variáveis e variáveis combinadas com o DAP

	DAP
$\overline{DC}$	0,8530
$\overline{DC}^2$	0,8613
AC	0,8613
$\log \overline{DC}$	0,7506
$\log \overline{DC}^2$	0,5431
$\log AC$	0,7506
$1 + \log \overline{DC}$	0,7506
H	0,5610
$\log H$	0,5307
$H^2$	0,5795
$\sqrt{H}$	0,5475
$H \times \sqrt{DC}$	0,8245
$H \times \sqrt{AC}$	0,8704
$H \times \log \overline{DC}$	0,7963
$H \times \overline{DC}^2$	0,8749
$H \times \overline{DC}$	0,8704

onde:  $\overline{DC}$  = diâmetro de copa

H = altura

AC = área de copa ou  $\frac{\pi (\overline{DC})^2}{4}$

melhora a correlação com o DAP. Tal afirmação foi comprovada no presente trabalho através das combinações.

$$\begin{aligned} & H \times \overline{DC} \\ & H \times \overline{DC}^2 \end{aligned}$$

que obtiveram respectivamente 0,8704 e 0,8749 como coeficiente de correlação simples.

Igualmente ao anteriormente citado, pode-se sugerir a possibilidade de substituição da variável  $\sqrt{AC}$  pela variável  $\overline{DC}$  em modelos já determinados por outros autores. Tal afirmação segue o mesmo raciocínio, sendo que o mesmo é válido se considerarmos que  $\overline{DC}$  é aproximadamente  $\sqrt{1,2732 AC}$ .

Deve-se levar sempre em considerações que, para se chegar a esta conclusão partiu-se da premissa que a Área de Copa é circular, o que não pode ser generalizado mesmo para a *Araucaria angustifolia* que possui formas geométricas bastante definidas. ALDRED & KIPPEN<sup>2</sup> encontraram para *Abies balsamea* e *Picea glauca* coeficiente de correlação de 0,96 entre DAP e (H x AC).

A correlação entre DAP e altura medida na fotografia como variável única não foi alta o suficiente para que se possa sugeri-la como promissora na estimativa do DAP. Conclusões semelhantes foram tiradas por AVERY & CANNING<sup>12</sup> para *Pinus radiata* (r= 0,499).

Os resultados mencionados encontram-se tabulados no quadro 12. Tais resultados são significantes ao nível de 1%.

#### 4.3.2. CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS MEDIDAS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS COM O VOLUME

As fotografias aéreas vem sendo usadas a muitas década

das como um instrumento para os Inventários Florestais; no campo das estimativas volumétricas, entretanto, as medições nas fotografias aéreas têm sido bastante limitadas.

No presente trabalho, em função do volume por árvore não ter sido determinado no campo, utilizou-se para as análises o modelo apresentado por SIQUEIRA<sup>74</sup>, válido para a região em que os dados foram coletados.

As variáveis consideradas para esta estimativa são como para o DAP, o diâmetro da copa e a altura, ambos medidos nas fotografias aéreas.

Pode-se verificar pelo quadro 13 que a variável  $\overline{DC}$  é melhor correlacionada com o volume sob a forma de  $\overline{DC}^2$ . Como variável única apresentou uma correlação de 0,7962 e como quadrática 0,8369.

Tal resultado difere um pouco do encontrado por outros autores como AVERY & CANNING<sup>12</sup> cujos coeficientes de correlação para *Pinus radiata* foram respectivamente 0,796 e 0,783 sendo a correlação com a variável  $\overline{DC}^2$  levemente inferior à encontrada com  $\overline{DC}$ . Tal resultado deve-se provavelmente ao tamanho da copa de *Araucaria angustifolia*.

A variável única H também não se mostrou altamente correlacionada com o V embora levemente inferior à encontrada para a correlação com o DAP. Tal resultado evidencia a possibilidade da estimativa do volume apenas através da variável altura, conforme foi inclusive testado por ALDRED & LOWE<sup>3</sup>.

Uma análise considerando a variável combinada H e  $\overline{DC}$  para a estimativa do volume reafirma conclusões tiradas para a estimativa do DAP. Novamente a variável  $H \times \overline{DC}^2$  é a mais altamente correlacionada com o volume, seguida de  $H \times \overline{DC}$ .

As variáveis  $H \times \log \overline{DC}$  e  $H \times \sqrt{\overline{DC}}$  contribuíram com

Quadro 13: Coeficiente de correlação simples (r) entre as variáveis e variáveis combinadas com o volume.

	r
$\overline{DC}$	0,7962
$\overline{DC}^2$	0,8369
AC	0,8369
log AC	0,6609
log $\overline{DC}$	0,6609
$\sqrt{AC}$	0,7962
H	0,6422
log H	0,5992
H <sup>2</sup>	0,6726
H x $\overline{DC}$	0,8792
H x $\sqrt{DC}$	0,8409
H x $\sqrt{AC}$	0,8792
H x log $\overline{DC}$	0,8017
H x $\overline{DC}^2$	0,8955
H x log AC	0,8026

onde:  $\overline{DC}$  = diâmetro de copa

H = altura

AC = área de copa ou  $\frac{\pi (\overline{DC})^2}{4}$

uma correlação muito forte para o volume, porém foram inevitavelmente inferiores a  $H \times \overline{DC}$  e  $H \times \overline{DC}^2$ .

Os resultados encontrados são apresentados no quadro 13. Tais resultados são significantes ao nível de 1%.

#### 4.4. ESCOLHA DO MELHOR MODELO PARA A ESTIMATIVA DO DAP

Os modelos testados foram pré-selecionados através da literatura sobre o assunto. Como o número de equações indicadas para esta estimativa é bastante extenso, apenas algumas foram selecionadas para análise no presente trabalho. Evidentemente, o número de modelos estimados não esgota o assunto, sendo possível melhores estimativas através de modelos recentemente desenvolvidos.

Tais equações encontram-se relacionadas nos quadros 3 a 6 do item 3.11.4 do capítulo 3 e tabulados com resultados nos quadros 14 a 20 do presente capítulo.

Com o intuito de organizar os resultados de maneira a permitir uma melhor análise, inicialmente foram separados em:

a) modelos em que se considera as variáveis única diâmetro de copa e altura;

b) modelos que reúnem estas duas variáveis para a estimativa do DAP.

Para a escolha do melhor modelo, conforme já mencionado no item 3.11.4 utilizou-se os critérios:

a) erro padrão da estimativa -  $S(yx)$  e

b) coeficiente de determinação -  $(r^2)$

Assim, o melhor modelo considerado seria aquele que apresentasse menor  $S(yx)$  e melhor  $r^2$ .



A comparação das equações aritméticas com as logarítmicas foi feita após a retro-transformação das mesmas para a forma original. Melhor explicando, através do computador HP 9830 A, do Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPr, determinou-se um novo  $S(yx)$  em função da linearização da variável dependente. Assim, o  $S(yx)$  calculado pode ser comparado às equações aritméticas, já que este passa a ser correspondente à variável DAP ao invés de  $\log DAP$ .

#### Interpretação da relação DAP e diâmetro de copa

Segundo DAWKINS<sup>25</sup>, "a interpretação mais prática da relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro do tronco para espécies tropicais (ou temperadas) com exceção das árvores muito grandes ou muito pequenas é a linha reta."

Porém o mesmo autor (DAWKINS<sup>25</sup>) considera que nesta relação seis situações podem ocorrer:

- 1) reta com origem em zero
- 2) reta com tendência ao achatamento e origem positiva
- 3) reta com tendência a elevação e origem negativa
- 4) sigmoide
- 5) curva com tendência ao achatamento
- 6) curva com tendência a elevação.

A figura 26 ilustra os possíveis tipos de relação entre DAP e  $\overline{DC}$ .

Dentre a literatura consultada foram encontrados menções da maioria dos tipos citados por DAWKINS<sup>25</sup> com maior frequência para o tipo 2. De acordo com o quadro 14 e figura 29 o modelo que mais ajustou os dados tomados para o presente tra

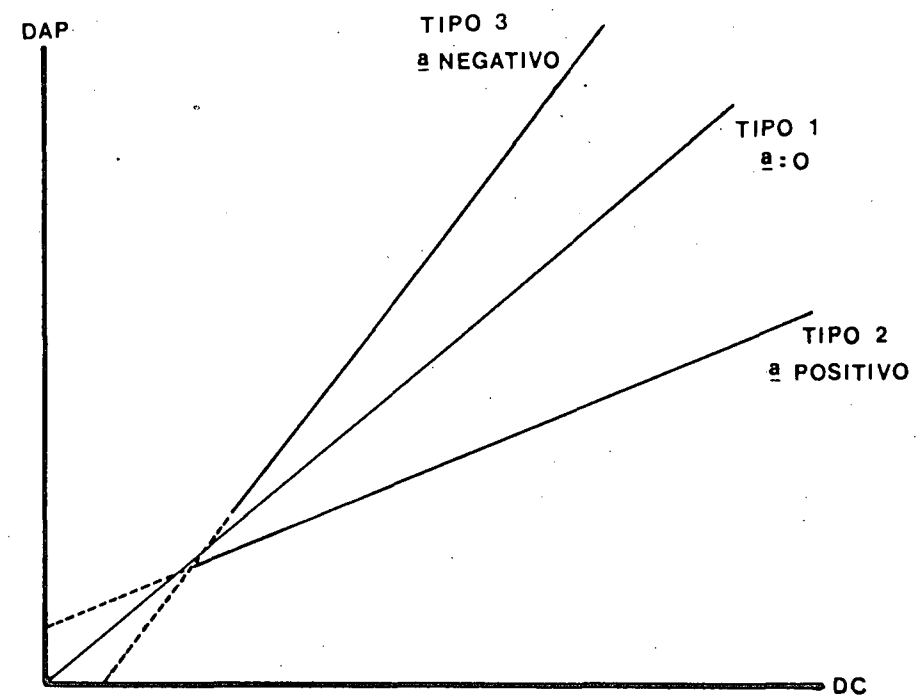
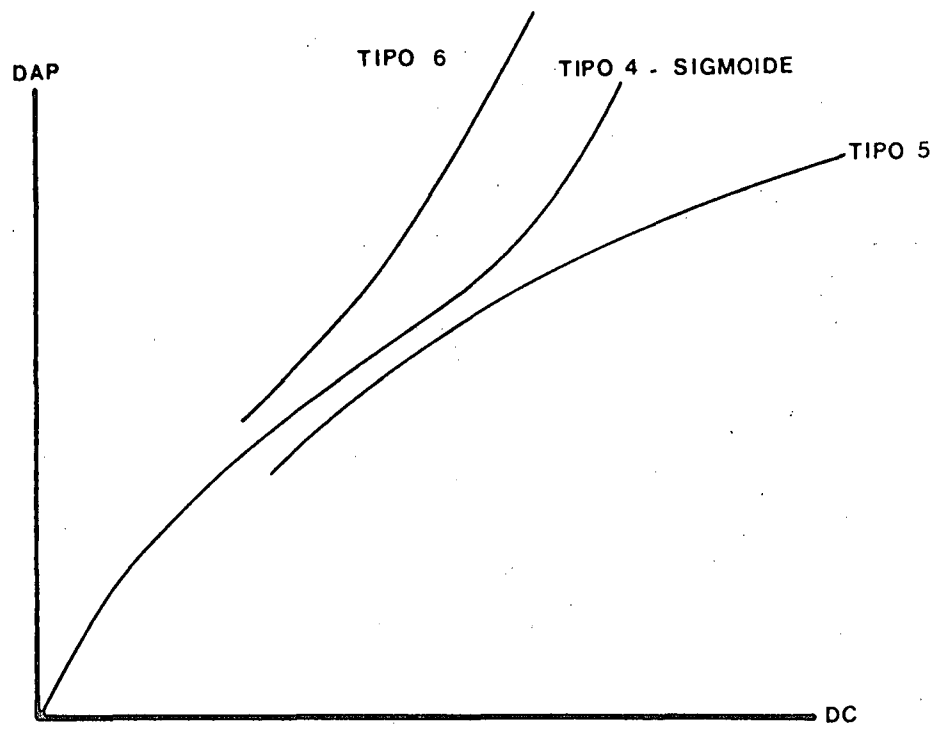


Figura 26: Tipos de curva possíveis para a relação DAP/diâmetro de copas.

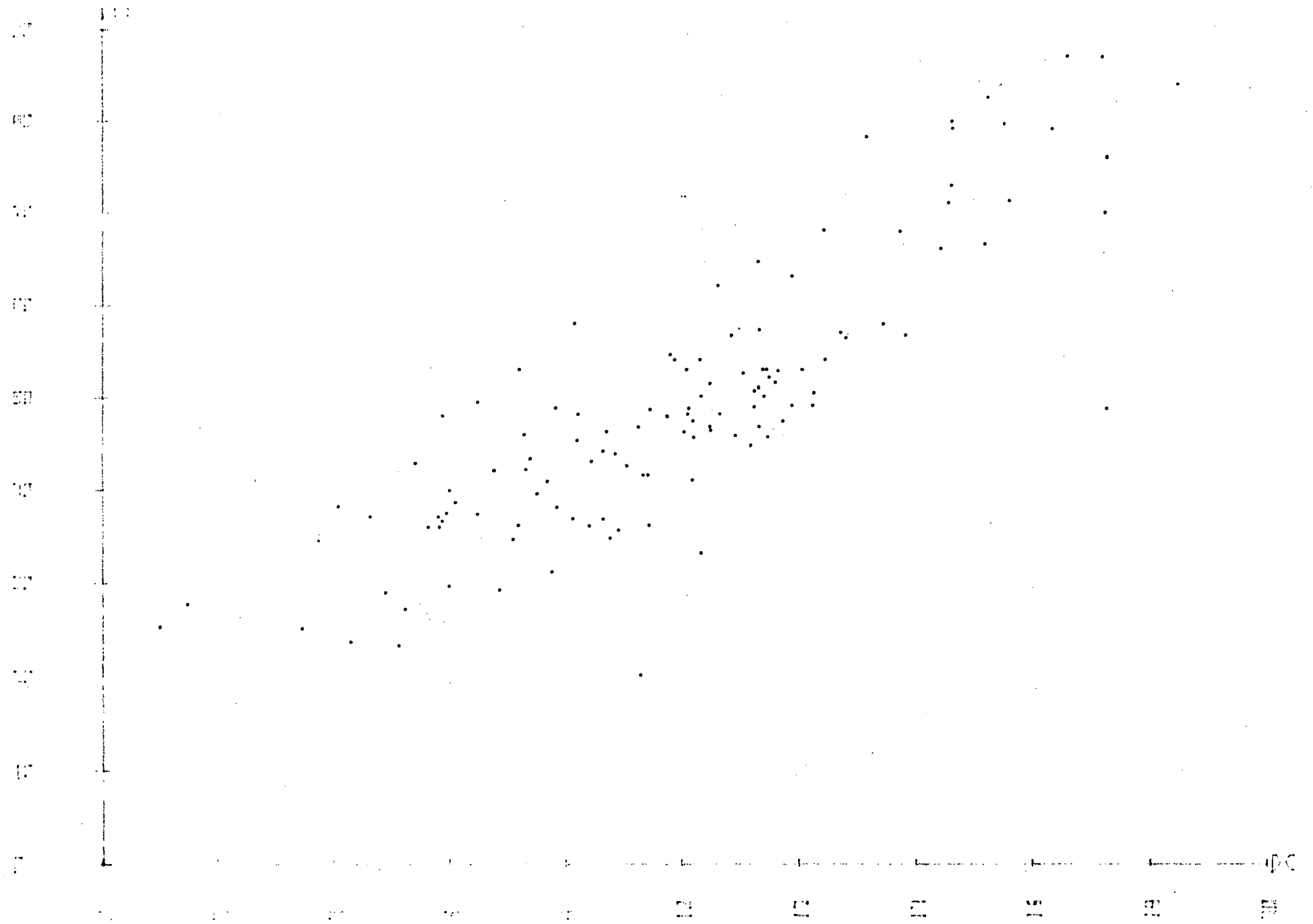


Figura 27: Relação existente entre DAP e diâmetro de copas.

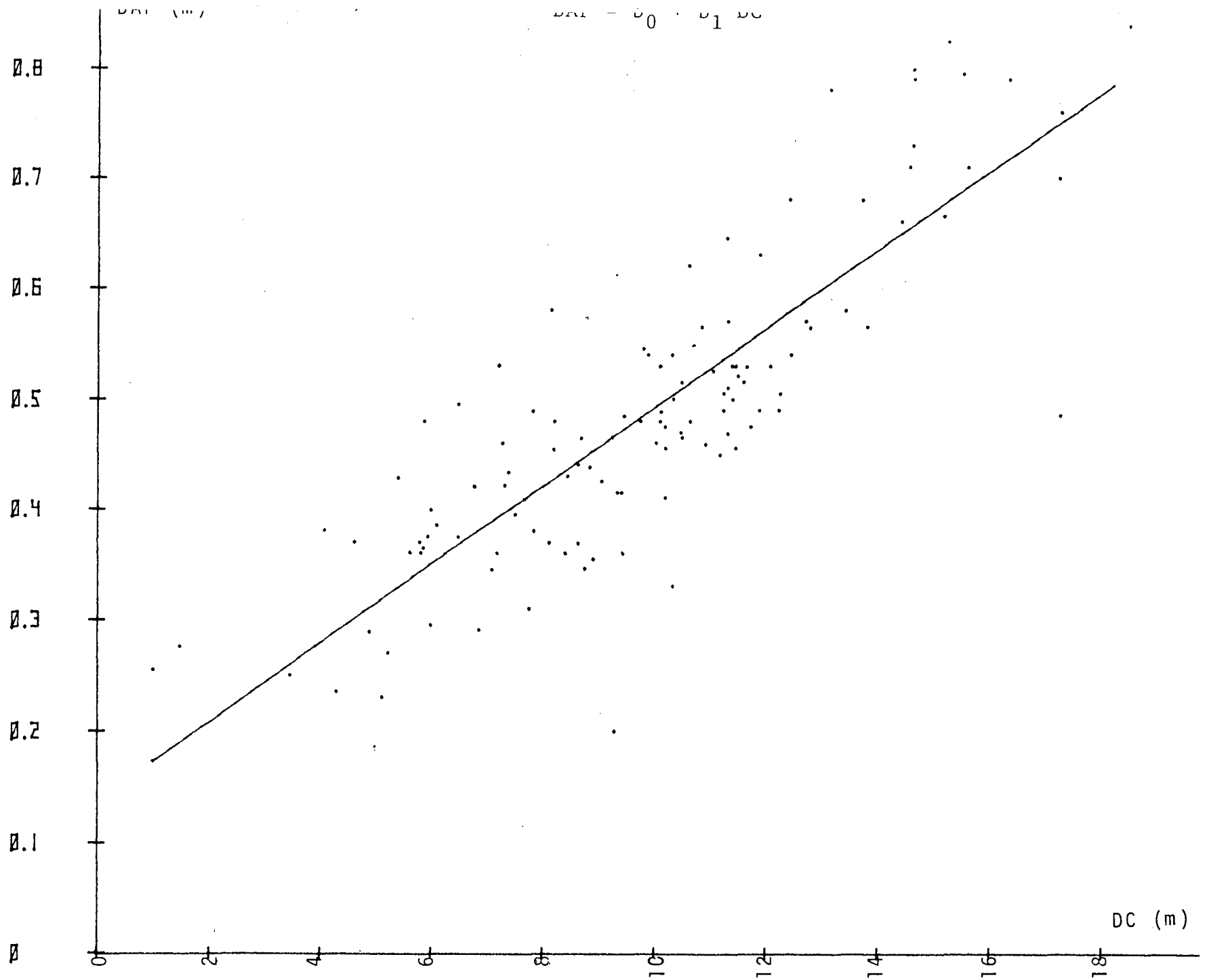


Figura 28: Distribuição dos pontos ajustados com a equação da reta.

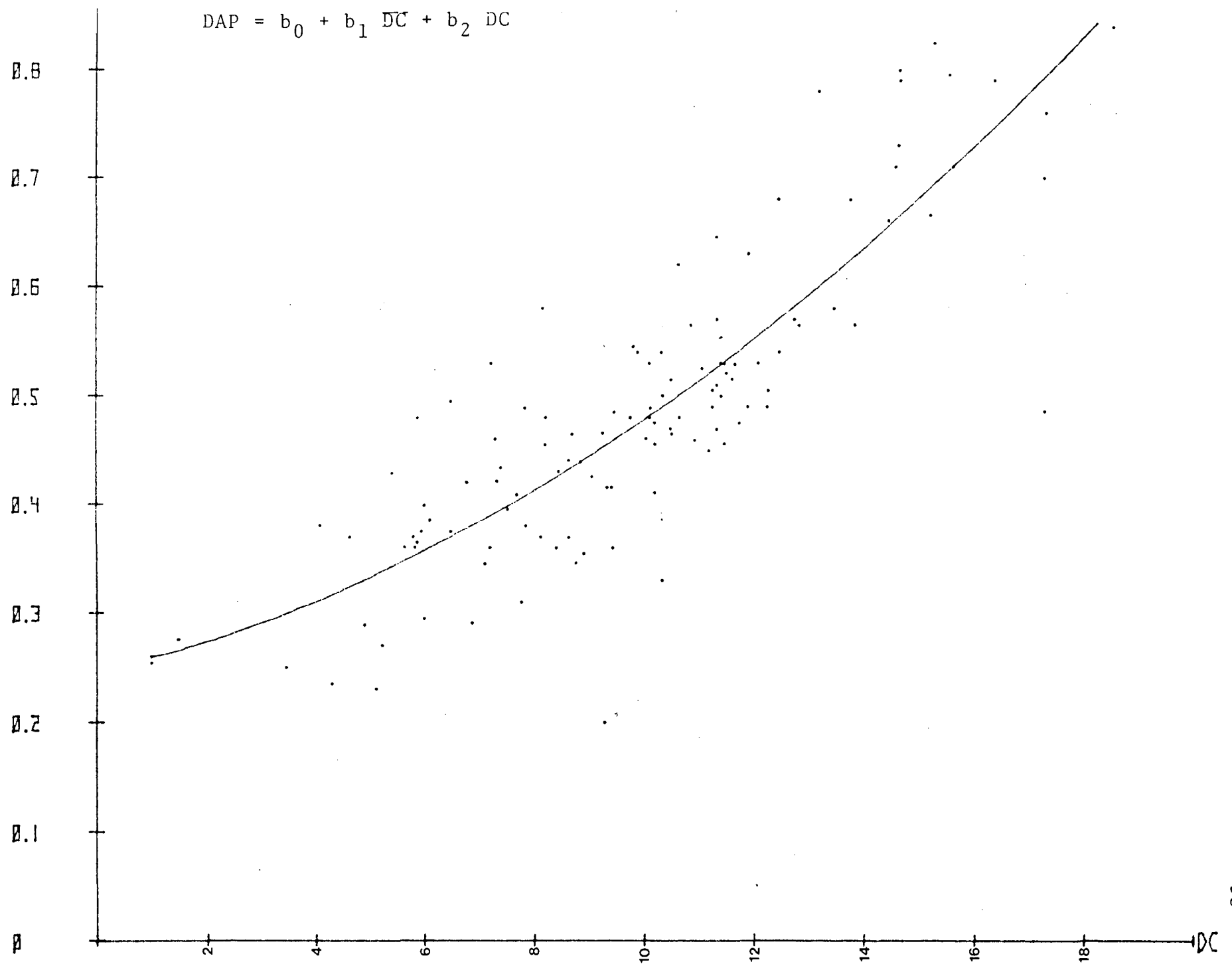


Figura 29: Distribuição dos pontos ajustados com a equação parabólica.

Quadro 14: Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 DAP = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> $\overline{DC}$	13,7425272 3,5504129	0,727626638	7,638836481	15,5	317,9002866 **
2 DAP = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> $\overline{DC}$ + b <sub>2</sub> $\overline{DC}^2$	24,7153119 1,1419186 0,116911 E-03	0,745640777	7,4131215	15,04	172,9554186 **

Quadro 15: Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função da altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 DAP = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> H + b <sub>2</sub> H <sup>2</sup>	62,517713 -4,5842118 0,208567 E-03	0,348584074	11,8633286	24,07	31,57193360 **
2 DAP = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> H	-1,2806039 2,8114880	0,314753373	12,1162535	24,58	54,66010336 **

balho seria:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC}^2$$

enquadrando-se no tipo 6 de DAWKINS<sup>25</sup>.

Resultados semelhantes também foram encontrados por DEETLEFS\* e EULE\*\*, ambos citados por BONNOR<sup>16</sup>.

Porém, ao serem analisados tais resultados, verifica-se que este tipo de relação levaria à conclusão que:

- a razão entre  $DAP/\overline{DC}$  aumenta com a idade e tamanho.

Segundo SILVA<sup>56</sup> a *Araucaria angustifolia* precisaria desenvolver grandes diâmetros para suportar copas maiores.

Porém VOLKART<sup>87</sup> também para a *Araucaria angustifolia* encontrou como melhor configuração o tipo retilíneo com origem positiva ou tipo 1 de DAWKINS<sup>25</sup>.

No caso do presente trabalho, ao se analisar comparativamente ambos os resultados segundo critério já mencionado anteriormente (menor erro padrão da estimativa e mais alto coeficiente de determinação) percebe-se que o modelo imediatamente inferior à parábola seria a equação da reta, que ajusta os dados com uma diferença de 0,46% no erro padrão da estimativa e com coeficiente de correlação de 0,728, enquanto que o da 1.<sup>a</sup> equação mencionada seria de 0,745.

As estimativas do DAP através somente da altura obtiveram coeficiente de correlação simples aquém do esperado e erro padrão da estimativa alto, conforme pode ser visualizado nos quadros 13 e 16.

\* DEETLEFS, P.P. du T. The relationship between stand density, crown size and basal area growth in stands of *Pinus radiata* in the natural habitat of this species. J. S.African For. Assoc., n. 24, 1954.

\*\* EULE, H.W. Methods of crown measurements and the relations between crown size, stem diameter and increment of Beech. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 130(7), 1959.

Quadro 16: Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do DAP em função da altura.

Regressão	Estimativas		Estatísticas		
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 DAP= $b_0 + b_1 \log H$	-80,6637156 104,0520971	0,281626649	12,4056637	25,17	46,65202453 **
2 DAP= $b_0 + b_1 \log H + b_2 H$	207,146874 -262,660111 9,616008	0,348227174	11,8655766	24,07	31,53761805**
3 DAP= $b_0 + b_1 \log H + b_2 H^2$	110,8527832 -86,8428758 0,141290 E-03	0,348759718	11,8617291	24,07	31,59636145 **



A equação 3 foi a que melhor se ajustou aos dados e mesmo assim apresenta um erro em torno de 24%. Conclui-se que outros modelos devem ser testados em função da possibilidade de redução do custo de medição se o  $\overline{DC}$  for eliminado.

Neste trabalho, a melhor estimativa para DAP encontrada através da variável combinada H e  $\overline{DC}$ , conforme ficou evidenciado inclusive através do coeficiente de correlação simples. Dentre as várias equações testadas foi escolhido o modelo apresentado por BONNOR<sup>15</sup>.

$$DAP = b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3H \times \overline{DC} ,$$

que testou tal modelo para árvore de *Pinus strobus*, *Pinus banksiana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*. Com folhosas foi testado em *Acer saccharum*, *Betula lutea*, *Betula papyrifera*, *Populus* sp e *Fagus* sp.

O autor comenta que o erro padrão da estimativa (expresso como porcentual do diâmetro médio) foi maior do que o encontrado para *Pinus resinosa* e *Picea mariana* em trabalhos anteriores. Expõe também que o  $S(yx)$  obtido para as folhosas foi relativamente alto, indicando que o diâmetro do tronco é pior definido nestas espécies através de H e  $\overline{DC}$ .

Na pesquisa apresentada, foi encontrado um  $S(yx)$  de 14,22%. Embora os outros modelos como  $DAP = b_0 + b_1\overline{DC} + b_2H \times \overline{DC} + b_3\overline{DC}^2$  tenham apresentado resultados semelhantes, o modelo de BONNOR<sup>17</sup> foi escolhido em função de ser um modelo tradicionalmente conhecido e já testado exaustivamente para várias espécies em outros países. Tais resultados encontram-se no quadro 17.

A figura 30 ilustra a resposta do DAP à equação

Quadro 17: Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa e altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 DAP= $b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3H \times \overline{DC}$	38,9673171 -1,2406561 0,535264 E-03 0,205183 E-03	0,774554593	7,0088400	14,22	133,9908830 **
2 DAP= $b_0 + b_1H \times \overline{DC}$	211,529523 0,151936 E-03	0,757633202	7,2057877	14,62	371,9913446 **
3 DAP= $b_0 + b_1\overline{DC} + b_2H \times \overline{DC} + b_3\overline{DC}^2$	24,5072974 0,0070871 E-04 0,0091427 E-04 0,0761606 E-04	0,774663733	7,0071432	14,22	134,07467 **
4 DAP= $b_0 + b_1\overline{DC} + b_2H \times \overline{DC} + b_3H^2$	30,8136541 -1,0372684 0,234313 E-03 -0,0437769 E-04	0,774942812	7,0028027	14,21	134,2892883 **
5 DAP= $b_0 + b_1\overline{DC} + b_2H \times \overline{DC} + b_3\overline{DC}^2$	24,5072974 -0,010871 E-04 0,0914270 E-04 0,0761606 E-04	0,774663733	7,0071432	14,22	134,07467 **

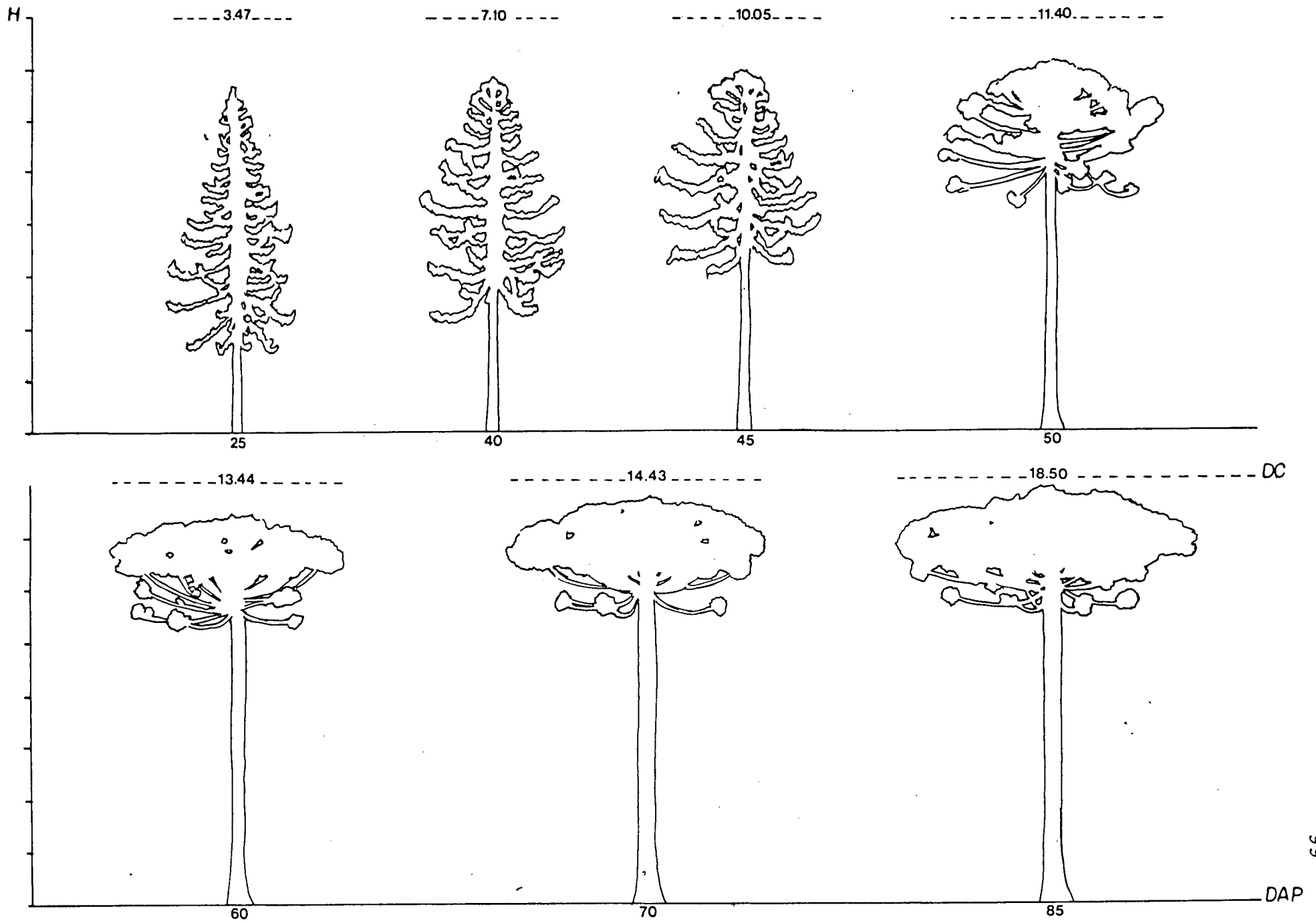


Figura 30: Resposta do DAP à equação  $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} \times H$ .

Quadro 18: Modelos de regressão logarítmicos para a estimativa do DAP em função do diâmetro da copa e altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 $\log \text{DAP} = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \times \overline{DC}$	78,4423375 34,9438516 46,8485212	0,634531500	7,8801443* transformada	15,99	102,4366218 **

Quadro 19: Modelos de regressão aritméticos para estimativa do DAP em função do diâmetro de copa transformado para Área de Copa através de  $AC = \pi DC^2/4$  e altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 $\text{DAP} = b_0 + b_1 H + b_2 AC$	15,9493357 0,903572 E-03 0,193558 E-03	0,776409906	7,1040267	14,41	193,5792037 **
2 $\text{DAP} = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H \sqrt{AC}$	17,8371770 1,2291543 0,116684 E-03	0,767555094	7,0865914	14,38	194,8235878 **
3 $\text{DAP} = b_0 + b_1 H \times AC$	32,5398033 0,010026 E-04	0,765490332	7,0880255	14,38	388,4417657 **
4 $\text{DAP} = b_0 + b_1 H + b_2 \sqrt{AC} + b_3 AC$	12,6079569 0,872553 E-03 0,894365 E-03 0,197835 E-03	0,768232226	7,1064380	14,42	129,2718837 **
5 $\text{DAP} = b_0 + b_1 H \sqrt{AC}$	21,1529523 171,442 E-03	0,757633202	7,2057877	14,62	371,9913447 **
6 $\text{DAP} = b_0 + b_1 H + b_2 AC + b_3 H \times AC$	23,464487 0,491648 E-03 0,102757 E-03 0,0047348 E-05	0,76915315	7,0836644	14,37	130,3555957 **

$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} \times H$ , a qual foi obtida com um erro padrão da estimativa de 14,62% e coeficiente de determinação da ordem de 0,76.

Assim, nesta figura, percebe-se que através do modelo considerado uma árvore com diâmetro de copa de 10 m terá aproximadamente 45 cm de diâmetro.

#### 4.5. ESCOLHA DO MELHOR MODELO PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME

Conforme já foi mencionado, são conhecidos dois caminhos para a estimativa do volume por fotografias aéreas.

O primeiro consiste na determinação do volume por corte e seccionamento das árvores envolvidas, determinando-se assim, a equação do volume.

A segunda aproximação, bem mais usual, envolve a determinação do volume através de equação ou tabela já desenvolvidos para o local e para a espécie.

Na presente pesquisa, o segundo caminho foi utilizado em função da existência de tabela válida para a espécie e local apresentada por SIQUEIRA<sup>74</sup>.

Vários trabalhos têm sido publicados com estimativas de volume baseadas apenas na correlação DAP e diâmetro de copas. Porém SWELLENGREBEL<sup>84</sup> acertadamente menciona que esta estimativa depende de uma correlação alta entre estas duas variáveis. Depende também da densidade das copas já que esta influencia diretamente na visualização e separação destas quando da medição nas fotografias aéreas. No presente trabalho, tais modelos não foram testados.

Sendo porém a altura uma variável medida com menor dificuldade, pode-se testar equações que utilizem apenas esta variável para estimativa do volume.

ALDRED & LOWE<sup>3</sup> para povoamentos mistos de coníferas e folhosas em Aberta (Canadá) e utilizando fotografias aéreas em escala grande, encontraram que a inclusão da variável diâmetro de copas (ou área de copas) na estimativa do volume reduz sensivelmente o erro padrão da estimativa. Consideram porém, que se for levado em conta que a medição das copas requer um considerável tempo extra de medição, a precisão adicional pode não ser desejada. Com base nisto, foram testados dois modelos para a estimativa do volume através apenas da variável altura.

Para o presente trabalho, os modelos testados apresentaram erro padrão da estimativa em torno de 52%, que comparados com os apresentados pelos autores<sup>3</sup>, 22%, são elevados. Através disto e com base na argumentação acima, pode-se concluir que novos modelos devem ser testados para que se possa obter a estimativa do volume apenas através da altura.

Os resultados referentes aos modelos testados encontram-se nos quadros 21 a 24.

SPURR<sup>79</sup>, porém adverte que mesmo que sejam confeccionadas tabelas baseadas em uma variável independente, na maioria dos casos em que se trata de determinar o volume individual das árvores, se utiliza tanto o diâmetro da copa como a altura.

Analisando todos os modelos estudados, pode-se concluir que para as condições do trabalho ora apresentado a inclusão da variável diâmetro de copas reduziu o erro padrão da estimativa em torno de 18% conforme as equações de número 3 e 4 do quadro 23 em relação às equações de nú-

Quadro 20: Modelo de regressão logarítmico para estimativa do DAP em função do diâmetro de copa transformado para Área de Copa através de  $AC = \pi DC^2/4$  e altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficiente	$R^2$	S(yx)	S(yx)%	F
1+ log DAP= $b_0 + b_1 \log H + b_2 \log AC$	80,8997796 34,9438915 23,4242605	0,634531426	8,5643455	15,99	102,4365851 **

Quadro 21: Modelo de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa e altura

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficiente	$R^2$	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1 H \log DC$	-2,222221424 0,254755549	0,642651214	0,995404607	43,66	214,0079877 **

Quadro 22: Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função da altura.

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	$R^2$	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1 H + b_2 \log H$	30,6424244 1,481626362 -44,0593162	0,485417484	1,199536538	52,61	55,65605261 **
2 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H^2 + b_3 \log H$	-22,36763 -3,7361201 0,077977521 52,815287	0,497830558	1,190033485	52,19	38,66302909 **

Quadro 23: Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do volume, em função do diâmetro de copa e da altura.

Regressão	Estimativas		Estatísticas		
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC}$	-4,034013690 0,183816693 0,299967298	0,711466711	0,898222503	39,40	145,4824714 **
2 $V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H$	-4,034001369 0,299967298 0,183816693	0,711466710	0,898222505	39,40	145,4824708 **
3 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC}$	-0,770174589 -0,014204686 0,017826763	0,773246540	0,796274723	34,92	201,194486 **
4 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$	4,520238475 -0,324314526 0,049226834 -0,592016802	0,818603561	0,715234441	31,37	175,9987083 **
5 $V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC}^2 + b_3 H \times \overline{DC}$	0,978130210 -0,439031974 0,018058152 0,019781646	0,8125266288	0,727116226	31,89	169,0295438 **
6 $V = b_0 + b_1 H \times \overline{DC}$	-0,957585199 0,017459080	0,772968572	0,793407829	34,80	405,1565061 **
7 $V = b_0 + b_1 H \overline{DC}^2$	0,325160053 9,16949E-04	0,801999670	0,740945796	32,50	482,0091273 **
8 $V = b_0 + b_1 H \sqrt{\overline{DC}}$	-2,387097596 0,082118598	0,707151532	0,901042566	39,52	287,4090107 **



Quadro 24: Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa transformado para Área de Copa através de  $AC = \pi \overline{DC}^2/4$ .

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3\sqrt{AC}$	4,920238577 -0,324314531 0,055546535 -0,668019436	0,818603566	0,715234432	31,27	175,9987136 **
2 $V = b_0 + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3 AC$	-1,443286659 0,055866966 0,12391239 0,00770704 E-03	0,775368837	0,795919315	34,91	134,6179410 **
3 $V = b_0 + b_1H\sqrt{AC} + b_2\sqrt{AC}$	0,604345256 0,025526896 -0,147578315	0,781648166	0,781383777	34,27	211,2061115 **

Quadro 25: Modelos de regressão semi-logarítmicos para a estimativa do volume em função do diâmetro de copa transformado para Área de Copa através de  $AC = \pi \overline{DC}^2/4$ .

Regressão	Estimativas Estatísticas				
	Coefficientes	R <sup>2</sup>	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1H \log AC + b_2H$	-15,30833957 0,144238816 -0,056406404	0,647136389	0,993320516	43,57	108,2034126 **
2 $V = b_0 + b_1H \log AC$	-2,094514196 0,130748341	0,644205547	0,993237430	43,56	215,4627748 **

meros 1 e 2 do quadro 22.

Através do mesmo critério utilizado para a escolha do melhor modelo para estimativa do DAP, isto é, selecionou-se a equação que apresentasse menor erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação mais elevado.

$$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \cdot \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$$

Tal modelo, modificado do apresentado por BONNOR<sup>17</sup>, apresenta erro padrão da estimativa de aproximadamente 31%. Este resultado vem de acordo com a afirmação de SPURR<sup>79</sup>, o qual menciona que em geral os erros na estimativa de volume em árvores individuais são altos, variando de 30 a 60% do volume médio. O mesmo autor comenta que todavia, ordinariamente estes erros se compensam quando todas as árvores podem ser vistas e medidas nas fotografias.

A equação:

$$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{\pi(\overline{DC}^2)/4} + b_3 \sqrt{\pi(\overline{DC})^2/4}$$

apresentou resultados semelhantes ao modelo escolhido e foi preterida em relação à primeira devido a maior complexidade em sua aplicação.

Os resultados referentes às equações testadas são apresentados nos quadros 24 e 25.

#### 4.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A OBTENÇÃO DE TABELAS DE VOLUME ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS POR VIA INDIRETA

Tabelas de volume obtidas por fotografias aéreas podem ser construídas por dois métodos, conforme já mencionado no capítulo 3.

O primeiro seria o da determinação do volume por cor

te e seccionamento das árvores envolvidas. O segundo caminho envolve inicialmente a estimativa do DAP e, quando o melhor modelo é o determinado pela combinação de diâmetro de copa (ou área de copa) e altura, após a medição desta, a determinação do volume através de equação ou tabela de volume já estudadas.

Considera-se que, pelo fato dos erros destas equações não serem considerados, estes resultados não são comparáveis aos obtidos através da primeira aproximação citada.

Porém, se é utilizada tabela de volume local, aplicável à espécie e região estudada, esta aproximação indireta pode trazer vantagens porque o DAP é mais fácil de ser obtido que o volume.

No presente trabalho utilizou-se da segunda metodologia para a estimativa do volume individual, ressaltando-se que o resultado pode ser utilizado para fins práticos já que as fotografias aéreas para serem passíveis de utilização em estimativas volumétricas devem apresentar resultados econômicos; porém seria preferível a construção de uma tabela de volume através da medição das variáveis diretamente nas fotografias, mesmo porque uma tabela construída por via indireta incorpora erros do modelo já anteriormente estudado através da medição das variáveis no campo e acrescenta erros de estimativa do DAP e medição da altura.

Dentro do exposto, a estimativa do DAP foi realizada após a definição do melhor modelo:

$$\text{DAP} = b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3H \times \overline{DC}$$

Com esta estimativa, e utilizando o modelo:

$$V = (b_0 + b_1/(D \times H) + b_2 \times D) \times D \times H$$

determinado por SIQUEIRA<sup>74</sup>, tabulou-se o volume onde:

V = volume total com casca

D = estimativa do DAP

H = altura da árvore medida na fotografia.

O primeiro passo, estimativa do DAP encontra-se no quadro 26.

No quadro 27 é apresentada a tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta.

#### 4.7. A COMPETIÇÃO DE COPAS COMO ÍNDICE DE DENSIDADE - DE TERMINAÇÃO DA AMC

Conforme já foi mencionado anteriormente, a utilização das fotografias aéreas no campo florestal, principalmente em regiões tropicais e sub-tropicais tem sido limitada a atividades que basicamente são englobadas na atividade planejamento de um Inventário.

Porém, através de fotografias aéreas de boa qualidade e em escala razoável pode-se também utilizar o diâmetro de copas para fins de manejo florestal.

Os resultados aqui apresentados devem ser estendidos como uma aplicação prática da utilização do AMC como um índice para avaliar e determinar densidade através de fotografias aéreas. Como os dados foram coletados em floresta natural, e levando-se em conta apenas uma determinada espécie da associação não foi considerada a competição existente en

Quadro 26: Tabela de DAP obtida através da equação  $DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \cdot \overline{DC}$

DC	A L T U R A (M)								
(M)	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0
1.0	28.1	26.0	23.9	21.9	19.8	17.7	15.7	13.6	11.5
2.0	29.6	27.9	26.3	24.6	23.0	21.3	19.6	18.0	16.3
3.0	31.1	29.9	28.6	27.4	26.1	24.9	23.6	22.4	21.1
4.0	32.6	31.8	30.9	30.1	29.3	28.4	27.6	26.7	25.9
5.0	34.1	33.7	33.3	32.9	32.4	32.0	31.6	31.1	30.7
6.0	35.7	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.5	35.5	35.5
7.0	37.2	37.6	38.0	38.4	38.7	39.1	39.5	39.9	40.3
8.0	38.7	39.5	40.3	41.1	41.9	42.7	43.5	44.3	45.1
9.0	40.2	41.4	42.6	43.8	45.1	46.3	47.5	48.7	49.9
10.0	41.7	43.3	45.0	46.6	48.2	49.8	51.5	53.1	54.7
11.0	43.2	45.3	47.3	49.3	51.4	53.4	55.4	57.5	59.5
12.0	44.8	47.2	49.6	52.1	54.5	57.0	59.4	61.9	64.3
13.0	46.3	49.1	52.0	54.8	57.7	60.5	63.4	66.3	69.1
14.0	47.8	51.1	54.3	57.6	60.8	64.1	67.4	70.6	73.9
15.0	49.3	53.0	56.7	60.3	64.0	67.7	71.4	75.0	78.7
16.0	50.8	54.9	59.0	63.1	67.2	71.2	75.3	79.4	83.5
17.0	52.3	56.8	61.3	65.8	70.3	74.8	79.3	83.8	88.3
18.0	53.9	58.8	63.7	68.6	73.5	78.4	83.3	88.2	93.1
19.0	55.4	60.7	66.0	71.3	76.6	82.0	87.3	92.6	97.9
20.0	56.9	62.6	68.3	74.1	79.8	85.5	91.2	97.0	102.7

Quadro 27: Tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta

$$\text{Equação } V = (b_0 + b_1 / (D \times H) + b_2 \times D) \times D \times H.$$

DAP	A L T U R A (M)								
(CM)	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0
28.0	0.3781	0.4461	0.5142	0.5822	0.6502	0.7182	0.7863	0.8543	0.9223
31.0	0.4601	0.5445	0.6290	0.7134	0.7978	0.8823	0.9667	1.0511	1.1356
34.0	0.5509	0.6535	0.7561	0.8587	0.9613	1.0639	1.1665	1.2691	1.3717
37.0	0.6506	0.7731	0.8956	1.0181	1.1407	1.2632	1.3857	1.5083	1.6308
40.0	0.7590	0.9033	1.0475	1.1917	1.3359	1.4801	1.6243	1.7686	1.9128
43.0	0.8763	1.0440	1.2117	1.3793	1.5470	1.7147	1.8824	2.0500	2.2177
46.0	1.0024	1.1953	1.3882	1.5811	1.7740	1.9669	2.1598	2.3527	2.5456
49.0	1.1373	1.3572	1.5771	1.7970	2.0168	2.2367	2.4566	2.6765	2.8964
52.0	1.2811	1.5297	1.7783	2.0269	2.2756	2.5242	2.7728	3.0215	3.2701
55.0	1.4336	1.7128	1.9919	2.2710	2.5502	2.8293	3.1084	3.3876	3.6667
58.0	1.5950	1.9064	2.2178	2.5292	2.8406	3.1521	3.4635	3.7749	4.0863
61.0	1.7652	2.1106	2.4561	2.8015	3.1470	3.4924	3.8379	4.1833	4.5288
64.0	1.9442	2.3255	2.7067	3.0880	3.4692	3.8505	4.2317	4.6130	4.9942
67.0	2.1320	2.5509	2.9697	3.3885	3.8073	4.2261	4.6449	5.0638	5.4826
70.0	2.3287	2.7868	3.2450	3.7031	4.1613	4.6194	5.0776	5.5357	5.9939
73.0	2.5342	3.0334	3.5326	4.0319	4.5311	5.0304	5.5296	6.0288	6.5281
76.0	2.7484	3.2905	3.8326	4.3747	4.9168	5.4589	6.0010	6.5431	7.0852
79.0	2.9715	3.5583	4.1450	4.7317	5.3184	5.9051	6.4919	7.0786	7.6653
82.0	3.2035	3.8366	4.4697	5.1028	5.7359	6.3690	7.0021	7.6352	8.2683
85.0	3.4442	4.1255	4.8067	5.4880	6.1692	6.8505	7.5317	8.2130	8.8942
88.0	3.6938	4.4249	5.1561	5.8873	6.6184	7.3496	8.0808	8.8119	9.5431
91.0	3.9521	4.7350	5.5178	6.3007	7.0835	7.8663	8.6492	9.4320	10.2149
94.0	4.2193	5.0556	5.8919	6.7282	7.5645	8.4007	9.2370	10.0733	10.9096
97.0	4.4954	5.3868	6.2783	7.1698	8.0613	8.9528	9.8443	10.7357	11.6272
100.0	4.7802	5.7286	6.6771	7.6255	8.5740	9.5224	10.4709	11.4193	12.3678
103.0	5.0738	6.0810	7.0882	8.0954	9.1026	10.1097	11.1169	12.1241	13.1313

tre esta e outras espécies, nem a área ocupada pelas mesmas.

Teoricamente a competição de espaço pelas copas inicia-se quando tal espaço está ocupado e cada copa de árvore é igual em área aquela existente para uma árvore em crescimento livre e, com o mesmo DAP. Esta condição é expressa com base no valor 100 para determinar a competição de copas pelo espaço livre. Assim, a densidade pode ser expressa como porcentagem.

Segundo KRAJICEK<sup>49</sup> o único local onde as relações DAP/DC não são compreendidas por outros fatores que interagem no ambiente seria em árvores de crescimento livre ou próximas disto.

Em função dos dados do presente trabalho praticamente atenderem a esta condição, o método foi aplicado a tais dados.

Conforme metodologia apresentada no item 3.12 do capítulo 3 a área da copa seria determinada por:

$$AMC = 0,0079 (\overline{DC})^2$$

O modelo encontrado para os dados do presente trabalho seria:

$$DC = - 0,089347838 + 0,204941414 \text{ DAP}$$

Tal equação foi obtida com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,73 e erro padrão da estimativa de 1,84 cm (aproximadamente 18%).

Através do anteriormente mencionado ter-se-ia

$$AMC = 0,0000632 - 0,000289140 \text{ DAP} + 0,0003318 \text{ DAP}^2$$

Assim o seguinte quadro pode ser montado:

Quadro 27: Determinação da área máxima de copa para a *Araucaria angustifolia*.

D	N	DN	D <sup>2</sup> N	% ha ACM/ÁRV.	ACM/TOTAL	NÚMERO ÁRV.REO.
20-24,9	2	44,9	1008,00	0,160800037	0,321600074	621
25-29,9	7	192,2	5274,5	0,242138437	1,694969059	413
30-34,9	4	129,8	4212,0	0,340066840	1,360267360	294
35-39,9	17	636,7	23842,5	0,454585240	7,727949080	220
40-44,9	14	594,3	25228,0	0,585693640	8,199710960	170
45-49,9	28	1328,6	63042,1	0,733392040	20,53497712	136
50-54,9	19	996,6	52269,0	0,897680440	17,05592836	112
55-59,9	8	459,6	26404,0	1,078558840	8,628470720	93
60-64,9	2	124,9	7800,0	1,276027240	2,552054480	78
65-69,9	4	269,8	18198,0	1,490085640	5,960342560	67
70-74,9	4	289,8	20996,0	1,720734040	6,88293616	58
75-79,9	6	464,7	35991,0	1,967972840	11,80783464	51
80-84,9	3	247,4	20394,0	2,231800840	6,695402520	44
85-89,9	2	174,9	15295,0	2,512219240	5,024438480	39
Σ	120	5954,2	319954,10		104,4468816	

Onde: D = DAP (cm)

N = N° de árvores por classe

AMC= área máxima de copa(m<sup>2</sup>)



Conforme já foi mencionado o AMC é a porcentagem de um hectare ocupada pela projeção vertical de uma copa. Este sendo conhecido, pode-se obter o número mínimo de árvores que são teoricamente suficientes para produzir o fechamento do dossel.

Assim, uma árvore com 8,10 m de diâmetro de copa possui um DAP estimado de 40 cm, que corresponde a 0,58% do ha. Para a utilização da área seriam suficientes 170 árvores.

O Fator de competição de copas ou FCC seria um índice de manutenção da densidade do povoamento.

Para os dados do presente trabalho o cálculo do FCC não seria indicado, já que seria necessária a determinação da densidade ideal, para uma finalidade específica, e após isto a elaboração de planos de Manejo através de fotografias aéreas. O FCC, tal como o ACM também seria obtido pela estimativa do DAP através da medição do  $\overline{DC}$ .

No entanto, sua obtenção encontra-se mencionada no item 2.12 do capítulo 2.

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que é possível a identificação e medição de árvores de *Araucaria angustifolia* em povoamentos naturais, através de fotografias aéreas. A maior dificuldade encontrada foi nas medições do diâmetro de copas do que a altura em função da ocorrência, em determinados casos, de superposição de copas. Ainda com relação à visualização das árvores, conforme o esperado, as classes com DAP menor foram mais difíceis de serem visualizadas como se percebe através do quadro 10 e figura 25.

Com relação à correlação simples entre parâmetros dendrométricos estudados verificou-se que para a *Araucaria angustifolia* o coeficiente de correlação simples (r) entre DAP e diâmetro de copas foi de 0,8530. A inclusão da variável altura, também medida nas fotografias aéreas, produziu um r de 0,8704 para DAP e a variável combinada  $H \cdot \overline{DC}$ .

Dentre os modelos testados para a estimativa do DAP com a variável única  $\overline{DC}$  (diâmetro da copa) a parábola oferece melhores resultados dentro dos critérios pré-determinados.

A inclusão da variável altura conduziu ao modelo de BONNOR<sup>17</sup> como o escolhido para a estimativa do DAP ou seja:

$$DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \times \overline{DC}$$

onde:

DAP = diâmetro a altura do peito

H = altura medida nas fotografias aéreas

$\overline{DC}$  = diâmetro da copa medido nas fotografias.

A equação  $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}^2$  produziu erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação se melhantes ao modelo de BONNOR. Assim, pode ser também considerada quando da estimativa do DAP de árvores de *Araucaria angustifolia*.

Também para a estimativa do volume a variável diâmetro da copa apresentou um coeficiente maior quando na forma  $(\overline{DC}^2)$ . A altura como variável única também para o volume não apresentou coeficiente de correlação alto (0,6726 para  $H^2$ ). Uma análise considerando a altura e diâmetro da copa sugere que para a estimativa do volume as variáveis mais correlacionadas seriam  $H \times (\overline{DC}^2)$  e  $H \times \overline{DC}$ .

Através de modelos encontrados na literatura, verifica-se que a equação que melhor se apresentou para a estimativa do volume foi o modelo de BONNOR.

$$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$$

embora equações que concluíssem o diâmetro da copa sob a forma Área de copa apresentassem resultados semelhantes.

Os modelos que incluem apenas a altura ou  $\log DC$  para estimativa do volume apresentaram erro padrão de estimativa bastante alto, em torno de 40 a 50%. Em virtude de tal situação, tais modelos não devem ser utilizados. Assim, a metodologia preconizada deve ser testada para outras circunstâncias, principalmente em escala maior.

## 6. RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivos principais:

a) Verificar a possibilidade de se efetuar medições em árvores individuais de *Araucaria angustifolia* em povoamento natural utilizando-se fotografias aéreas na escala 1:10000.

b) Estudar e selecionar modelos de regressão para estimar o diâmetro a altura do peito e o volume em função de parâmetros dendrométricos medidos nas fotografias aéreas.

Para tanto foram coletados dados de *Araucaria angustifolia* em povoamento natural e realizou-se medições de diâmetro de copa e altura das mesmas árvores em fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:10000.

A identificação da *Araucaria angustifolia* foi possível em função de características peculiares ao gênero e a espécie, não sendo possível, porém, na escala utilizada a identificação de outras espécies. A medição do diâmetro de copa e altura foi possível, com a maior dificuldade para a primeira variável.

Dentre as variáveis estudadas para correlação os mais altos coeficientes obtidos foram através da variável combinada  $H \times \overline{DC}^2$  tanto para DAP quanto para volume.

Dentre os modelos testados para a estimativa do DAP os melhores resultados foram alcançados com a equação:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H + b_3 H \times \overline{DC}$$

Para a estimativa do volume, a equação:

$$V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC} \text{ foi escolhida.}$$

É apresentada tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta e possibilidades de utilização da competição de copas como um índice de densidade,

## SUMMARY

This research has the following objectives:

a) to verify the possibility of measurement of *Araucaria angustifolia* trees in natural stands, through aerial photographs in a scale of 1:10000.

b) to study and to select regression models to estimate diameter at breast height and volume as a function of dendrometric variables measured in aerial photographs.

The data came from *A. angustifolia* natural stands located around Curitiba city. Crown diameter and height of individual trees were measured in panchromatic aerial photographs in a scale of 1:10000.

The identification of *A. angustifolia* was possible due to the characteristics of the genus and of the species. It was not possible to identify hardwood species in this scale of photography. Only was possible to measure the crown diameters and heights of trees, being the crown diameters more difficult to measure.

The combined variable  $H \cdot \overline{DC}$  (height.crown diameter) was more correlated with diameter breast height than any other tested variable. The product  $H \cdot \overline{DC}^2$  (height, crown diameter squared) was the most highly correlated variable with volume. The regression model  $DBH = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H + b_3 H \cdot \overline{DC}$  was

the best one to estimate diameter breast height.

$$V = b_0 + b_1H + b_2H.\overline{DC} + b_3\overline{DC}$$

was the best model to estimate volume.

An indirectly aerial volume table was also built and the possibilities of utilization of the crown competition as a density index were studied.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALDRED, A.H. Measurement of tropical trees on large-scale aerial photographs. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-86, 1976.
2. \_\_\_\_\_. & KIPPEN, F.W. Plot volumes from large-scale 70 mm air photographs. For.Sci, 13(4): 419-426, 1976.
3. \_\_\_\_\_. & LOWE, J.J. Application of large-scale photos to a forest inventory in Alberta. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-107, 1978.
4. \_\_\_\_\_. & SAYN-WITTGENSTEIN, L. Tree diameters and volume from large-scale aerial photographs. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-40, 1972.
5. ALLISON, G.W. An application of an aerial photo volume table to forest inventory work in British Columbia. For. Chron., 31(4): 366-68, 1965.
6. ALVAREZ, R.E. Principios de fotointerpretación aérea y su aplicación a los recursos forestales. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, 1., Buenos Aires, 1969. Actas del. Buenos Aires, 1970.
7. AVERY, G. Forester's guide to aerial photo interpretation. Occasional Paper, U.S. For. Serv. South. For. Exp. Sta., 156, 1957. 41 p.
8. \_\_\_\_\_. Composite aerial volume table for southern pines and hardwoods. J. For., 10: 741-45, 1958.
9. \_\_\_\_\_. & MEYER, M.P. Volume tables for aerial timber estimating in Northern Minnesota. Station Paper, U.S. Forest Service, Lake State For. Exp. Sta., 78, 1959. 21 p.
10. AVERY, T.E. Interpretation of aerial photographs. Minneapolis, Burgess, 1962. 193 p.
11. \_\_\_\_\_. Natural resources measurements. New York, McGraw-Hill, 1975. 339 p.
12. \_\_\_\_\_. & CANNING, J. Tree measurement on large-scale aerial photographs. New Zealand J.For., 18(2):252-64, 1973.



13. BERNSTEINS, D.A. Does magnification improve measurements of stand heights on aerial photographs? For.Chron., 34(4): 435-37, 1958.
14. BONINI, E.E. & BONINI, S.E. Estatística: teoria e exercícios. São Paulo, Loyola, 1972. 44 p.
15. BONNOR, G.M. Stem diameter estimates from crown width and tree height. Commonw. For. Rev., 47:8-13, 1967.
16. \_\_\_\_\_. A tree volume table for red pine by crown width and height. For. Chron., 40(3): 339-46, 1964.
17. \_\_\_\_\_. Forest inventories with large-scale aerial photographs: an operational trial in Nova Scotia. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-96, 1977.
18. \_\_\_\_\_. Estimation versus measurement of tree heights in forest inventories. For.Chorn., 50(5), 1974.
19. CARRASCO, J.E.I. Las fotografías aéreas en la estimación del volumen de bosques secundarios en el tropico. Turrialba, 1962. 48 p. Tese. Mestrado. IICA.
20. CERENA. Inventário do pinheiro do Paraná. Curitiba, 1966. 104 p.
21. CLARKE, B.M. The forest resources inventories of Ontario, 1946-1952.
22. COCHRAN, W.G. Sampling techniques. Massachusetts, J. Wiley, 1977. 428 p.
23. COLLINS, J.R. A check on the accuracy of tree heights taken from aerial photographs. For. Chron, 33(2):168-9, 1957.
24. CURTIS, R.O. & REUKEMA, D.L. Crown development and site estimates in a Douglas-fir plantation spacing test. For. Sci., 16(3): 287-301, 1970.
25. DAWKINS, H.C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. Commonw. For.Rev., 42(4): 318-33, 1963.
26. FREESE, F. Linear regression methods for forest research. U.S. For. Serv. Res. Pap. FPL-17, 1964. 137 p.
27. FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ-FUPEF. Inventário florestal do Pinheiro no sul do Brasil. Curitiba, 1978. 327 p.
28. GERRARD, D. Error propagation in estimating tree size. Photogram. Eng., 35(4): 355-62, 1969.
29. GLERUM, B.B. & HEINSDIJK, D. Inventories and commercial possibilities of Brazilian forests. Turrialba, 17(1): 337-47, 1967.

30. GOLFARI, L. Coníferas aptas para reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. B. Técn. IBDF, 1, 1971. 71 p.
31. GRINGRICH, S.F. & MEYER, H.A. Construction of an aerial stand volume table for upland oak. For. Sci., 1(2): 140-7, 1955.
32. GROSENBAUCH, L.R. Rex-Fortran 4 system for combinatorial screening or convention analysis of multivariate regressions. U.S. For. Serv. Res. Pap. PSW-44, 1967. 44 p.
33. GRUNER, H. Photogrammetry: 1776-1976. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 43(5): 469-74, 1977.
34. GUPTA, P.N. Photo mensuration investigations for *Tectona grandis* in Allapalli (M.S., India). In: SYMPOSIUM IUFRO ON REMOTE SENSING, INCL. AERIAL PHOTOGRAPHY, Freiburg, 1973. Proceedings. Freiburg, 1974. p. 65-86.
36. HEINSDIJK, D. The upper storey of tropical forest. I. Trop. woods, 107: 66-84, 1957.
37. \_\_\_\_\_. II. Trop. Woods, 108: 31-45, 1958.
38. \_\_\_\_\_. Volumes do pinheiro; tabelas de volume e outros dados sobre o pinheiro brasileiro no estado de Santa Catarina. Anu.bras. Econ. flor., 11: 176-99, 1959.
39. \_\_\_\_\_. Interpretação florestal de fotografias aéreas. Anu. bras. econ. flor., 12:234-57, 1960.
40. HETHERINGTON, J.C. Crown diameter: stem diameter relationship in managed stands of sitka spruce. Commonw. For. Rev., 46(4): 278-81, 1967.
41. HOLLERWÖGER, F. Is there correlation in the teak forests between crown diameter and the height of trees with regard to the diameter at breast height? J. Scient. Res. Indonesia, Djakarta, 3(1): 3-20, 1954. /Resumo/
42. HUECK, K. As florestas da America do Sul. São Paulo, Polígono, 1972. 466 p.
43. JENSEN, J.R. Computer graphing feature analysis and selection. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 45(11): 1507-12, 1979.
44. KAHLEYSS, D.& KLIER, G. Untersuchungen zur Ermittlung-holzmesskunflicher Daten aus Lufybildern bei der Holzart Fichte. Arch. f. Forstwesen, 17(4): 369-80, 1968.
45. KIPPEN, F.W. & SAYN-WITTGENSTEIN, L. Tree measurements on large-scale vertical 70 mm air photographs. Dep. For. Pub., For. Res. Branch, Ottawa, n. 1503, 1964. 16 p.

46. KLEIN, R.M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. Sellowia, Itajaí, 12: 17-44, 1960.
47. \_\_\_\_\_. Árvores nativas da mata pluvial da costa atlântica de Santa Catarina. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1., Curitiba, 1968. Anais. Curitiba, FIEP, 1969. p. 65-103.
48. \_\_\_\_\_. Necessidade da pesquisa das florestas nativas para uma exploração racional e manejo eficiente das mesmas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1., Curitiba, 1968. Anais. Curitiba, FIEP, 1969. p. 125-8.
49. KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, K.A. GRINGRICK, S.F. Crown competition: a measure of density. For. Sci., 7(1): 35-42, 1961.
50. LAMONT, R.H.; TROCHLIL, R.C.; MEYER, M.P. A test of a composite aerial stand volume outside the locality of origin. Forest Notes, Minnesota, n. 168, 1966. 2 p.
51. LOETSCH, F. & HALLER, K.E. Forest inventory. München, BLV Verlagsgesellschaft, 1972-3. 2 v.
52. LUNA L., A. Estudio preliminar de algunos elementos estadísticos para la evaluación de bosques tropicales con ayuda de fotografías aéreas. R. forestal Venezolana, 7(10/11): 5-16, 1964.
53. MAACK, R. Geografia física do estado do Paraná. Curitiba, CODEPAR, 1968. 350 p.
54. MacLEAN, C.D. Improving forest inventory area statistics through supplementary photo interpretation. J.For., 61(7): 512-6, 1963.
55. MARSHALL, J.R. & MEYER, M.P. Field evaluation of small-scale forest resources aerial photography. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 44(1): 37-42, 1978.
56. MATTOS, J.R. O pinheiro brasileiro. São Paulo, Gremio Politécnico, 1972. 638 p.
57. MATTOS Fº, A. de M. & LABORIAN, L.F.G. Notas preliminares sobre a região da *Araucaria*. Anu. bras. econ.flor., 1: 308-59, 1953.
58. MEYER, M.P. & TRANTOW, L.H. A coparison of 6 inch plannigon lens with conventional 8,25 inch lens aerial photography for forestry purposes. J. For., 57(9): 634-6, 1959.
59. MINOR, C.O. Stam-crown diameter relations in southern pine. J. For., 49(7): 490-93, 1951.

60. NAKAYAMA, H. A study on forest survey from aerial photographs. B. Nagoya Univ. Forests, n. 1, 1958. 63 p. /Resumo/
61. NIELSEN, U. Trees and stand measurements from aerial photographs: an annotated bibliography. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-20, 1971. 111 p.
62. \_\_\_\_\_. & ALDRED, A.H. Can tropical forest inventories be negit from recent developments in aerial photography? Ontario, Canadian Forestry Service, Forest Management Institue, 1976. 16 p. "Paper presented at he 16. IUFRO World Congress, Oslo Norway, 1976".
63. \_\_\_\_\_. ; ALDRED, A.H. & MacLEOD, D.A. A forest inventory in the Yukon using large-scale photo sampling techinques. Information Report, Forest Management Institute, Otta wa, FMR-X-121,
64. NYSSÖNEN, A. On the estimation of the growing stock from aerial photographs. Commun. Inst. For. Fenniae, 46(1): 1-57, 1955. /Resumo/
65. OLIVEIRA, B. As regiões de ocorrência normal da *Arauca ria*. Anu. bras. Econ. flor., 1: 185-99, 1948.
66. POPE, R.B. Aerial photo volume tables for Douglas-fir in the Pacific Northwest. Res. Note, Pacific North west For. Range Exp. Sta., n. 124, 1961.
67. REITZ, T. & KLEIN, R.N. Araucariaceas. Itajaí, Herbá rio "Barbosa Rodrigues", 1966. 62 p. (Flora Ilus- trada Catarinense).
68. REUKEMA, D.L. Crown expansion and stem radial growth of Douglas-fir as influenced by release. For.Sci., 10(2): 192-9, 1964.
69. RIZZI, M. & PETRI, S. Princípios de aerofotogrammetria e interpretação geológica. São Paulo, Companhia Edi tora Nacional, 1965. 226 p.
70. SAYN-WITTGENSTEIN. L. & ALDRED, A.H. Error analysis by computer simulation. Photogram. Eng.,
71. \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Tree volumes from large scale photos. Pho- gram. Eng., 33(1): 69-73, 1967.
72. \_\_\_\_\_. & ---. Tree size from large scale photos. Photo- gram. Eng., 38(10):69-73, 1972.
73. SCHNEIDER, P.R. Modelo de equação e tabelas para ava- liar o peso de casca de acácia negra, *Acacia mearnsii*. Curitiba, 1978. 149 p. Dissertação. Mestrado. Uni- versidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Flo restal.

74. SIQUEIRA, J.D.P. Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do Brasil. Curitiba, 1977. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
75. SHIMIZU, J.Y. & OLIVEIRA, Y.M.M. de. Distribution, variation and uses of *Araucaria* gene resources in southern Brazil. /Não publicado/
76. SILVA, J.A. da. Estimativa do diâmetro de copa e idade do Pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*, Bert. O. Ktze) em ambiente natural. Brasil flor., 8(31): 24-9, 1977.
77. \_\_\_\_\_. Comprimento do tronco, relação altura-diâmetro e altura-idade do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze) e folhosas associadas em ambiente natural. Brasil flor., 9(34): 43-50, 1978.
78. SMITH, J.H.C. & CHIAM, Y.C. Studies of tree stocking and use of crown-width ratios to refine estimates of stand density. Photogram. Eng., 36(10): 1094-5, 1970.
79. SPURR, S. Photogrammetry and photo-interpretation. New York, Ronald Press, 1960. 472 p.
80. \_\_\_\_\_. & BROWN, Jr., C.T. Tree height measurements from aerial photographs. J. For., 44(10): 716-21, 1946.
81. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
82. STELLINGWERF, D.A. Application of aerial volume tables and aspects of their construction. In: IUFRO SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, INCL. AERIAL PHOTOGRAPHY, Freiburg, 1973. Proceedings. Freiburg, 1974. p. 211-28.
83. \_\_\_\_\_. Application of aerial photography to gross mean annual volume growth determination. In: IUFRO SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, INCL. AERIAL PHOTOGRAPHY, Freiburg, 1973. Proceedings. Freiburg, 1974. p. 229-50.
84. SWELLENGREBEL, E.J.G. On the value of large-scale aerial photographs in British Guiana Forestry. Empire For. Rev., 38: 54-64, 1959.
85. TOMAR, M.S. & MASLEKAR, A.R. Aerial photographs in land use and forest surveys. Dehra Dun; Jugal Kishore, 1974. 210 p.
86. VEZINA, P.E. Crown-width - d.b.h. relationships for open-grown balsam fir and white in Quebec. For. Chron., 38: 463-73, 1962.

87. VOLKART, C.M. Determinación de la relación diámetro copa/ diámetro do tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliottii* en la Provincia de Misiones. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, 1., Buenos Aires, 1969. Actas. Buenos Aires, 1970. p. 231-7.
88. WOLTERS, J.A.M. Accuracy of analytics by computer simulation. Photogram. Eng., 34(10): 1084-92, 1968.

A P E N D I C E

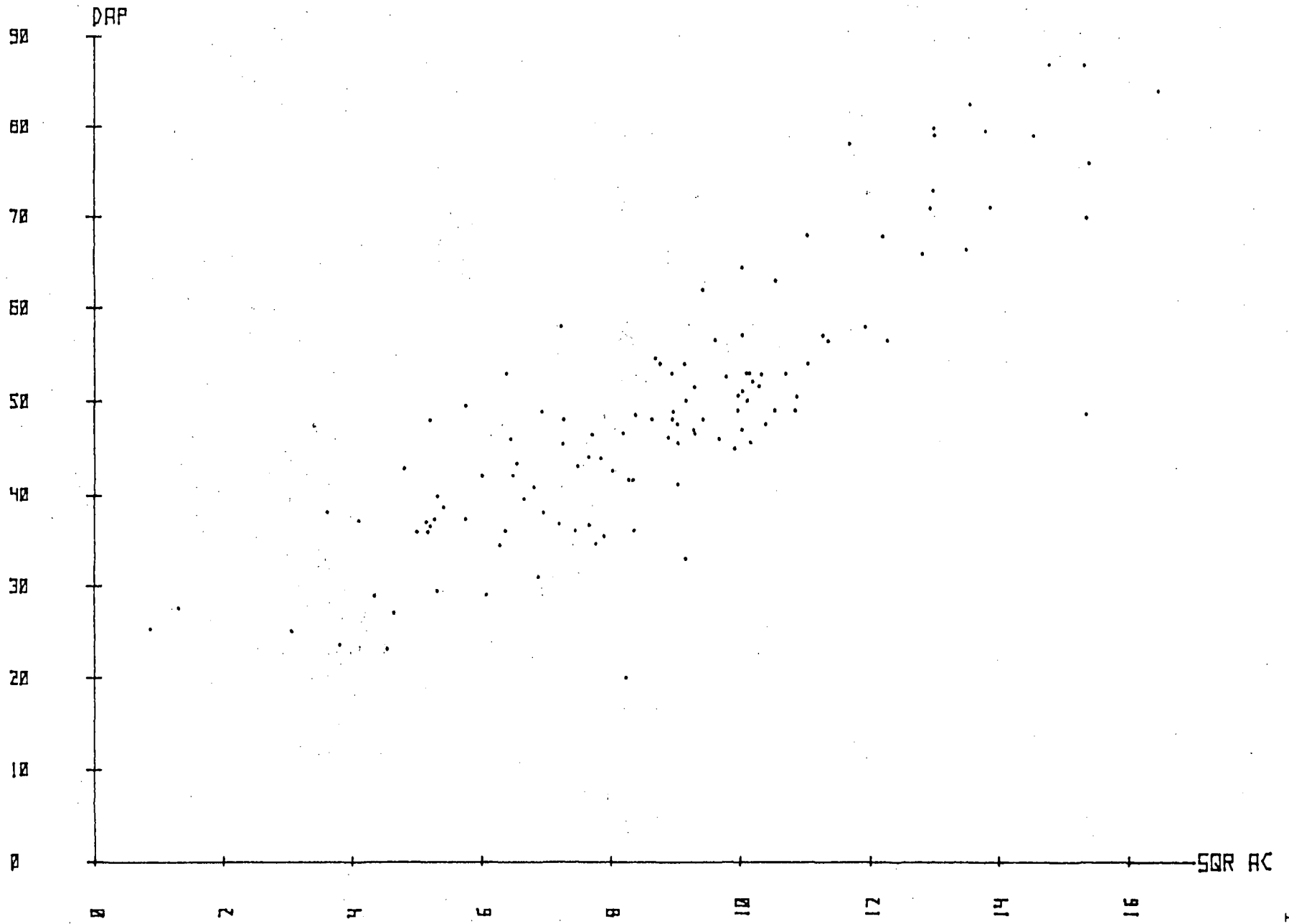


Figura 31: Relação existente entre DAP e  $\sqrt{\pi(DC)^2/4}$



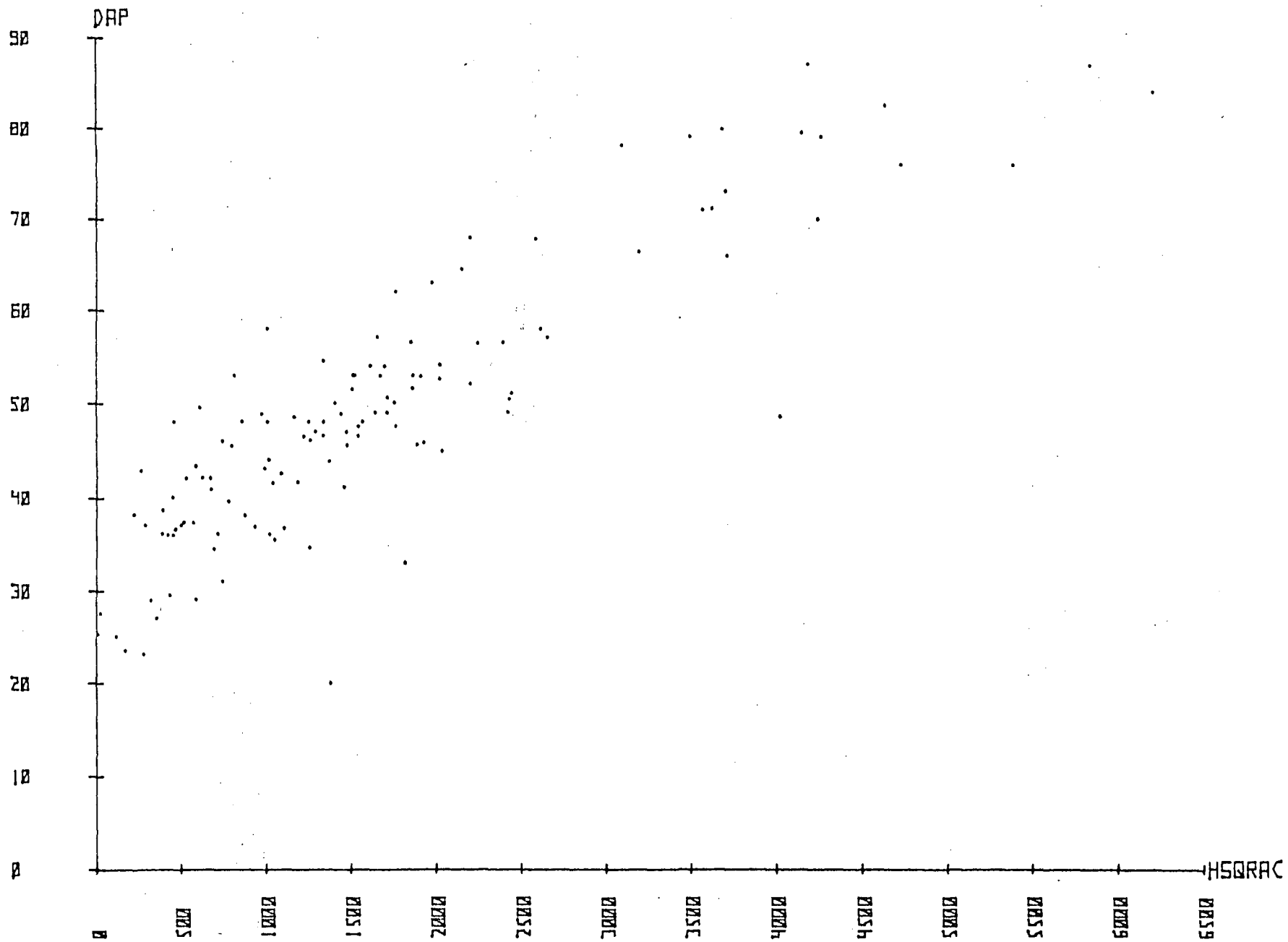


Figura 32: Relação existente entre DAP e  $H \cdot \sqrt{\pi (DC)^2 / 4}$

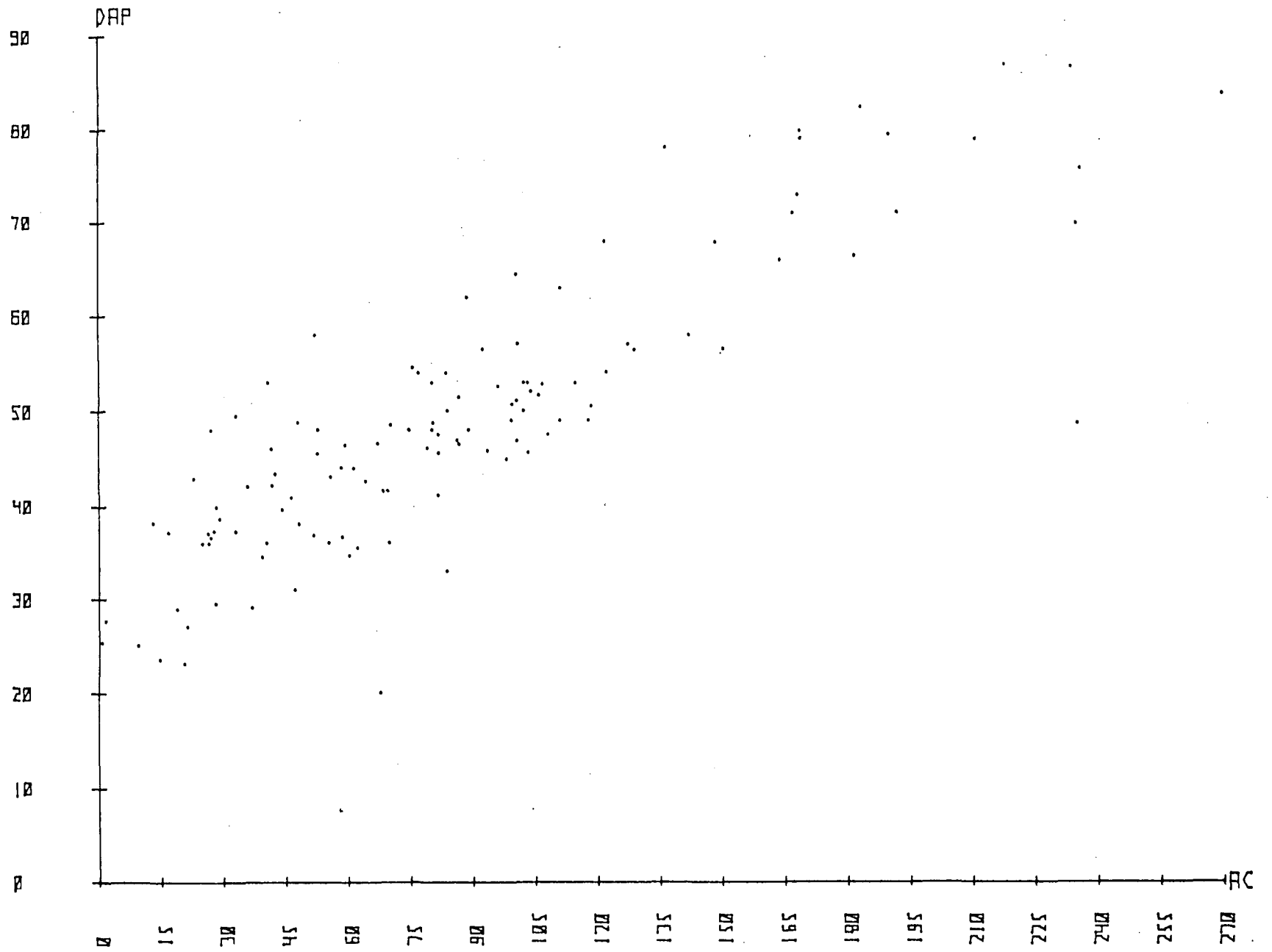


Figura 33: Relação existente entre DAP e  $\pi(DC)^2/4$ .

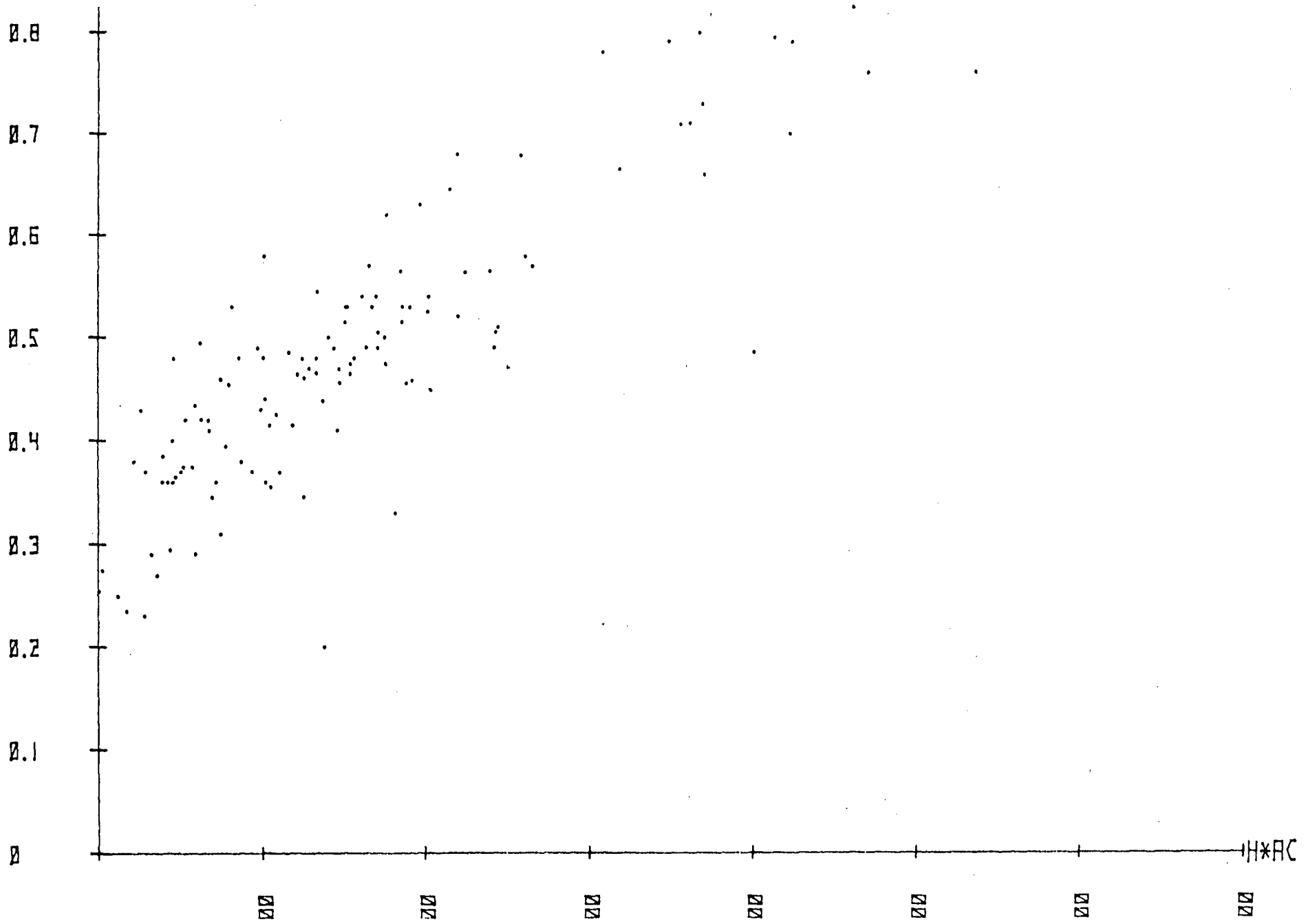


Figura 34: Relação existente entre DAP e  $H \cdot \pi(DC)^2 / 4$ .

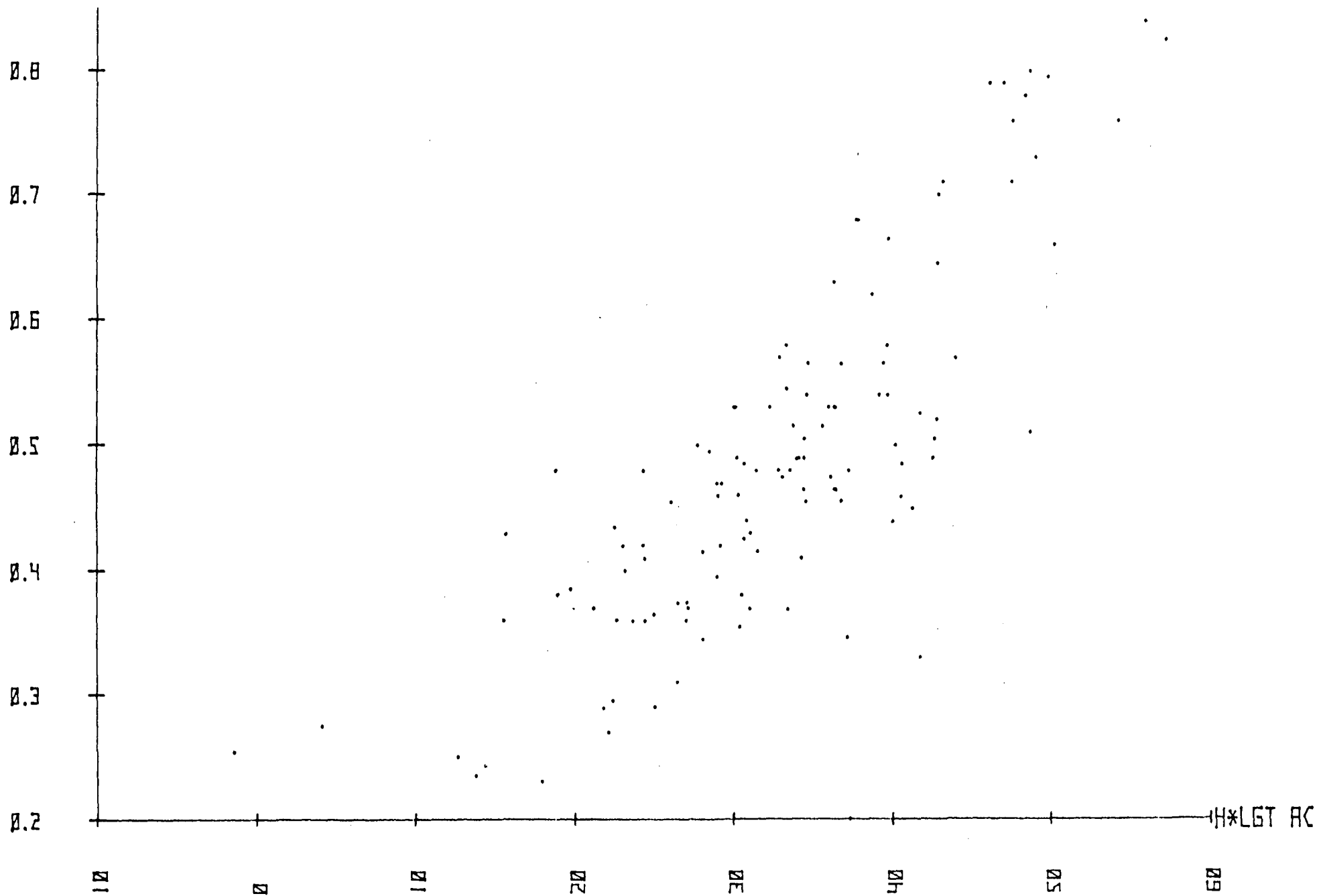


Figura 35: Relação existente entre DAP e  $H \cdot \log \pi(\overline{DC})^2/4$

FICHA DE CAMPO

Local: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Área: \_\_\_\_\_

Nº Total de Árvores da Espécie Considerada: \_\_\_\_\_

Árvore nº: \_\_\_\_\_

Altura Total: \_\_\_\_\_

DAP: \_\_\_\_\_

Altura do Tronco: \_\_\_\_\_

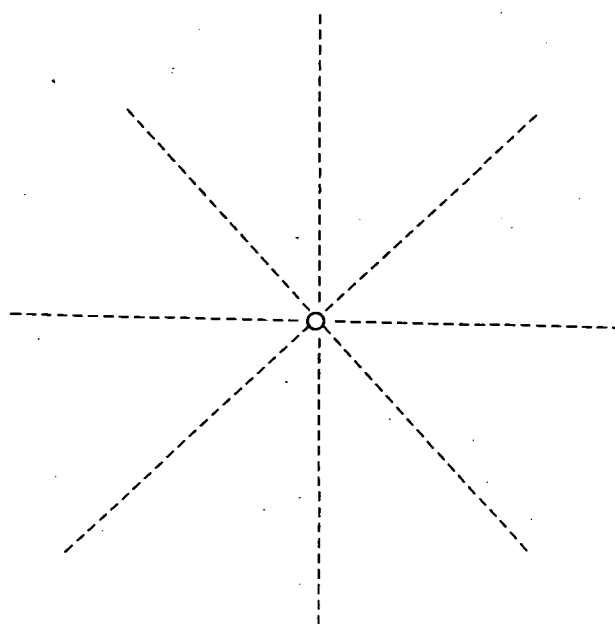


FIGURA 36: Formulário de campo para medição da área de copa.