

ROBERTO PEDRO BOM

AVALIAÇÃO DO PROCESSO 3-P EM PLANTIOS HOMOGÊNEOS PARA
A VARIÁVEL DIÂMETRO

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção do 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

1979



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

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 pelo candidato *ROBERTO PEDRO BOM*, sob o título "AVALIAÇÃO DO PROCESSO 3-P EM PLANTIOS HOMOGÊNEOS PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO", 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 o candidato 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, 23 de novembro de 1979.

Professor Luiz Benedito Xavier da Silva - M.Sc
Primeiro Examinador

Professor Sebastião do Amaral Machado - Ph.D
Segundo Examinador

Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa - Ph.D
Presidente



A
JOAO PEDRO BOM

QUE NA SUA INCOGNITUDE
TRABALHOU E ENGRANDECEU
ESTE PAÍS

DEDICO

BIOGRAFIA

Roberto Pedro Bom, filho de Rubens Pedro Bom e Emilia Westphalen Pedro Bom, nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, no dia 07 de julho de 1950.

Concluiu o Curso Primário no Colégio Bom Jesus, em Curitiba, e o Secundário no Ginásio São José, Porto União, Estado de Santa Catarina.

Em 1966, iniciou a Escola Preparatória de Cadetes do Ar em Barbacena, Estado de Minas Gerais.

Em 1969, iniciou a Escola de Cadetes do Ar. Em 1971 iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em 1974.

Iniciou em março de 1975 o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, com especialização na Área de Manejo Florestal, concluindo os requisitos para o grau de M.Sc. em dezembro de 1976.

Atualmente exerce o cargo de Sócio Diretor Técnico da Empresa Moosmayer Associados, Consultores de Recursos Florestais Ltda., tendo iniciado estas atividades em janeiro de 1977.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores, Professores Sylvio Péllico Netto, Sebastião do Amaral Machado e em especial ao Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa, pela orientação, estímulo e compreensão.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização deste Curso e do trabalho apresentado.

A meus amigos Heinrich Moosmayer e Ivo José Rover pelos estímulos e colaboração.

Aos demais Professores, Funcionários, Colegas de Curso e amigos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

Em especial aos meus Pais e minha Esposa pelo apoio, estímulo e compreensão dispensados no decorrer do Curso.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Amostragem Aleatória	4
2.2. Tamanho e Forma da Unidade de Amostra	6
2.3. O PROCESSO TRÊS-P	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Material	22
3.1.1. População	22
3.1.1.1. Localização	22
3.1.1.2. Clima	24
3.1.2. Obtenção dos dados	24
3.1.2.1. Informações existentes	24
3.1.2.2. Coleta de dados	25
3.1.2.2.1. Diâmetros	25
3.1.2.2.2. Alturas	25
3.1.2.2.3. Fator de forma	26
3.2. Metodologia	26
3.2.1. Cálculo dos parâmetros da Área A	27
3.2.1.1. Número de amostras e precisão requeri- da	27

	Página
3.2.2. Estimativa dos parâmetros pelo Processo Convencional de Medição	28
3.2.3. Estimativa dos parâmetros pelo Processo 3-P....	30
3.2.3.1. Cálculo do Número Ideal de Indivíduos a serem amostrados dentro da parcela..	31
3.2.3.2. Geração da Tabela de Números Aleatórios e Inteiros	36
3.2.3.3. Procedimento	37
3.2.3.4. Cálculos	37
4. RESULTADOS	39
4.1. Resultados obtidos na Área "A"	39
4.1.1. Utilização das Equações Hipsométricas e Volumétricas	39
4.1.2. Resultados obtidos pelo Processo Convencional..	40
4.1.2.1. Área transversal média	40
4.1.2.2. Alturas	41
4.1.2.3. Fator de forma	41
4.1.3. Resultados obtidos pelo Processo 3-P	44
4.1.3.1. Levantamento de campo	44
4.1.3.2. Cálculo do Número Ideal de Indivíduos a serem amostrados dentro da parcela..	44
4.1.3.3. Tabela de números aleatórios inteiros.	56
4.1.3.4. Folha de campo	58
4.1.3.4.1. Resultados finais	58
4.1.3.4.2. Resultados pela análise estatística Base: At	62
4.1.3.4.3. Resultados pela análise estatística Base: Equação Hipsométrica e Volumétrica	63

	Página
4.1.3.5. Comparação de todos os resultados obtidos	65
4.2. Resultados obtidos na Área B	67
4.2.1. Geração da Tabela de Números Aleatórios	67
4.2.2. Resultados da Área de Plantio 1969	68
4.2.2.1. Análise estatística pelo Processo Convencional	69
4.2.2.2. Análise estatística pelo Processo 3-P.	70
4.2.2.3. Resumo dos resultados obtidos da área de plantio 1969	70
4.2.3. Resultados na Área de Plantio 1970	73
4.2.3.1. Resultados obtidos pelo Processo Convencional	73
4.2.3.2. Resultados obtidos pelo Processo 3-P.	75
4.2.3.3. Resultados obtidos por cálculos com Diâmetro Médio Real	76
4.2.3.4. Resumo dos resultados obtidos da área de plantio 1970	77
5. DISCUSSÕES	80
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
7. RESUMO	84
8. SUMMARY	86
9. BIBLIOGRAFIA	88
APÊNDICE	90

LISTA DE FIGURAS

	Página
01. Localização das Áreas de Estudo	23
02. Relação Diâmetro-Altura - Figura 01	42
03. Comportamento de \bar{Sx} em relação a \underline{m} com \underline{n} fixo Figura 02	48
04. Ponto de Curvatura Máxima para $T1 = 10'$ e $T2 = 30''$ - Figura 03	50
05. Ponto de Curvatura Máxima para $T1 = 12'$ e $T2 = 30''$ - Figura 04	53
06. Ponto de Curvatura Máxima para $T1 = 14'$ e $T2 = 30''$ - Figura 05	55
07. Folha de Campo nº 01	59
08. Folha de Campo nº 02	60

LISTA DE TABELAS

		Página
01.	Resultados obtidos pelas equações hipsométricas e volumétricas	39
02.	Fatores de forma calculados	41
03.	Resultados obtidos pelo processo convencional..	46
04.	Comportamento de $S\bar{x}$ em relação ao número de indivíduos dentro da amostra (n fixo)	47
05.	Variação do tempo total de medição para T1 = 10' e T2 = 30"	49
06.	Variação do tempo total de medição para T1 = 12' e T2 = 30"	52
07.	Variação do tempo total de medição para T1 = 14' e T2 = 30"	54
08.	Números aleatórios gerados para uma amostra ...	57
09.	Cálculo do diâmetro médio pelo processo 3-P ...	64
10.	Comparação dos volumes calculados	65
11.	Comparação dos resultados	66
12.	Resultados obtidos na área de plantio 1969	71
13.	Resultados finais da análise estatística área de plantio 1969	74
14.	Resultados obtidos na área de plantio 1970	78
15.	Resultados finais da análise estatística área de plantio 1970	79

1. INTRODUÇÃO

A crescente escassez de recursos naturais e a conscientização da importância da madeira como recurso natural renovável, apresentado em toda uma conjuntura mundial, atribuiu ao Brasil uma posição altamente favorável como fornecedor de matéria-prima florestal, baseada, tanto nas suas reservas nativas, como no seu potencial ecológico para plantações de espécies de rápido crescimento.

Antevendo esta mudança histórica, o Governo brasileiro adotou uma política florestal agressiva, para assegurar a posição do país frente a uma nova era mundial.

Como resultado desta política adotada, foram implantadas centenas de milhares de hectares de povoamentos homogêneos.

Após decorridos alguns anos do início dos plantios, é chegado o momento de ser aproveitado, industrialmente, tal potencial. E como primeiro passo para qualquer discussão faz-se necessário quantificar tal potencialidade.

O objeto do presente trabalho é analisar uma das alternativas para um processo de estimativa de parâmetros florestais, sem que seja alterada determinada precisão requerida, efetuando os trabalhos em um menor espaço de tempo.

Observados os procedimentos de campo e de escritório, pode-se notar a evolução dos métodos aplicados nos inventários florestais.

São decorridos alguns anos, quando os levantamentos de

campo eram executados, medindo-se todos os diâmetros e alturas, cujos resultados reportavam a estimativa do volume.

Esta mesma estimativa foi reportada, mais tarde, medindo-se todos os diâmetros e apenas algumas alturas em torno do diâmetro de área basal média.

Em outros inventários, eram aferidas antes dos levantamentos de campo, as estimativas visuais para as alturas efetuadas pelos técnicos. Assim, o procedimento de campo consistia em medir todos os diâmetros e estimar, visualmente, a altura.

Em diversas empresas do Canadá é utilizado um processo de avaliação, com a participação de três técnicos, percorrendo o povoamento em linhas, estimando, visualmente, o volume de cada árvore. Ao final, somando-se os valores individuais, obtém-se o volume da área percorrida. A média aritmética obtida dos resultados é reportada para todo o povoamento. É indiscutível que, para serem obtidos bons resultados com tal processo, os técnicos devam ter uma excelente acuidade visual e prática em estimativas volumétricas.

Foi observado que, não raras vezes, nos trabalhos de inventário florestal, existe uma disputa entre os técnicos, quando da medição de diâmetros e alturas. Essa disputa consiste em que um dos técnicos prediga o parâmetro a ser medido e compare posteriormente seu valor real.

Estes fatos e observações realizadas pelo autor, demonstram que os resultados da predição e medição são correlatos, ou seja, a predição variou sempre de 1 a 2 unidades acima ou abaixo do valor real medido.

Na pesquisa bibliográfica, um processo vem particula-

rizar esta situação, pela qual não seria necessária a medição de todos os diâmetros ou alturas, que é denominado TRÊS-P, de L.R. Grosenbaugh, ou como é conhecido originalmente "Proportional Probability to Prediction" (Probabilidade Proporcional à Predição), cujo processo se prende o trabalho aqui desenvolvido.

1.1. OBJETIVOS

Analisados os fatos e observações anteriormente expostos, esta pesquisa tem por objetivos:

- 1.1.1. Utilizar, dentro do processo da amostragem inteiramente aleatório, as medições pelo método Três-P, em povoamentos homogêneos plantados.
- 1.1.2. Determinar o número de indivíduos, dentro da amostra, que deverão ser medidos na aplicação do método Três-P.
- 1.1.3. Testar o método Três-P na predição da variável: diâmetro.
- 1.1.4. Analisar os resultados obtidos pelo método Três-P e compará-los:
 - a) com valores reais conhecidos;
 - b) com o processo inteiramente aleatório em um povoamento, cujos parâmetros não sejam conhecidos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - AMOSTRAGEM ALEATÓRIA

FREESE¹⁰, define a amostragem aleatória simples, como sendo um processo fundamental a todos os outros processos de amostragem. A idéia fundamental deste processo é que, ao escolher uma amostra de "n" unidades, cada combinação possível das "n" unidades deve ter igual probabilidade de ser escolhida. Isto equivale dizer que, cada unidade na população tem igual oportunidade de ser escolhida.

Esta idéia, expressa de outra maneira, diria que a eleição de qualquer unidade deve ser totalmente independente da escolha das outras unidades. Uma maneira para se alcançar tal condição, consiste em numerar cada unidade dentro da população e depois extrair "n" números de uma tabela de números aleatórios.

A seleção das unidades pode ser realizada com ou sem reposição. Com reposição, a unidade escolhida terá oportunidade de ser escolhida novamente, e sem reposição a unidade só terá a probabilidade de ser escolhida uma vez.

A definição da amostragem aleatória por HUSCH¹⁹ reafirma ser esta uma aplicação prática da teoria das probabilidades, e as amostras devem ser escolhidas ao acaso e em sorteios independentes, o que eliminará erros sistemáticos e permitirá calcular a precisão da estimativa e mesmo antecipar

com segurança o número de unidades de amostras a serem medidas.

No MANUAL DE INVENTÁRIO FLORESTAL²⁰, admite que neste tipo de amostragem a distribuição de todas as estimativas possíveis, correspondentes a todas as amostras do mesmo tamanho "n" (que não é a distribuição do parâmetro da população), é uma distribuição normal. Esta hipótese se verifica, aproximadamente, quando o número "n" de elementos da amostra é suficientemente grande: admite-se geralmente que a distribuição normal dos valores se consegue quando "n" $\geq 30^*$, qualquer que seja a distribuição do parâmetro na população amostrada.

GOMES¹¹, quando analisa o processo inteiramente aleatório se refere como sendo o processo preferível para povoamentos homogêneos, de áreas pequenas e com relativa acessibilidade.

* Esta hipótese é, naturalmente, um pouco arbitrária. Por exemplo, se os elementos da amostra são parcelas de mesmo tamanho em uma superfície florestal e o parâmetro é o "número de árvores de uma espécie determinada com mais de 10 cm de diâmetro", a estimativa $\hat{\mu}$ da média por elemento deste parâmetro pode ter uma distribuição aproximada, quando se calcula para amostras de somente quinze elementos, se estas são parcelas de 0,4 ha; entretanto, a dita distribuição de $\hat{\mu}$ não se pode considerar normal entre as amostras de sessenta elementos, se são parcelas de 0,1 ha. Com estas reservas, o número de 30 pode ser considerado como uma ordem aceitável de magnitude do tamanho mínimo da amostra, para que a distribuição dos valores $\hat{\mu}$ possa ser considerada normal.

2.2 TAMANHO E FORMA DA UNIDADE DE AMOSTRA

A área da unidade amostral está diretamente relacionada com o número de indivíduos (árvores) contidos na mesma.

Os trabalhos publicados com referência ao assunto têm demonstrado a dependência entre a variância da média de parcelas e seu tamanho. As observações demonstram que há o decréscimo da variância em função do aumento da área da parcela ou amostra, ocorrendo o mesmo com relação aos coeficientes de variação. Utilizando estas propriedades, FEDERER⁹ propôs o método da curvatura máxima para a determinação do tamanho ideal de parcelas ou amostras. O princípio do método consiste em locar-se em gráficos os coeficientes de variação, em função dos respectivos tamanhos das amostras e, posteriormente, a construção de um gráfico ligando as coordenadas. Como resultado, a área ótima para as amostras é encontrada no ponto de máxima curvatura. Se a unidade de medida é fixa, serão obtidos melhores resultados.

A utilização do método da curvatura máxima deu-se pela primeira vez no campo florestal por EVANS et al.⁸ que estabeleceram tamanhos ideais de amostras para povoamentos de vinte anos de idade e para estimativas de parâmetros como: altura total, diâmetro à altura do peito, espessura da casca, etc. Baseando-se no método da curvatura máxima, os autores concluíram que uma amostra, contendo vinte árvores, seria a de área ideal. Contudo, levando-se em consideração a heterogeneidade dos vários sítios de plantio, arbitram ser a melhor amostra a de vinte e cinco árvores.

Segundo SPURR³⁰, o tamanho da amostra deve ser tal que,

ordinariamente, inclua pelo menos 20 a 30 árvores mensuráveis, cuja área seja tão restrita que não requeira tempo em demasia para sua mensuração. Interpretando a afirmativa, ter-se-ia que, para árvores de grandes dimensões são necessárias parcelas igualmente de grandes dimensões. O mesmo é válido para povoamentos abertos. Em povoamentos plantados, homogêneos e densos, parcelas pequenas são desejáveis e satisfatórias para as estimativas. Pelo autor, parcelas de 1.011 m² (um quarto de acre), podem ser utilizadas como padrões em povoamentos de árvores adultas, recomendando, contudo, parcelas maiores para povoamentos abertos. Para povoamentos jovens, a parcela padrão estaria entre 400 m² e 800 m² (de um décimo a um quinto de acre).

Trabalhos realizados por SPURR³⁰ nos Estados dos Grandes Lagos, USA, levaram à recomendação nas quais árvores de 60 centímetros de diâmetro ou mais, devem ser levantadas em parcelas de 4.044 m² (um acre); árvores entre 25 e 30 centímetros em parcelas de 800 m² (um quinto de acre); árvores com diâmetro entre 15 e 20 centímetros, em parcelas de 400 m² (um décimo de acre); e árvores com diâmetros de 5 a 10 centímetros, em parcelas de 270 m² (um quinze avos de acre).

No mesmo trabalho, o autor acima mencionado, em trabalhos realizados na Suécia, chegou a uma conclusão estatística que, as árvores com diâmetros superiores a 29 centímetros, deveriam ser medidas em parcelas retangulares com área de 200 m²; árvores de diâmetro entre 17 a 28 cm em parcelas de 80 m², e ainda, árvores de 8 a 16 cm em parcelas de 20 m². O mesmo princípio pode ser aplicado para amostragem em faixas, adotando-se larguras diferentes, para árvores de dimensões diferentes.

Pesquisas referentes ao inventário florestal realizadas por AVERY & NEWTON¹. no centro da Georgia, determinaram, para as latifoliadas, *Platanus*, *Liriodendron*, *Liquidambar*, *Quercus* e *Fragaria*, o tamanho mais adequado de parcelas de 400 m² e para as coníferas *Pinus taeda* e *Pinus echinata* o tamanho de 200 m² mostrou-se mais adequado. BONILLA³ trabalhando com *Pinus radiata*, propôs tamanhos provisórios de amostra, que oscilam de 400 a 800 m², segundo a idade e a densidade do povoamento.

Quanto à forma das amostras, também deve se tecer algum estudo a respeito. CRONKLE⁶ relata trabalhos onde se concluiu que as parcelas alongadas na direção do gradiente de qualidade local, eram mais precisas e efetivas que as parcelas quadradas, para reduzir a variação entre parcelas, dentro de blocos, quando a mesma era devida à heterogeneidade do solo. Excluiu-se, no entanto, a possibilidade de que outras variáveis, afora a heterogeneidade, como a competição entre plantas adjacentes e práticas de plantio desuniforme, possam modificar essa conclusão geral.

Ainda CRONKLE⁶ estudando o tamanho e forma de parcelas experimentais, no tocante à sua eficiência relativa e ao coeficiente de variação, concluiu que as parcelas alongadas transversalmente a diferentes elevações, proporcionaram melhor utilização do material experimental e reduzem com maior intensidade os coeficientes de variação, do que as parcelas aproximadamente quadradas e as alongadas no sentido do nível do terreno. Relatando ainda trabalhos anteriores em que foram estudados dois tipos de parcelas estreitas e quadrangulares, exemplifica áreas experimentais, nas quais as mesmas mostraram eficiência absolutamente igual no tocante à redução da

variação entre parcelas.

SPACE²⁷ refere-se à parcela de raios variáveis, como altamente eficientes em amostragem por volume, desde que as árvores sejam escolhidas com probabilidade proporcional à sua área basal que, sozinha, se constitui e é usualmente uma boa previsão de volume. São em geral os mais eficientes métodos de amostragem para povoamentos heterogêneos, com relação à idade das árvores, ou em florestas com a usual variação em classes de tamanhos. O fator de área basal a ser empregado, no entanto, deve ser escolhido de tal forma que forneça cerca de sete a dez árvores por ponto.

NYSSONEN²³, concluiu, quando da comparação de diversos tamanhos de parcela e levando em consideração tempo e variação, que parcelas em torno de 300 m² possibilitaram a obtenção de maior eficiência.

Em resumo, pode-se observar que os trabalhos relacionados a diversos tamanhos de amostras têm confirmado a maior eficiência das parcelas pequenas. De maneira geral, os coeficientes de variação decrescem em função inversa do tamanho da parcela, e em consequência, o número de parcelas necessárias para o mesmo grau de precisão é mais elevado para parcelas menores. Mas o número de árvores mensuradas sempre tem sido menor, em comparação com as parcelas maiores, o que vem corroborar a maior eficiência das primeiras. A maior eficiência das parcelas pequenas foi comprovada e exemplificada por WRIGHT³¹, tendo por base de comparação a informação relativa por árvore, que decresceu sensivelmente com o aumento do número de árvores por parcela.

A limitação principal das parcelas unitárias, isto é,

composta de apenas uma árvore, segundo CRONKLE⁶ reside no fato do estabelecimento da competição dentro dos povoamentos, o que causaria um aumento de heterogeneidade. Assim, segundo o autor, teriam pouco interesse para inventários florestais, pois mostram-se valiosas para resultados finais variáveis antes do estabelecimento da competição intensa dentro do povoamento.

Por outro lado, pode-se observar que, na utilização de amostras de pequenas áreas, requer um aumento do número de amostras, e como consequência, o custo do inventário é onerado pelo aumento dos serviços necessários à locação, demarcação e deslocamento entre as mesmas.

O uso do método da curvatura máxima, proposta por FEDERER⁹ baseado na propriedade do decréscimo dos coeficientes de variação como função do aumento do tamanho da amostra, tem ampla aceitação, tendo sido utilizado em várias ocasiões nos trabalhos de estudos de tamanho de parcelas, no campo florestal. A única limitação deste método é a de não levar em consideração os aspectos econômicos do problema. Uma proposição em que os fatores econômicos entrariam em consideração, é relatada por CRONKLE⁶ tendo sido proposta por SMITH. No entanto, estes trabalhos e o de PEARCE²⁴, referem-se ao problema da planificação experimental, buscando tamanhos ideais de parcelas, não especificamente parcelas ou amostras de inventários florestais, onde o problema dos custos é diferente, não incluindo formação e implantação de mudas, mas sim, locação, mensuração e cálculos.

A determinação do número de árvores por amostra foi apresentado por SUKHATME²⁹, que desenvolveu a fórmula de cálculo para a variância entre os indivíduos, utilizando a fórmula de

custos desenvolvida por HANSEN et al¹⁶. Estas considerações serão relatadas em maiores detalhes na abordagem de materiais e métodos.

2.3 - O PROCESSO TRÊS-P

O PROCESSO TRÊS-P foi desenvolvido por L.R. Grosenbaugh em 1963, nos Estados Unidos, cuja metodologia já está sendo aplicada com sucesso em diversas atividades dendrométricas. Este sistema é baseado na comparação do parâmetro requerido de cada árvore, "estimado visualmente", com uma tabela de números aleatórios, os quais são gerados antes do levantamento de campo.

SPACE²⁷ refere-se ao PROCESSO TRÊS-P como sendo um grupo de técnicas e procedimentos para a estimativa do volume e da qualidade da árvore em pé, idealizado por L.R.Grosenbaugh. O autor justifica sua utilização, afirmando que, através da aplicação da amostragem com probabilidade proporcional à predição (3-P), é necessário medir um pequeno número de indivíduos e, sem dúvida, serão obtidos menores erros de amostragem. E em segundo lugar, se eliminam, através de medições diretas do volume da árvore em pé, por meio de dendrometria, tabelas de volume e equações que, provavelmente, estão distorcidas ou erradas. Em terceiro, as unidades de medições primárias (volume, área superficial e longitude); pode-se empregar nas converções diretas para efetuar as estimativas do volume e dos valores dos produtos que resultam dos processos industriais.

DELOYA⁷ apresenta três alternativas básicas no relativo à probabilidade para a escolha dos indivíduos a serem amostrados com finalidade a Inventários Florestais:

a) Probabilidade igual, para a seleção de todos os indivíduos.

Entende-se por probabilidade igual para a seleção de todos os indivíduos da população, quando lhes assegura igual probabilidade de serem incluídos na amostra.

b) Probabilidade proporcional ao volume individual (pps).

A denominação aqui empregada, referindo-se ao volume individual, na realidade se aplica mais a termo de área basal, pois se faz uso de parcelas de dimensões variáveis, sendo a amostragem executada de forma proporcional à área basal dos indivíduos que integram a população.

c) Probabilidade proporcional à previsão volumétrica, ou de outra variável.

Neste tópico, em especial, enquadra-se o assunto a que se refere o presente trabalho. Consiste em efetuar uma previsão do volume, ou outra variável de interesse a ser obtida no inventário, como diâmetro, altura, área basal, para cada um dos indivíduos pertencentes à população (K.P.I.). A escolha dos indivíduos a serem amostrados se efetua posteriormente e com probabilidade proporcional à sua respectiva previsão. Para isso se utiliza, geralmente, uma relação de números aleatórios cujo valor máximo deve coincidir, supostamente com o valor máximo alcançado por esta variável na população (K) SPACE²⁸.

O processo de seleção na amostragem 3-P envolve a visita a cada indivíduo da amostra, predizendo o valor da variável requerida e comparando a tabela de números aleatórios (números inteiros somente) previamente construída BELL².

Deve-se ressaltar que, estimativas grosseiras da soma-

tória da variável requerida e o maior valor individual da mesma variável, devem ser feitos antecipadamente, de modo que a somatória do maior valor individual, mais a probabilidade (composta de uma progressão aritmética de números) possa ser adequada ao número mínimo desejado de árvores amostradas.

Depois de se haver seguido o processo de seleção, se o indivíduo não for incluído na amostra, sua previsão KPI deve, de qualquer maneira, ser anotada nas fichas de registro. MESAVAGE²¹, GROSENBAUGH¹², SPACE²⁸

O fato de a amostragem 3-P trabalhar com a razão entre a previsão e o valor real obtido, é que condiciona a sua maior precisão. No caso das árvores serem selecionadas ao acaso, o C.V. é baseado na variação em volume de cada árvore estimada; o C.V., no caso de 3-P, é baseado na variação da razão do volume atual sobre o volume estimado. SPACE²⁸ MESAVEGE²¹ GROSENBAUGH¹².

Em sua forma original, a amostragem 3-P implica na necessidade de incluir todos os indivíduos da população, já que a cada um destes se requer uma previsão, utilizada posteriormente, para se obter o volume da população, a somatória KPI. Isto se revela muito embaraçoso, principalmente para povoaamentos muito grandes, ou ainda de difícil enumeração e demarcação. Entretanto, o problema pode ser solucionado fazendo da amostragem 3-P uma subamostra. Nestas condições, nos Estados Unidos, o uso de amostragens bi-etápicas (two stage samples), nas quais a unidade primária se constitui de pontos ou parcelas, estas geralmente são de dimensões variáveis, e nas unidades secundárias os indivíduos são selecionados através do processo 3-P.

O sistema de GROSENBAUGH¹³, explora a habilidade de-

monstrada por muitos silvicultores, de avaliar intuitivamente o volume ou valores de qualquer variável das árvores. No entanto, isto não se constitui numa limitação, pois o uso de tabelas de volume é um instrumento auxiliar, de muita valia para essas estimativas.

Execuções práticas desta metodologia, com utilização de subamostras em inventários bi-etápicos, foram utilizadas por HOOSER¹⁷, tendo efetuado a mensuração das amostras 3-P em um pouco mais que 1/10 do tempo necessário à implantação das amostras do primeiro estágio, sendo que os resultados não possuíam diferenças significativas. HOOSER¹⁸ em amostragem formulada pelo método 3-P estimou o volume total em metros cúbicos para cinco localidades do Sul do Alabama; esta estimativa diferiu apenas 0,7% do previsto no último inventário das mesmas áreas.

Quanto ao uso de tabelas de volume, GROSENBAUGH¹⁴, afirma serem estas aplicáveis apenas à população na qual foram extraídas as amostras para sua confecção, sendo, normalmente, tendenciosas e viciadas, se utilizadas para outras populações.

Para uma melhor compreensão do método, BELL², ilustra a teoria com um exemplo hipotético:

"A população de inteiros é uma relação de probabilidade retangular composta de números de uma progressão aritmética com intervalos unitários de 1 até $(K + Z)$.

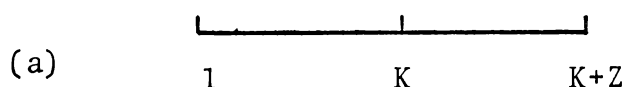
$(K + Z)$ deverá exceder o maior valor da variável a ser medida (x_j) consignada a cada árvore dentro da população. A geração da relação de inteiros pode ser obtida através de um programa de computador desenvolvido por Grosenbaugh, denominado "THRP". A expectativa do núme-

ro de árvores amostrado (m) deverá ser selecionado dentro de toda a população (N) e a soma das estimativas preditas de todas as árvores divide-se por $(K + Z)$.

$$ne = \frac{\hat{T}_x}{(K + Z)}$$

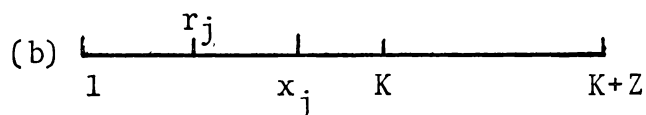
MESSAVAGE ²², afirma que estimativas grosseiras para o volume total (T_x) e para o maior valor da variável (K) devem ser feitas antecipadamente para que $(K + Z)$ possa ser correspondente ao número mínimo de amostras de árvores desejadas. A relação de inteiros gerados pelo computador é geralmente igual ao número estimado de árvores da população. Experiências têm demonstrado que um técnico treinado, amostrando 100 árvores pode obter precisão de 1,5 por cento. E um inexperiente necessita amostrar 200 árvores para obter a mesma precisão.

Quando o número aleatório é extraído da tabela de inteiros, é comparado a x_j de árvore em pé considerada. Se o número retirado excede a x_j , a árvore não é medida. Se o número retirado for menor ou igual a x_j , a árvore é medida. Por conseguinte, a probabilidade de que a árvore será medida é x_j dividido $(K+Z)$.

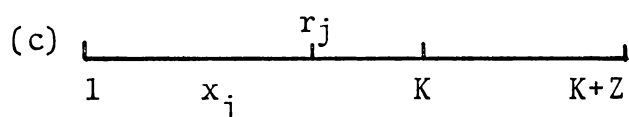


(a) representa números inteiros entre 1 e $K+Z$. Cada número gerado entre 1 e K é impresso em inteiros. Entre K (exclusive) e igual ou menor que $K+Z$ automaticamente rejeita x_j e no programa de números aleatórios de

Grosenbaugh é designado -0 ou -9999.



r_j = cada número inteiro retirado da tabela de aleatórios. Desde que x_j seja maior ou igual a r_j , a árvore será medida.



Desde que x_j seja menor que r_j , a árvore não será medida.

Por estas observações, é óbvio que a probabilidade da árvore ser medida é $x_j / K + Z$.

Exemplo hipotético:

Definições:

N = número de observações na população.

x = número de observações em amostragem 3-P.

K = maior valor da variável a ser medida dentro do povoamento. Número condicional de chances para incluir a árvore na amostragem.

Z = número incondicional de chances para excluir uma árvore individualmente da amostragem.

m = expectativa do número de observações da amostragem 3-P.

Y_j = volume (ou valor da variável) atual da árvore individual.

x_j = estimativa do volume (ou variável) da árvore individual.

$T_x = \sum x_j$ = soma das estimativas das variáveis medidas das árvores individualmente para toda a parcela.

\hat{T}_x = estimativa de T_x antes da amostragem.

Espectativa do número de indivíduos a serem mensurados.

$$ne = (T_x)/(K + Z)$$

Variâncias de n sobre ne é:

$$\text{Exatas: } (ne) - (ne)^2 \frac{(\sum x_j)^2 / (\sum x_j)^2}{(\sum x_j)^2}$$

$$\text{Aproximada: } (ne) - (n^2)^2 (1/N)$$

Amostragem tendenciosa é diferente se:

$$(Z/K)^2 > (4/ne - 4/N)$$

Com as considerações acima pode-se desenvolver o exemplo hipotético:

Supondo-se que a população seja de 9 (nove) árvores e que a expectativa ne seja igual a 2, a estimativa da população é $T_x = 230$ e a estimativa do maior valor individual $x_j = K = 35$

$$ne = \frac{\hat{T}_x}{K + Z} \quad 2 = \frac{230}{K+Z} \quad \text{se } K = 35; 2 = 80 \text{ e } K+Z = 115$$

Os números retirados estarão contidos no intervalo de 1 a 115, dentro da tabela de números aleatórios gerados pelo computador. Acima de 35 os números serão rejeitados ou impressos pelo símbolo de rejeição (9999).

O procedimento de campo será:

- (a) visitar cada árvore;
- (b) estimar e anotar x_j ;
- (c) comparar com o número aleatório extraído para cada árvore. - Se igual a -9999, seguir para a próxima árvore.
 - se $x_j <$ que o número aleatório, seguir para a próxima árvore.
 - se $x_j \geq$ que o número aleatório, medir e anotar Y_j .

ÁRVORE NÚMERO	VALOR ATUAL DA VARIÁVEL	x_j	NÚMEROS ALEATÓRIOS
1	22	17	-9999
2	27	22	-9999
3	37	33	(12) (medir)
4	32	28	-9999
5	34	30	34
6	30	26	(25) (medir)
7	22	18	-9999
8	22	20	35
9	34	30	(30) (medir)
T_y 260		T_x 224	

Cálculos:

$$\hat{T}_y = \left(\frac{224}{3}\right) \left(\frac{37}{33} + \frac{30}{26} + \frac{34}{30}\right) = 254,49$$

O erro padrão calculado em percentagem é como segue:

$$SE\% = \left(\sqrt{\frac{\sum R_j^2 - (\sum R_j)^2/n}{n(n-1)}} / \hat{R} \right) 100$$

Onde:

$$R_j = Y_j/x_j. \text{ Para o problema } SE\% = .84\%$$

A estimativa da variância para o total estimado ($\hat{V}(T_y)$) é calculado como segue:

$$\hat{V}(\hat{T}_y) = (T_x^2/n(n-1))(\sum Y_j/x_j)^2 - (\sum(Y_j/x_j))^2/n.$$

Para o exemplo $\hat{V}(\hat{T}_y) = 4.566$.

A estimativa para a variância relativa para o total estimado é $\hat{V}(\hat{T}_y)/\hat{T}_y^2$ ou 0,0000705 para o exemplo acima. O erro padrão em percentagem pode ser calculado, também, pela estimativa da variância relativa como segue:

$$SE\% = \left(\sqrt{\hat{V}(\hat{T}_y)/\hat{T}_y^2} \right) 100 \text{ que para o exemplo é}$$

$$SE\% = \left(\sqrt{0,0000705} \right) 100 = .84\%"$$

O exemplo hipotético apresentado não elucidada a composição da fórmula empregada e como são calculados os valores \underline{n} e \underline{Z} , mesmo GROSENBAUGH¹⁵, quando apresentou a teoria e base racional deste processo não é muito claro. Estes aspectos serão discutidos com maior profundidade em materiais e métodos.

CABALLERO⁴ compara os processos convencionais e o Processo 3-P, demonstrando suas vantagens e desvantagens.

CONVENCIONAL: A eleição da amostra é com probabilidade igual em sítios de dimensões fixas e desigual (proporcional ao tamanho) em sítios de dimensões variáveis.

3-P: Com qualquer das formas de eleição se utiliza como subamostra, elegendo a amostra com probabilidade proporcional à predição as dimensões do sujeito individual (variáveis de uma árvore).

CONVENCIONAL: Faz-se necessária uma amostragem grande de indivíduos da população.

3-P: Utiliza uma amostra mínima.

CONVENCIONAL: O coeficiente de variação não baixa de 35% (em florestas nativas).

3-P: O coeficiente de variação não ultrapassa 15%.

CONVENCIONAL: O CV é calculado pela fórmula

$$CV = \frac{\text{Desvio-Padrão}}{\text{Estimativa da média da população}} \times 100$$

3-P: O coeficiente de variação é calculado:

$$CV = \frac{\text{Volume real}}{\text{Volume estimado}} \times 100$$

CONVENCIONAL: É grande a quantidade de dados, mas o tempo de medição e cálculos são longos.

3-P: O número de árvores é pequeno e os dados por árvore é abundante.

Resumidamente, pode-se dizer que o processo 3-P é efi-

ciente e preciso, apesar das estimativas das variáveis requeridas serem baseadas numa amostra da população extremamente pequena. Este método tem sido testado mais frequentemente na venda de toras, de árvores a serem comercializadas na base de árvores em pé, para cujo uso se apresenta muito apropriadamente. Existe razão para crer que este processo de amostragem será usado intensivamente em avaliações (estimativas) de toras e outros tipos de inventários.

A amostragem com base no método 3-P não se limita a apenas uma variável, como seja o volume da árvore. A flexibilidade do sistema é uma de suas forças.

O processo 3-P tem em sua esquemática três passos maiores como segue:

1 - Uma estimativa rápida e barata do volume de cada árvore da população. Estimativa ocular (ou visual) baseada em tabelas locais de volume, ou outra variável, ou apenas pessoal treinado para tal, podem ser utilizadas.

2 - Árvores a serem amostradas são selecionadas com base na "probabilidade proporcional à predição", de onde o nome 3-P.

3 - Medições precisas do diâmetro, altura, etc., podem determinar o volume da árvore e do povoamento com precisão, dispensando o uso de tabelas de volume.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo aqui apresentado se propõe, basicamente, a adaptar e testar o sistema 3-P, dentro de amostras locadas aleatoriamente em um determinado povoamento e comparar os resultados obtidos com os do processo de amostragem inteiramente aleatório, convencionalmente utilizado.

3.1. MATERIAL

3.1.1. POPULAÇÃO

Para a apresentação dos dados deste trabalho foram selecionados três povoamentos homogêneos de *Pinus taeda*:

- um povoamento plantado em 1968 e possuindo 9 anos de idade na data do levantamento, abrangendo uma área de 32 ha, pertencente à Empresa Slaviero Florestal S/A;
- o segundo povoamento plantado em 1970, com 8 anos de idade, com área de 79 ha;
- e o terceiro povoamento com 9 anos de idade, com área de 110 ha, pertencentes, estes dois últimos, à Companhia BERNECK & CIA.

3.1.1.1 - LOCALIZAÇÃO

O povoamento pertencente à Empresa SLAVIERO FLORESTAL S.A., situa-se no município de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, no segundo planalto, aproximadamente entre os paralelos



25°00' a 25°30' de Latitude Sul e entre os meridianos 49°45' e 50°00' de Longitude Oeste.

As duas áreas pertencentes à BERNECK & CIA. situam-se no município da Lapa, Estado do Paraná, entre os paralelos 25°45' e 26°00' Latitude Sul e meridianos 49°50' e 50°00' de Longitude Oeste.

3.1.1.2 - CLIMA

Pela classificação de Köppen, nas áreas estudadas ocorre o tipo climático Cfb.

O tipo climático Cfb é pluvial temperado, com temperatura, no mês mais frio, entre 18° e -3°C e no mês mais quente inferior a 22°C. A distribuição de chuvas durante os meses do ano é uniforme.

3.1.2. OBTENÇÃO DOS DADOS

3.1.2.1 - INFORMAÇÕES EXISTENTES

Para a área A* foram utilizados os dados existentes coletados e analisados pela Fundação de Pesquisas Florestais da UFP.

Os dados coletados através de amostragens, como diâmetro, altura, volume real e análise de tronco, formaram tabelas de volumes calculados através de equações volumétricas e hipsométricas.

Pela quantidade de dados coletados, os resultados apre-

sentados serão considerados como estimativas mais próximas dos parâmetros.

3.1.2.2 - COLETA DE DADOS

Para a primeira fase dos levantamentos, a cada povoamento foram locadas aleatoriamente amostras, onde foram coletados os dados: diâmetro e altura.

3.1.2.2.1 - DIÂMETROS

Foram anotados os valores dos diâmetros à altura do peito (DAP) em centímetros, tendo sido utilizadas, para o procedimento, fitas diamétricas.

Para cada amostra ou parcela foram medidos e anotados todos os diâmetros das árvores.

3.1.2.2.2 - ALTURAS

Com o auxílio do Hipsômetro de Haga, foram medidas as alturas de somente 15 unidades por parcela, onde a escolha da árvore a ser medida, com o objetivo de se saber se seu diâmetro estaria próximo ao diâmetro médio da parcela, era feito por estimativa ocular.

Na segunda fase dos levantamentos, foi visitada cada parcela e para cada árvore preditos e anotados todos os diâmetros correspondentes.

Neste segundo levantamento, foi observada ainda a coleta de dados dentro da parcela, da mesma forma como o reali-

zado no primeiro levantamento, para que o diâmetro medido de um indivíduo fosse o mesmo que o diâmetro predito.

3.1.2.2.3 - FATOR DE FORMA

Para o cálculo do fator de forma, foram cubados os volumes reais de 10 árvores por área. Os cálculos foram analisados estatisticamente para a determinação do número ideal de árvores e o fator de forma (FF), calculado pela seguinte fórmula:

$$FF = \frac{V. \text{ Real}}{V. \text{ Cilindro}}$$

3.2. METODOLOGIA

Para uma melhor definição da metodologia empregada, na análise dos dados faz-se necessário colocar, de forma expressiva e clara, o objetivo do presente trabalho:

"Comparar os resultados obtidos pelo processo convencional de medição, dentro de uma parcela com o método proposto por L.R. Grosenbaugh, denominado 3-P".

Desta forma, as metodologias deverão ser analisadas em separado, caracterizando cada item a ser proposto.

Foi considerado que os resultados obtidos na área A, através das equações volumétricas e hipsométricas, corresponderiam ao valor dos parâmetros requeridos.

3.2.1. CÁLCULOS DOS PARÂMETROS DA ÁREA A

Após serem coletados os dados de 15 amostras de 10 metros de largura por 40 metros de comprimento, ou seja, 400 m² de área, locadas aleatoriamente dentro do povoamento, foram estimadas as alturas e os volumes correspondentes a cada amostra, através das equações:

Equação hipsométrica:

$$\log H = 0.484776821 + 0.43789611 \log DAP.$$

$$R^2 = 0,9606$$

Equação volumétrica:

$$\begin{aligned} \log V = & 3.068468000 + 2.3967898401 \log D + (-) \\ & 0.250022160 \log^2 D + (-) 1.2750019 \log h + \\ & + 0.8720289 \log^2 H. \end{aligned}$$

$$S_x \quad y = 0,9899$$

Os resultados obtidos por parcela foram analisados, estatisticamente, a um determinado nível de precisão, e a média do resultado reportado por hectare.

3.2.1.1 - NÚMERO DE AMOSTRAS E PRECISÃO REQUERIDA

O número de amostras ou parcelas, foi calculado para a população aleatória, admitindo-se um erro máximo de 10% em torno do volume médio estimado, a um nível de 95% de probabilidade. Este número de parcelas foi obtido através da fórmula da amostragem aleatória, para populações infinitas como segue:

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{E^2}$$

Onde:

n = número de parcelas

S^2 = estimativa da variância dos volumes

t = valor de Student a 0,95 de probabilidade e $(n-1)$ graus de liberdade

E = erro admitido = $(LE\% \bar{x})$

Para o cálculo da estimativa da variância (S^2), foi desenvolvida a seguinte fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{(n-1)}$$

Onde:

x_i = volume da amostra n_i

\bar{x} = média dos volumes das amostras

$(n-1)$ = grau de liberdade

3.2.2 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS PELO PROCESSO CONVENCIONAL DE MEDIÇÃO

A cada parcela foram calculados os volumes, considerando-se a área transversal média dos indivíduos, aplicados na equação, conforme PRODAN²⁶.

$$V = \frac{d\bar{g}^2}{4} \cdot \pi \times H\bar{g} \times FF \times N$$

onde:

$d\bar{g}$ = diâmetro de área basal média

$H\bar{g}$ = altura da árvore correspondente ao $d\bar{g}$

FF = fator de forma

N = número de indivíduos na amostra

A área transversal média foi obtida, dividindo-se a soma das áreas transversais de todos os indivíduos (área basal), pelo número de indivíduos dentro da parcela.

A altura ($H\bar{g}$) para a área B* foi obtida, reportando os dados de diâmetros e alturas coletados dentro das parcelas, para um gráfico, onde foi determinada a altura média correspondente ao $d\bar{g}$ (Figura 01).

Para a área A foi utilizada a equação hipsométrica já apresentada anteriormente.

A análise estatística dos dados foi executada, considerando-se os mesmos níveis de precisão dos cálculos efetuados, quando utilizadas as equações hipsométricas e volumétricas para a área A.

Para a área B foram determinadas amostras de 100 indivíduos, cujos resultados foram calculados para simples comparação, sem que houvesse, para o presente trabalho, a preocupação de serem admitidos erros máximos e níveis de probabilidade.

* BERNECK & CIA.

3.2.3 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS PELO PROCESSO 3-P

Pelas pesquisas feitas e revisão bibliográfica, é notório que o processo de mensuração pelo método 3-P, dentro das amostras, depende de uma tabela aleatória de números inteiros, gerada antecipadamente pelo computador. Para a execução desta tabela faz-se necessário estimar, visualmente, os parâmetros do povoamento, a fim de serem aplicados na fórmula, que é a base na programação eletrônica, cujos valores são K e Z, determinantes da amplitude de variação dos dados aleatórios a serem gerados.

Visto que os valores serão gerados de 1 a (K+Z), onde serão impressos os valores de 1 a K inclusive, e de K (exclusive) a (K+Z), receberão o símbolo de rejeição (0). Contudo, a literatura não mostra como é calculado ou as bases matemáticas de Z. A única forma de ser calculado é através da fórmula:

$$ne = \frac{\hat{T}_X}{K+Z} \quad (\text{Bell})$$

Onde:

ne = expectativa do número de indivíduos a serem mensurados.

\hat{T}_X = estimativa do parâmetro da população.

K = maior valor individual da variável a ser medido.

Z = probabilidade incondicional do indivíduo a ser amostrado.

3.2.3.1 - CÁLCULO DO NÚMERO IDEAL DE INDIVÍDUOS A SEREM AMOSTRADOS DENTRO DA PARCELA

A literatura não faz nenhum comentário ou análise, matematicamente, à expectativa de ne.

Assim, o presente trabalho propõe, através de cálculos das variâncias entre amostra e indivíduos, considerando o tempo de deslocamento e medição dos indivíduos, determinar, por intermédio de gráficos, que demonstram a curvatura máxima do número ideal de indivíduos a serem amostrados dentro de uma parcela.

Para serem obtidos os resultados requeridos, foi cronometrado o tempo de medição dos indivíduos e deslocamento entre parcelas.

O cálculo para a estimativa de m (ne) é proposto neste trabalho a partir da fórmula apresentada por HANSEN et al.¹⁷

$$C' = C_0 + C_1n + C_2nm$$

onde:

C' = custo total

C_0 = custo de administração e organização, trabalhos técnicos. Inclui-se, neste item, os custos do uso de equipamentos e outros que independem do tipo de inventário, processo de amostragem, etc.

C_1 = custo de deslocamento entre as amostras.

C_2 = custo de locação das amostras e medição dos indivíduos.

Considerando-se que:

$C' - C_0 = C$, tem-se:

$$C = C_1n + C_2nm$$

Considerando-se que o custo é função do tempo, a fórmula pode ser expressa por:

$$T = T_1n + T_2nm$$

Onde:

T = tempo total

T_1 = tempo de deslocamento entre amostras

T_2 = tempo de locação e medição dos indivíduos

n = número de amostra

m = número de indivíduos

Para o cálculo de n , foi utilizada a fórmula proposta por SUKATME²⁹ como segue:

$$n = \frac{S^2}{\bar{Sx}^2} (1 + \rho(m-1))$$

Onde:

S^2 = estimativa da variância

\bar{Sx} = estimativa do erro-padrão

ρ = variância entre as amostras sobre a variância total

m = número de indivíduos

As equações de variância foram desenvolvidas como propõe PELLICO²⁵, calculando-se a correlação entre amostras para populações infinitas.

$$S^2 = \frac{Se^2}{Se^2 + Sd^2}$$

Onde:

S^2 = estimativa da variância total

Se^2 = variância entre parcelas

Sd^2 = variância dentro das parcelas

Sendo:

MQ entre = $Sd^2 + ISe^2$ e

MQ dentro = Sd^2 , tem-se:

$$a) Se^2 = \frac{MQe - MQd}{I}$$

$$b) MQe = \frac{\frac{\sum (\Sigma x)^2}{n} - \frac{(\Sigma x)^2}{m \cdot n}}{m - 1} \quad e \quad MQd = \frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{m(m - 1)}$$

$$c) Sd^2 = MQd, \text{ logo:}$$

$$d) S^2 = \frac{MQe - (m-1) MQd}{m-1}$$

Para a solução do erro-padrão, foi utilizada a fórmula proposta por COCHRAN⁵ SUKHATME²⁹ para populações finitas.

Considerando que a população, no presente estudo, é infinita $\frac{1}{N}$ e, aproximadamente, igual a zero.

Seja:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{Se^2}{n} + \frac{Sd^2}{m \cdot n} \quad (a) \quad e \quad \rho = \frac{Se^2}{S^2 + Sd^2} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{Se^2}{S^2} \quad (b)$$

Demonstrando:

$$S_e^2 = (S_e^2 + S_d^2) \rho \quad (1)$$

$$S_e^2 = S_e^2 \rho + S_d^2 \rho \quad (2)$$

$$S_e^2 - S_e^2 \rho = S_d^2 \rho \quad (3)$$

$$S_e^2 (1 - \rho) = S_d^2 \rho \quad (4)$$

$$S_e^2 = \frac{S_d^2 \rho}{(1 - \rho)} \quad (5)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2 \rho}{n(1 - \rho)} + \frac{S_d^2}{m \cdot n} \quad (5 \text{ em } a) \quad (6)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{m \cdot n S_d^2 \rho + n(1 - \rho) S_d^2}{n^2 (1 - \rho) m} \quad (7)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2 [m\rho + (1 - \rho)]}{nm(1 - \rho)} \quad (8)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2 [m\rho + (1 - \rho)]}{mn(1 - \rho)} \quad (9)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2}{m \cdot n} \left(\frac{1}{(1 - \rho)} \right) (\rho m) + (1 - \rho) \quad (10)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2}{m \cdot n} \left(\frac{1}{1 - \frac{S_e^2}{S_e^2 + S_d^2}} \right) 1 + \rho(m - 1) \quad (11)$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{S_d^2}{m \cdot n} \left(\frac{1}{\frac{S_e^2 - S_e^2 + S_d^2}{S_e^2 + S_d^2}} \right) 1 + \rho(m - 1) \quad (12)$$

$$S\bar{x}^{-2} = \frac{Sd^2}{m \cdot n} \left(\frac{S^2 + Sd^2}{Sd^2} \right) 1 + (m-1) \quad (13)$$

desde que $S^2 = Se^2 + Sd^2$

$$S\bar{x}^{-2} = \frac{S^2}{m \cdot n} [1 + \rho(m-1)] \quad (14)$$

Substituindo-se a presente fórmula em 1, pode-se calcular $m(ne)$, em função da 1ª. derivada de tempo.

Demonstrando:

$$T = n(T1 + T2m)$$

$$n = \frac{S^2}{S\bar{x}^{-2} m} [1 + \rho(m-1)] \quad Se \frac{S^2}{S\bar{x}^{-2}} = Q$$

$$T = \frac{Q}{m} [1 + \rho(m-1)] (T1 + T2m)$$

$$T = \frac{Q}{m} (1 + \rho m - \rho) (T1 + T2m)$$

$$T = \frac{Q}{m} (T1 + T2m + T1\rho m + T2\rho m^2 - T1\rho + T2m\rho)$$

$$T = \frac{QT1}{m} + QT2 + QT1\rho + QT2\rho m - \frac{QT1\rho}{m} - QT2\rho$$

$$\frac{dT}{dm} = -\frac{QT1}{m^2} + QT2\rho + \frac{QT1\rho}{m^2}$$

$$\frac{dT}{dm} = \frac{-QT1 + QT2\rho m^2 + QT1\rho}{m^2} \text{ se igualada a zero}$$

$$\rho QT_2 m^2 = QT_1 - QT_1 \rho$$

$$m^2 = \frac{QT_1 - QT_1 \rho}{\rho QT_2}$$

$$m^2 = \frac{T_1 (1-\rho)}{T_2 \rho}$$

$$m^2 = \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{1-\rho}{\rho} \right) \quad m = \sqrt{\frac{T_1}{T_2} \left(\frac{1-\rho}{\rho} \right)}$$

A fórmula proposta calcula o número ideal de indivíduos a serem mensurados dentro da amostra.

3.2.3.2 - GERAÇÃO DA TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS E INTEIROS

Com base nos resultados obtidos no cálculo de ne , foram utilizados valores preditos para a determinação de Z na fórmula:

$$ne = \frac{\hat{T}_x}{K+Z}$$

Exemplo hipotético:

Sendo $ne = 20$, calculada a estimativa do parâmetro da população $\hat{T}_x = 700$ e K (o maior valor individual) = 20, foi determinado Z .

$$Z = \frac{\hat{T}_x}{ne} - K \quad Z = \frac{700}{20} - 20 \quad Z = 15$$

Utilizando-se um mini-computador, modelo HP-9830, foram geradas as tabelas.

3.2.3.3 - PROCEDIMENTOS

De posse das tabelas de números aleatórios, estes foram reportados para uma folha de campo, preparada para o uso do método em campo.

Para a área A, o próprio autor faz as previsões dos diâmetros (variável escolhida), os quais, à medida em que iam sendo preditos, eram anotados e comparados ao número correspondente na tabela de aleatórios.

Quando o valor da tabela era menor ou igual ao valor predito, a árvore era mensurada. Em outra situação era rejeitada.

Para a área B as previsões foram realizadas por técnicos florestais alheios à problemática, para não acontecerem erros de subestimativas, no momento da previsão.

3.2.3.4 - CÁLCULOS

De posse dos dados coletados, foram feitos os cálculos das estimativas dos parâmetros e aplicados na fórmula:

$$\hat{T}_y = \frac{\hat{T}_x}{m} \left(1 - \sum_{i=1}^m \frac{y_i}{x_j} \right)$$

onde:

\hat{T}_y = estimativa do parâmetro calculado.

\hat{T}_x = valor predito para o parâmetro (soma-tória).

m = número de indivíduos mensurados.

y_j = valor mensurado da variável.

x_j = valor predito da variável mensurada.

Para o presente trabalho, as predições foram feitas para os diâmetros das árvores. Reportou-se aos cálculos finais para o volume, utilizando-se os valores da altura ($h\bar{g}$) calculados, quando dos cálculos do processo tradicional, o mesmo acontecendo com o fator de forma.

Os resultados foram analisados, considerando-se a população aleatória, aplicando a fórmula apresentada no item 3.2.1.1.

4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados de forma distinta para cada área e método aplicado. As comparações finais serão apresentadas de forma que possam ser visualizadas mais claramente e discutidas, posteriormente.

4.1. RESULTADOS OBTIDOS NA ÁREA "A"

4.1.1. UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES HIPSONÔMETRICAS E VOLUMÉTRICAS

Como visto na metodologia, a área A foi calculada com base nas equações hipsométricas e volumétricas, cujos resultados servirão como testemunho na comparação dos resultados obtidos pelo processo convencional e o proposto por L.R. GROSENBAUGH.

O cálculo por amostra apresentou os seguintes resultados, conforme demonstra a Tabela nº 01.

TABELA Nº 01 - Resultados obtidos pelas equações Hipsométricas e Volumétricas

AMOSTRA NÚMERO	VOLUME POR AMOSTRA (m ³)	VOLUME POR ha(m ³)
1	11,69	292,25
2	12,56	314,00
3	11,92	298,00
4	11,14	278,50
5	11,22	280,50
6	11,49	287,25
7	11,45	286,25
8	12,41	310,25
9	10,88	272,00
10	11,15	278,75
11	11,94	298,50
12	9,55	238,75
13	10,05	251,25
14	10,20	255,00
15	9,86	246,50

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = 11,17 \text{ m}^3$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\Sigma x^2 - n\bar{x}}{n - 1} = 0,83$$

Desvio Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 0,91$$

Erro Padrão:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,23$$

Coeficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 8,15\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 3,05 \cong 3 \text{ amostras}$$

4.1.2 RESULTADOS OBTIDOS PELO PROCESSO CONVENCIONAL

Os resultados obtidos para as amostras foram calculados pela fórmula:

$$V = \frac{d\bar{g}\pi}{4} \times h\bar{g} \times FF \times n \text{ (PRODAN)}^{26}$$

4.1.2.1 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA

Para o cálculo da área transversal média foram tomados

todos os diâmetros de cada parcela, calculadas as áreas transversais, somadas e divididas pelo número de indivíduos dentro da parcela.

$$\overline{At} = \frac{\Sigma At}{m} = \frac{AB}{N}$$

(Ver tabela nº 3)

4.1.2.2 - ALTURAS

As alturas correspondentes ao diâmetro de área basal média foram calculadas pela equação hipsométrica apresentada.

Na figura nº 01 é apresentada a curva das alturas em função dos diâmetros.

4.1.2.3 - FATOR DE FORMA

Para o fator de forma obteve-se os seguintes resultados, quando do cálculo dos volumes reais sobre volume do cilindro.

TABELA nº 02 - Fatores de Forma Calculados

ÁRVORE NÚMERO	FATOR DE FORMA
1	0,5012
2	0,4985
3	0,5314
4	0,5213
5	0,5289
6	0,4998
7	0,5302
8	0,5276
9	0,5436
10	0,5102

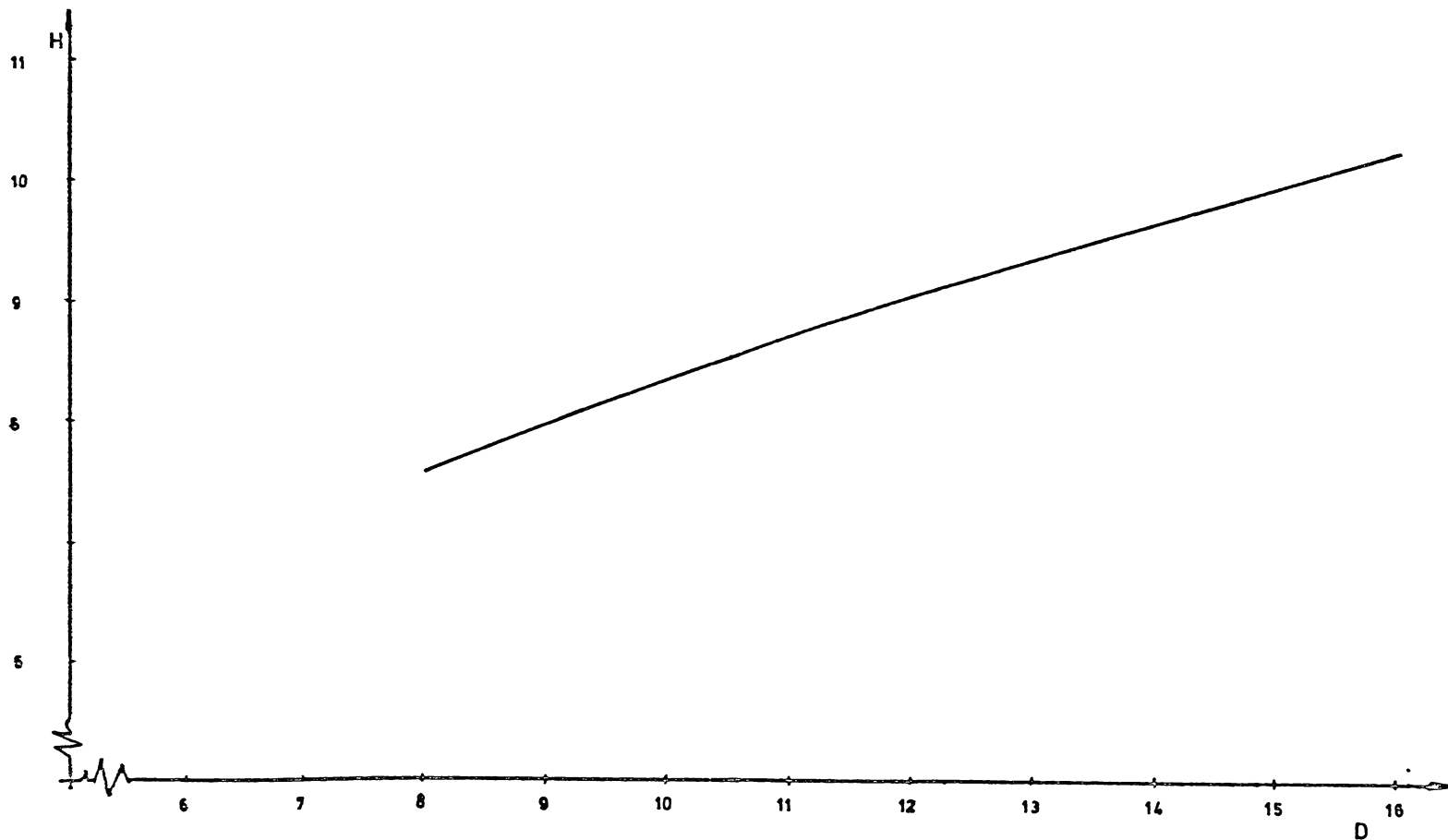


FIGURA Nº 01 - Altura em metros (H), com diâmetro em centímetro (D)

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 0,519 = 0,52$$

Número de Amostras a Serem Medidas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = \frac{0,00025 \times 5,10}{0,00270} = 0,47 \approx 1 \text{ amostra,}$$

onde:

$t = 2,26$ valor de Student para 95%.

$S^2 = 0,01579$ - Estimativa da Variância.

$$E^2 = (\text{LE\% } \bar{x})^2$$

Os resultados obtidos por amostra são apresentados na tabela nº 03.

A análise estatística apresenta os resultados para um erro de 10% em relação à média dos volumes com 95% de probabilidade da estimativa estar correta.

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 10,50 \text{ m}^3$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\sum x_i^2 - n\bar{x}}{n - 1} = 1,27$$

Erro Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 1,13$$

Desvio Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,29$$

Coeficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 10,76 \%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 5,28 \approx 5 \text{ amostras}$$

4.1.3. RESULTADOS OBTIDOS PELO PROCESSO 3-P

4.1.3.1 - LEVANTAMENTO DE CAMPO

Nos levantamentos de campo foi cronometrado o tempo de deslocamento e de medição dos indivíduos, cujos dados são os seguintes:

T1 = tempo médio de deslocamento entre as amostras =
= 10' (dez minutos).

T2 = tempo médio de locação das amostras, medição dos diâmetros de todos os indivíduos e 15 alturas =
30" (trinta segundos).

4.1.3.2 - CÁLCULO DO NÚMERO IDEAL DE INDIVÍDUOS A SEREM AMOSTRADOS DENTRO DA PARCELA

Com o intuito de se conhecer o número mínimo de árvores a serem amostradas pelo método 3-P, foi realizada a análise de variância entre e dentro das amostras, aplicando as seguintes fórmulas:

$$S^2 = S_e^2 + S_d^2$$

$$MQ \text{ entre} \rightarrow S_d^2 + mS_e^2$$

MQ dentro $\rightarrow Sd^2$

$$Se^2 = \frac{Me - Md}{m} \quad S^2_x = \frac{S^2}{m \cdot n} [1 + \rho(m-1)]$$

$$\rho = \frac{Se^2}{S^2}$$

$$S\bar{x} = \sqrt{S^2_x}$$

Na tabela nº 04 são demonstrados os resultados obtidos. A partir destes dados executaram-se os cálculos estimativos para $S\bar{x}$ (erro padrão), em relação ao número de indivíduos dentro da amostra (m). Variando \underline{m} dentro da equação:

$$S\bar{x} = \sqrt{\frac{S^2}{m \cdot n} [1 + \rho(m-1)]}$$

mantendo constantes a variância S^2 o número de amostras \underline{n} e o erro, sendo que S^2 e ρ são os correspondentes a \underline{n} fixado.

Com a finalidade de melhor visualização dos resultados, fixou-se o número de amostras $n = 4, 10, 12$ e 15 unidades. Os resultados obtidos são apresentados na tabela nº 04 e no figura nº 02 apresenta-se o comportamento de $S\bar{x}$, em relação ao número de indivíduos.

Para o número mínimo de indivíduos a serem amostrados foi utilizada a equação:

$$T = \frac{S^2}{S\bar{x}^2_m} [1 + \rho(m-1)] \quad (T1 + T2m)$$

onde variou o \underline{m} (número de indivíduos).

Os resultados obtidos são apresentados na tabela nº 05 e a figura nº 03 demonstra o ponto de curvatura máximo de \underline{m}

Tabela nº 03: Resultados Obtidos pelo Processo Convencional

AMOSTRA NÚMERO	ÁREA BASAL CALCULADA (m ²)	ALTURA (m)	VOLUME POR AMOSTRA (m ³)	VOLUME POR HECTARE (m ³)
1	2,06	10,25	10,98	274,50
2	2,21	10,52	12,11	302,75
3	2,25	10,45	12,23	305,75
4	1,98	10,18	10,49	262,25
5	1,87	10,25	9,99	249,75
6	2,03	10,40	10,98	274,50
7	2,02	10,31	10,82	270,50
8	2,21	10,55	12,04	301,00
9	1,94	10,03	10,11	252,75
10	1,98	10,22	10,50	262,50
11	2,10	10,15	11,11	277,75
12	1,70	9,90	8,73	218,25
13	1,77	9,94	9,16	229,00
14	1,80	9,87	9,24	231,00
15	1,74	10,05	9,08	227,00

Obs.: Fator de Forma utilizado 0,52.

TABELA Nº 04 - Comportamento de $S\bar{x}$ em relação ao número de indivíduos dentro da amostra (n fixo)

m	n = 4	n = 10	n = 12	n = 15
2	0,01958	0,01279	0,01170	0,00995
3	0,01608	0,01052	0,00966	0,00824
4	0,01400	0,00918	0,00845	0,00723
5	0,01260	0,00827	0,00764	0,00655
6	0,01157	0,00761	0,00705	0,00606
7	0,01077	0,00709	0,00659	0,00568
8	0,01013	0,00668	0,00623	0,00537
9	0,00960	0,00634	0,00593	0,00513
10	0,00916	0,00606	0,00568	0,00492
11	0,00878	0,00582	0,00546	0,00474
12	0,00845	0,00561	0,00528	0,00459
13	0,00816	0,00542	0,00512	0,00446
14	0,00790	0,00526	0,00498	0,00434
15	0,00767	0,00512	0,00485	0,00424

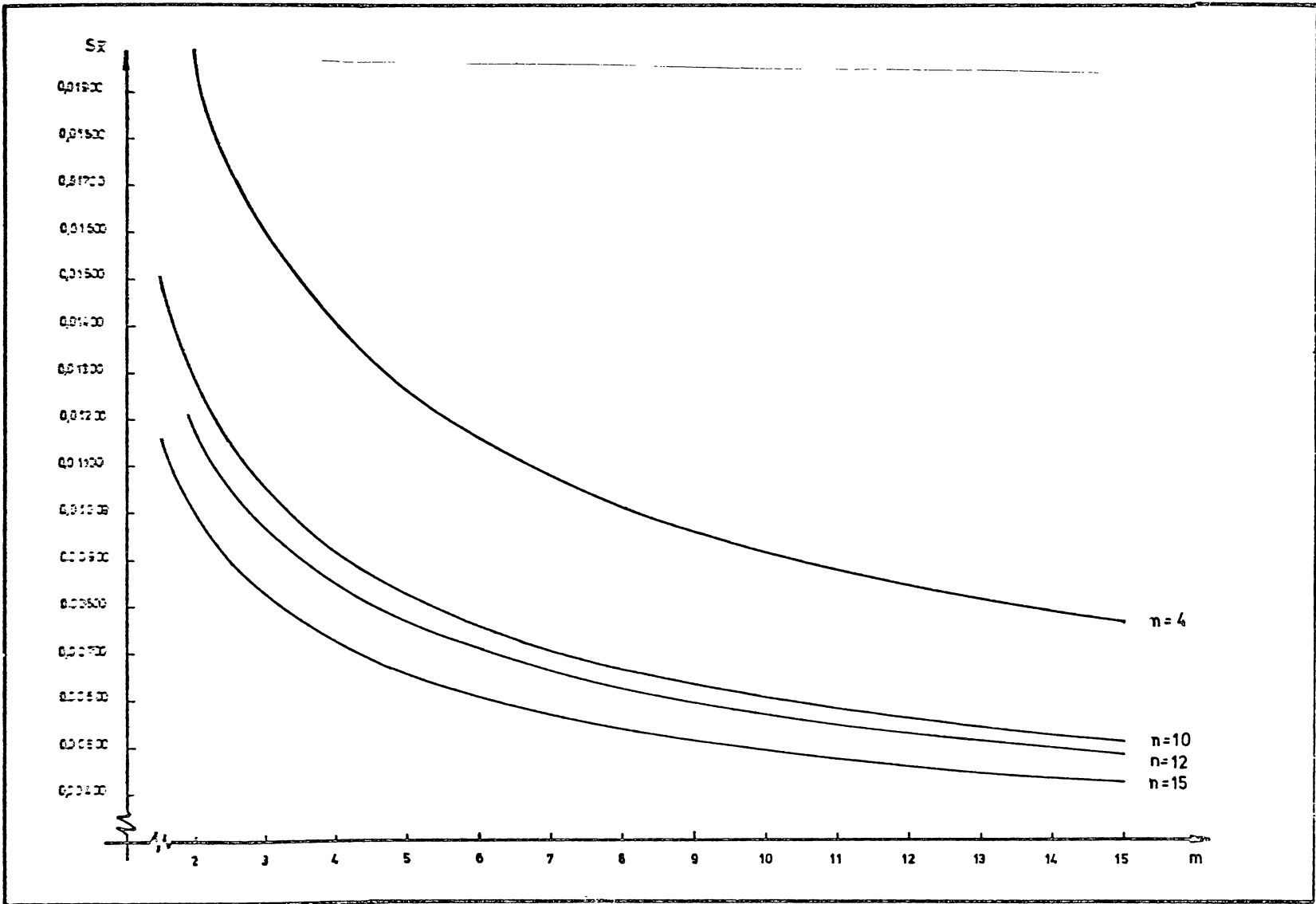


FIGURA Nº 22 - Comportamento de $S\bar{x}$ em relação a m com n fixo.

TABELA Nº 05 - Variação do tempo total em função de T1 = 10' e T2 = 30'', para o cálculo do ponto de curvatura máxima (em minutos)

TEMPO				
m	n = 4	n = 10	n = 12	n = 15
2	1.053,94	2.248,37	2.006,41	2.215,54
4	588,37	1.264,16	1.143,22	1.275,43
6	434,69	940,28	860,91	969,50
8	358,97	781,49	723,83	822,11
10	314,43	688,73	644,83	738,14
12	285,50	628,99	594,88	685,88
14	265,47	588,12	561,52	651,74
16	251,01	559,04	538,54	628,93
18	240,27	537,82	522,47	613,66
20	232,12	522,11	511,24	603,68
22	225,86	510,39	503,54	597,54
24	221,03	501,68	498,47	594,29
26	217,28	495,28	495,43	593,25*
28	214,39	490,69	493,99	593,96
30	212,18	487,55	493,83*	596,05
32	210,53	485,59	494,71	599,29
34	209,34	484,60	496,49	603,45
36	208,54	484,42*	498,88	608,39
38	208,05	484,92	501,92	613,99
40	207,84*	486,01	505,47	620,14
42	207,86	487,59	509,45	626,77
44	208,08	489,59	513,82	633,81
46	208,48	491,97	518,51	641,21
48	209,04	494,68	523,49	648,92
50	209,73	497,67	528,72	656,91

* = Ponto mínimo.

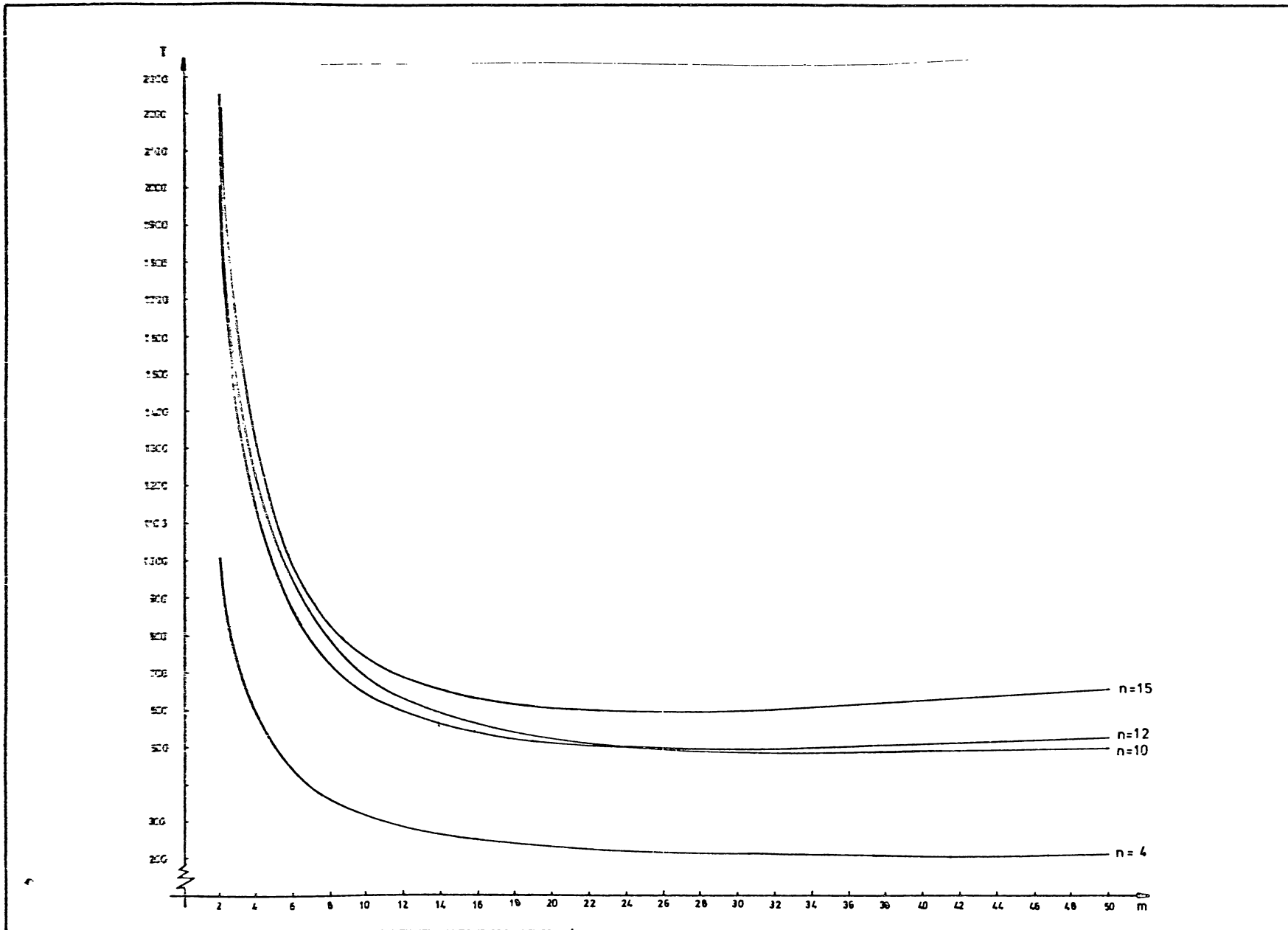


FIGURA 05 - Ponto de Curvatura Máxima para $T_1 = 10'$ e $T_2 = 30''$

em relação ao tempo total, onde os pontos mínimos são os seguintes:

para $n = 4$; $m = 41$

$n = 10$; $m = 35$

$n = 12$; $m = 29$

$n = 15$; $m = 26$

Usando a fórmula do cálculo direto de m :

$$m = \sqrt{\frac{T1}{T2} \left(\frac{1 - \rho}{\rho} \right)}, \text{ obteve-se:}$$

para $n = 4$; $m = 40,79$

$n = 10$; $m = 35,48$

$n = 12$; $m = 29,27$

$n = 15$; $m = 26,12$

Desta forma, observou-se que, quanto menor o número de amostras realizadas, maior o número de indivíduos a serem amostrados dentro da parcela.

Esta variação do número de indivíduos depende, também, do tempo de deslocamento. Os cálculos para $T1=12'$ e $14'$ para o mesmo número de amostras (Tabela nº 06/7 e gráficos nº 04 e 05), vêm demonstrar que a expectativa de \underline{m} (ne) é superior para tempos $T1$, menores.

Concluindo, se for assegurada a assertiva apresentada por SPURR³⁰, onde o tamanho da amostra inclua pelo menos 20 a 30 indivíduos mensuráveis, serão gerados números aleatórios baseados na expectativa de m (ne) igual a 26 indivíduos, conforme os cálculos apresentados.

TABELA Nº 06 - Variação do tempo total em função de $T_1 = 12'$
 $T_2 = 30''$, para o cálculo do ponto de curvatura máxima - Tempo em minutos.

m	n = 4	n = 10	n = 12	n = 15
2	1.222,64	2.598,70	2.452,98	2.634,04
4	673,80	1.442,39	1.379,75	1.496,91
6	492,33	1.061,06	1.027,62	1.125,35
8	402,70	873,48	855,76	945,18
10	349,80	763,39	756,01	841,57
12	315,27	692,05	692,31	776,24
14	291,24	642,85	649,22	732,78
16	273,77	607,49	619,01	702,99
18	260,67	581,36	597,38	682,32
20	250,63	561,68	581,76	668,02
22	242,82	546,70	570,51	658,37
24	236,68	535,24	562,54	652,20
26	231,83	526,50	557,08	648,70
28	227,98	519,88	553,61	647,31*
30	224,94	514,97	551,73	647,59
32	222,56	511,43	551,13*	649,25
34	220,71	509,04	551,59	652,03
36	219,32	507,60	552,94	655,75
38	218,30	506,96*	555,03	660,26
40	217,61	507,00	557,75	665,44
42	217,20	507,62	561,02	671,20
44	217,02*	508,74	564,75	677,45
46	217,05	510,31	568,89	684,14
48	217,26	512,25	573,39	691,20
50	217,63	514,53	578,20	698,60

* = Ponto mínimo

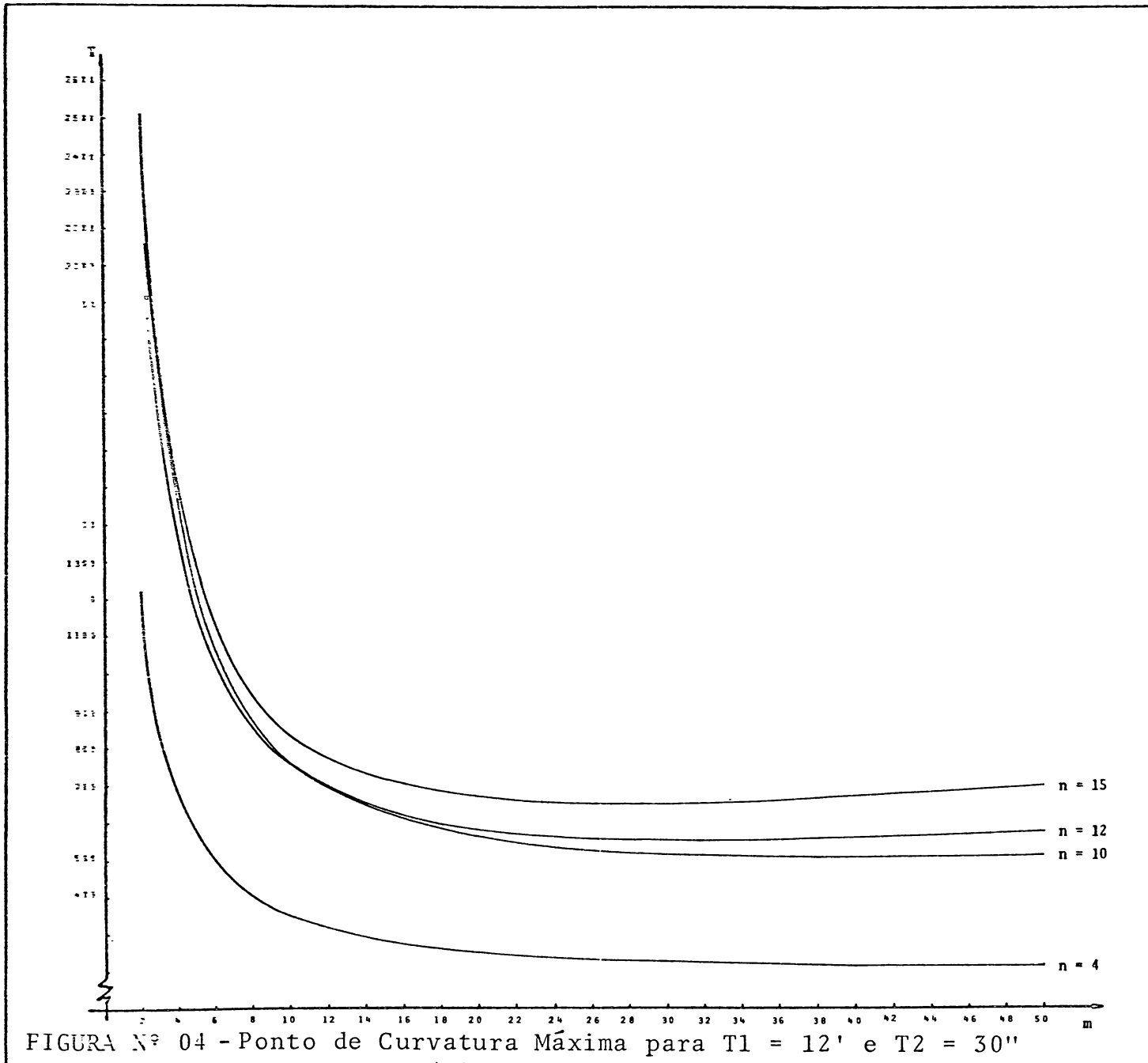


FIGURA Nº 04 - Ponto de Curvatura Máxima para $T1 = 12'$ e $T2 = 30''$

TABELA Nº 07 - Variação do tempo total em função de T1 = 14' e T2 = 30" para o cálculo do ponto de curvatura máxima - Tempo em minutos.

m	n = 4	n = 10	n = 12	n = 15
2	1.410,73	2.998,50	2.830,36	3.039,28
4	770,06	1.648,45	1.576,86	1.710,75
6	557,97	1.202,54	1.164,63	1.275,39
8	453,03	982,66	962,73	1.063,33
10	390,95	853,20	844,95	940,58
12	350,30	768,94	769,24	862,49
14	321,90	710,52	717,56	809,91
16	301,15	668,24	680,91	773,29
18	285,50	636,72	654,27	747,30
20	273,42	612,74	634,65	728,75
22	263,94	594,24	620,12	715,62
24	256,41	579,85	609,41	706,55
26	250,37	568,62	601,65	700,59
28	245,52	559,87	596,20	697,10
30	241,60	553,11	592,60	695,56*
32	238,45	547,97	590,50	695,62
34	235,93	544,15	589,64*	697,00
36	233,94	541,44	589,80	699,47
38	232,39	539,67	590,84	702,86
40	231,21	538,69	592,61	707,03
42	230,36	538,39*	595,02	711,88
44	229,79	538,67	597,97	717,30
46	229,45	539,47	601,40	723,23
48	229,33*	540,71	605,25	729,60
50	229,40	542,35	609,46	736,36

* = Ponto mínimo

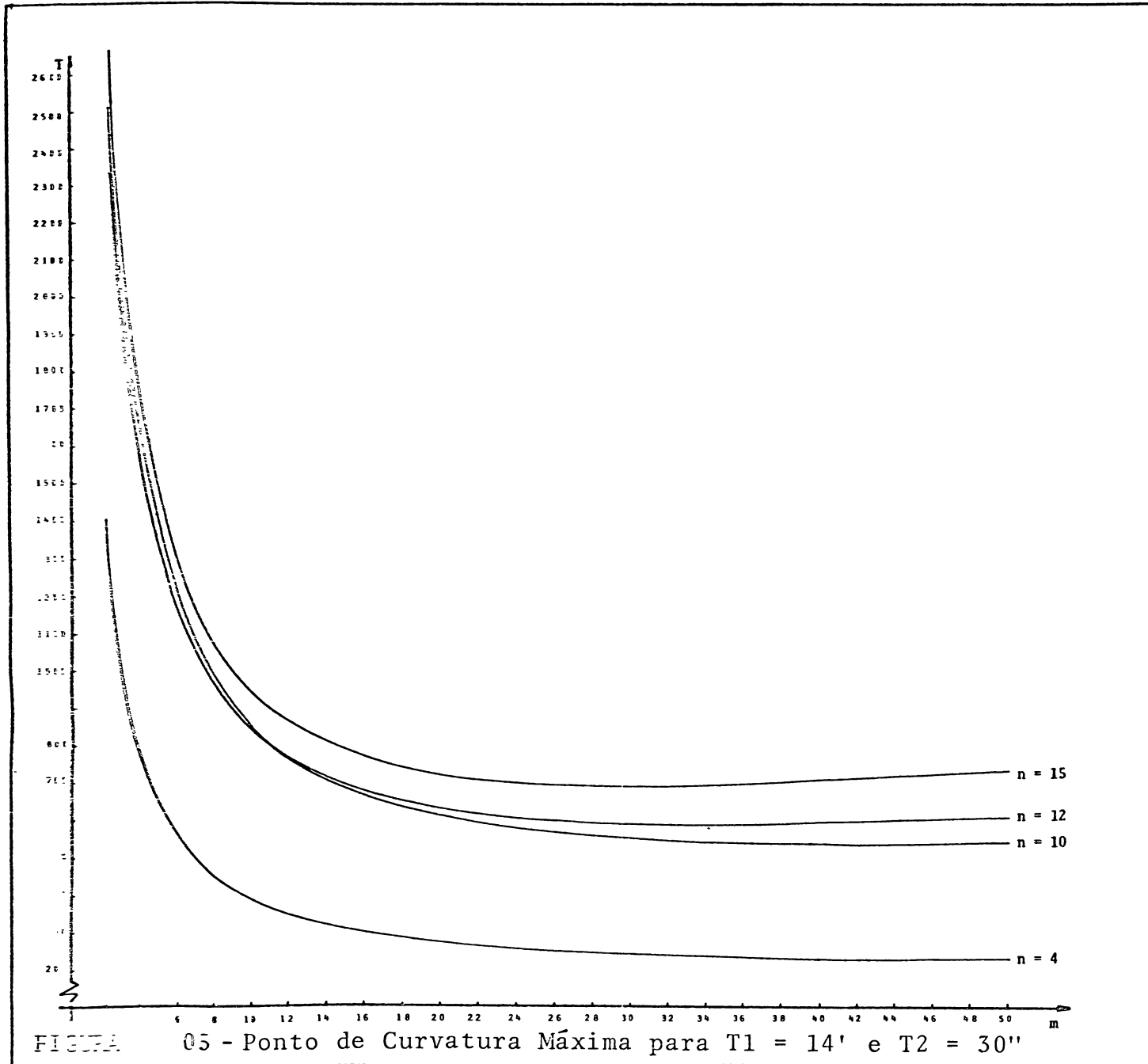


FIGURA 05 - Ponto de Curvatura Máxima para $T_1 = 14'$ e $T_2 = 30''$

4.1.3.3 - TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS INTEIROS

O programa de computação eletrônica desenvolvido para o presente trabalho, apresentado em anexo, pede como dados de entrada, K, K+Z e N, onde:

N = número total estimado de indivíduos a serem medidos. No caso particular da área A, a estimativa era de 15 amostras com 100 indivíduos em cada uma, totalizando 1.500 números a serem gerados.

K = maior valor individual da variável; diâmetro a ser medido = 27 cm.

Z = probabilidade incondicional da árvore ser amostrada, que representa a incógnita do problema.

Considerando que, tendo sido definida a expectativa de $n_e = 26$, e que a estimativa da somatória dos diâmetros seja $\hat{T}_x = 1.600$ e aplicando-se a fórmula a seguir, tem-se:

$$n_e = \frac{\hat{T}_x}{K+Z} \quad \text{estima-se } Z.$$

$$Z = \left(\frac{\hat{T}_x}{n_e} \right) - K \quad \text{onde, substituindo, tem-se:}$$

$$Z = \frac{1.600}{26} - 27 \quad Z = 34,54 \approx 35.$$

Logo:

$$K + Z = 62$$

Na entrada dos dados no programa, obteve-se os resultados que são apresentados na Tabela nº 08, para uma única parcela.

TABELA N° 08 - Números aleatórios para uma amostra

K = 27; K+Z = 51; N1 = 1.500

0	14	3	1
4	24	14	8
24	10	4	8
0	3	0	20
0	23	13	0
2	25	22	23
12	17	0	0
0	22	0	4
9	18	0	0
0	18	0	0
0	14	0	1
0	0	18	17
15	11	19	0
0	15	15	15
0	11	0	8
0	0	0	0
16	3	0	15
24	12	0	24
0	12	0	0
0	9	24	4
0	0	0	26
24	20	0	4
0	22	25	0
0	0	6	0
11	0	7	5
0	11	0	2

4.1.3.4 - FOLHA DE CAMPO

Com os números obtidos na geração da tabela de números aleatórios, foi elaborada uma folha de campo para a coleta de dados, a qual é apresentada em anexo (Folha de campo nº 01).

Anteriormente ao trabalho de campo, foram colocados os números aleatórios na coluna correspondente.

4.1.3.4.1 - RESULTADOS FINAIS

Na folha de campo foram anotadas as predições e comparadas com os números aleatórios. Quando ocorria as correlações determinadas por Grosenbaugh (ver item 2.3) os diâmetros eram mensurados e anotados na linha e coluna correspondentes.

Na folha de campo nº 02 é apresentada uma amostra realizada em campo.

Para cada amostra, em trabalho de escritório, foram somadas as predições (\hat{T}_x) e aplicadas à fórmula proposta.

Como exemplo, são apresentados os resultados obtidos com a amostra nº 1 dos trabalhos de campo (folha de campo nº 02).

Cálculo do valor do diâmetro pelo método 3-P:

$$\hat{T}_y = \left(\frac{\hat{T}_x}{m}\right) \sum^n \left(\frac{y_j}{x_j}\right)$$

Onde:

\hat{T}_y = cálculo do valor médio da variável estimado pelo método 3-P.

FOLHA DE CAMPO Nº 01

AMOSTRA Nº

ESPÉCIE:

ESPAÇAMENTO:

LOCAL:

TALHÃO:

IDADE:

TÉCNICOS:

DATA:

ÁRVORE NÚMERO	NÚMERO ALEATÓRIO	DIÂMETRO PREDITO	DIÂMETRO REAL
1	0		
2	10		
3	13		
4	0		
5	0		
6	15		
7	0		
8	15		
9	9		
10	0		
11	14		
12	4		
13	0		
14	0		
15	0		
16	11		
17	8		
18	24		
19	24		
20	20		
21	3		
22	8		
23	2		
24	0		
25	14		
26	19		
27	0		
28	12		
29	0		
30	0		
31	1		
32	0		
33	0		
34	22		
35	0		
36	0		
37	0		
38	0		
39	4		
40	4		
41	4		
42	3		
43	25		
44	0		
45	1		
46	0		
47	0		
48	24		
49	0		
50	0		
51	24		
52	0		
53	0		
54	4		
55	0		

ÁRVORE NÚMERO	NÚMERO ALEATÓRIO	DIÂMETRO PREDITO	DIÂMETRO REAL
56	15		
57	0		
58	0		
59	0		
60	22		
61	14		
62	0		
63	22		
64	9		
65	0		
66	15		
67	16		
68	12		
69	0		
70	25		
71	8		
72	20		
73	23		
74	18		
75	18		
76	15		
77	3		
78	0		
79	0		
80	0		
81	0		
82	0		
83	12		
84	0		
85	13		
86	0		
87	0		
88	0		
89	26		
90	0		
91	24		
92	23		
93	17		
94	0		
95	0		
96	11		
97	0		
98	0		
99	24		
100	0		
101	0		
102	10		
103	13		
104	0		
105	0		
106	15		
107	0		
108	15		
109	9		
110	0		

EDP -

Nº ÁRV. -

D 3P -

Hdg -

Vol. 3P -

FF -

FOLHA DE CAMPO Nº 02

AMOSTRA Nº 01

ESPÉCIE: Pinus taeda

ESPAÇAMENTO: 2 x 2 m

LOCAL: FAZENDA SLAVIERO

TALHÃO: 39

IDADE: 9 anos

TÉCNICOS: ROBERTO PEDRO BOM e JOÃO FERNANDO BORGES

DATA: 10/76

ÁRVORE NÚMERO	NÚMERO ALEATÓRIO	DIÂMETRO PREDITO	DIÂMETRO REAL
1	0	18,0	
2	10	11,0	13,3
3	13	19,0	20,6
4	0	15,0	
5	0	10,0	
6	15	15,0	17,1
7	0	16,0	
8	15	15,0	14,9
9	9	12,0	12,3
10	0	13,0	
11	14	13,0	
12	4	13,0	13,4
13	0	18,0	
14	0	17,0	
15	0	18,0	
16	11	16,0	16,5
17	8	15,0	16,1
18	24	9,0	
19	24	17,0	
20	20	10,0	
21	3	18,0	18,9
22	8	13,0	14,5
23	2	23,0	25,0
24	0	17,0	
25	14	5,0	
26	19	15,0	
27	0	20,0	
28	12	12,0	11,4
29	0	20,0	
30	0	16,0	
31	1	16,0	16,6
32	0	15,0	
33	0	18,0	
34	22	16,0	
35	0	21,0	
36	0	15,0	
37	0	13,0	
38	0	17,0	
39	4	16,0	18,7
40	4	16,0	16,3
41	4	13,0	14,0
42	3	13,0	14,2
43	25	16,0	
44	0	14,0	
45	1	13,0	13,7
46	0	15,0	
47	0	18,0	
48	24	14,0	
49	0	13,0	
50	0	16,0	
51	24	15,0	
52	0	18,0	
53	0	19,0	
54	4	14,0	13,7
55	0	19,0	

ÁRVORE NÚMERO	NÚMERO ALEATÓRIO	DIÂMETRO PREDITO	DIÂMETRO REAL
56	15	16,0	16,2
57	0	11,0	
58	0	12,0	
59	0	14,0	
60	22	16,0	
61	14	9,0	
62	0	17,0	
63	22	20,0	
64	9	16,0	17,0
65	0	10,0	
66	15	13,0	
67	16	11,0	
68	12	16,0	17,0
69	0	18,0	
70	25	16,0	
71	8	22,0	23,7
72	20	13,0	
73	23	11,0	
74	18	8,0	
75	18	19,0	
76	15	14,0	
77	3	10,0	11,4
78	0	19,0	
79	0	21,0	
80	0	16,0	
81	0	12,0	
82	0	13,0	
83	12	17,0	17,1
84	0	16,0	
85	13	-	-
86	0	18,0	
87	0	10,0	
88	0	14,0	
89	26	21,0	
90	0	21,0	
91	24	17,0	
92	23	6,0	
93	17	14,0	
94	0	7,0	
95	0	15,0	
96	11	17,0	16,4
97	0	15,0	
98	0	14,0	
99	24	14,0	
100	0	16,0	
101	0	19,0	
102	10	15,0	16,4
103	13	20,0	21,0
104	0	17,0	
105	0	12,0	
106	15		
107	0		
108	15		
109	9		
110	0		

ΣDP = 1.570

Nº ÁRV. = 104

D 3P = 16,00

Mdg = 10,25

Vol. 3P = 11,15/11,88

VV = 0,52

\hat{T}_x = somatória dos diâmetros preditos, para o exemplo = 1.570

m = número de indivíduos mensurados, para o exemplo = 28

y_j = valor real medido

x_j = valor predito

Resolvendo:

$$\begin{aligned} \hat{T}_y = & \frac{1.570}{28} \cdot \left(\frac{13,3}{11} + \frac{20,6}{19} + \frac{17,1}{15} + \frac{14,9}{15} + \frac{12,3}{12} + \frac{13,4}{13} + \frac{16,5}{16} + \right. \\ & + \frac{16,1}{15} + \frac{18,9}{18} + \frac{14,5}{13} + \frac{25,0}{23} + \frac{11,4}{12} + \frac{16,6}{16} + \frac{18,7}{16} + \frac{16,3}{16} + \\ & + \frac{14,0}{13} + \frac{14,2}{13} + \frac{13,7}{13} + \frac{13,7}{14} + \frac{16,2}{16} + \frac{17,0}{16} + \frac{17,0}{16} + \frac{23,7}{22} + \\ & \left. + \frac{11,4}{10} + \frac{17,1}{17} + \frac{16,4}{17} + \frac{16,4}{15} + \frac{21,0}{20} \right) \end{aligned}$$

$$\hat{T}_y = 56,07 \cdot (29,68)$$

$$\hat{T}_y = 1.664,42 \text{ (corresponde a AB da amostra)}$$

Dividindo-se \hat{T}_y pelo número de indivíduos da amostra (mt), tem-se a estimativa do diâmetro médio calculado:

$$\bar{d} = \frac{\hat{T}_y}{mt} = \frac{1.664,42}{104} = 16,00$$

Aplicando-se o diâmetro médio na fórmula do volume, calcular:

$$v = \frac{\bar{d}^2}{4} \times \pi \times FF \times h \times m$$

$$v = \frac{16^2 \pi}{4} \times .52 \times 10,25 \times 104 =$$

$$v = 11,15 \text{ m}^3$$

Aplicando-se o mesmo diâmetro nas equações hipsométricas e volumétricas (ver item 3.2.1), tem-se:

$$v = 0,11 \times 104 = 11,88$$

Na Tabela nº 09 são apresentados os resultados obtidos através dos cálculos de 3-P e na Tabela nº 10 são comparados os resultados calculados pela equação de volume comumente usada e as relações hipsométricas e equações volumétricas, considerando o diâmetro médio calculado multiplicado pelo número total de indivíduos da parcela.

4.1.3.4.2 - RESULTADOS PELA ANÁLISE ESTATÍSTICA

BASE: AT

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 10,08$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - nx}{n - 1} = 1,51$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 1,23$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,32$$

Coeficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 12,2\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 6,81 \cong 7 \text{ amostras}$$

4.1.3.4.3 - RESULTADOS PELA ANÁLISE ESTATÍSTICA -

BASE: EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA E VOLUMÉTRICA

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 10,77$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1} = 1,33$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 1,15$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,30$$

Coeficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 10,69\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 5,25 \cong 5 \text{ amostras}$$

TABELA Nº 09 - Cálculo do Diâmetro Médio Pelo Processo 3-P

AMOSTRA NÚMERO	\hat{T}_x	m (men- surados)	n $\Sigma \left(\frac{y_j}{x_j}\right)$	AB (calculada)	mt TOTAL DA AMOSTRA	DIÂMETRO CALCULADO
1	1.570	28	29,68	1664,42	104	16,00
2	1.657	31	30,95	1654,51	99	16,71
3	1.668	24	24,16	1695,71	104	16,30
4	1.555	23	23,41	1582,61	103	15,37
5	1.439	22	22,78	1457,28	92	15,84
6	1.512	23	23,40	1538,32	96	16,02
7	1.549	28	28,02	1550,13	99	15,66
8	1.618	26	25,75	1602,71	97	16,52
9	1.598	26	25,24	1551,49	108	14,37
10	1.566	29	28,54	1541,50	101	15,26
11	1.686	33	32,77	1674,38	111	15,08
12	1.427	19	18,76	1409,26	100	14,09
13	1.464	29	28,55	1441,52	103	14,00
14	1.626	18	18,46	1667,65	108	15,44
15	1.392	24	24,19	1403,33	96	14,62

TABELA Nº 10 - Comparação dos Volumes Calculados

AMOSTRA NÚMERO	ALTURA P/ BASE: AT	VOLUME BASE: AT	VOLUME BASE: EQUAÇÕES
1	10,25	11,15	11,88
2	10,52	11,88	12,34
3	10,45	11,79	12,33
4	10,18	10,12	10,85
5	10,15	9,66	10,30
6	10,40	10,46	11,00
7	10,31	10,22	10,83
8	10,55	11,41	11,82
9	10,03	9,14	9,94
10	10,22	9,82	10,49
11	10,15	10,46	11,26
12	9,90	8,03	8,84
13	9,94	8,20	8,99
14	9,87	10,38	11,49
15	10,05	8,42	9,15

OBS.: Para o cálculo do Volume-Base:AT, Cálculo do Processo Convencional e Fator de Forma, foram utilizadas as mesmas alturas.

4.1.3.5 - COMPARAÇÃO DE TODOS OS RESULTADOS OBTIDOS

Para uma melhor visualização, os resultados são apresentados em uma única tabela, na qual são comparados os dados obtidos pela análise estatística (Tabela nº 11).

TABELA Nº 11 - Comparação dos Resultados

MÉTODOS ANÁLISES	TESTEMUNHO	CONVENCIONAL	3-P	
			BASE=AT	BASE: EQUAÇÕES
MÉDIA	11,17 m ³	10,50 m ³	10,08 m ³	10,77 m ³
VARIÂNCIA	0,83	1,27	1,51	1,33
DESVIO-PADRÃO	0,91	1,13	1,23	1,15
ERRO-PADRÃO	0,23	0,29	0,32	0,30
C.V.	8,15%	10,76%	12,20%	10,69%
AMOSTRAS REQUERIDAS	3	5	7	5

4.2 RESULTADOS OBTIDOS NA ÁREA B

A área B foi subdividida em duas áreas de amostragens distintas, sendo um povoamento implantado em 1969 e o outro em 1970.

Os resultados obtidos pelo processo convencional foram comparados aos resultados alcançados pelo processo 3-P.

Para melhor comparação nos levantamentos de campo para o processo 3-P, os técnicos que o executaram desconheciam o processo 3-P. Assim, cada técnico, um para cada área, fizeram suas predições que são reportadas para este capítulo.

4.2.1 - GERAÇÃO DA TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS

Para a geração de números aleatórios foi considerada como base de cálculos a expectativa $n_e = 26$ indivíduos, para cada 100 indivíduos dentro da amostra.

Uma visita aos povoamentos foi o necessário para a estimativa da somatória total dos valores da variável (\hat{T}_x) e a estimativa visual do maior diâmetro dentro do povoamento.

Desta forma, a estimativa de $K + Z$ foi calculada como segue:

Para a área de 1969:

$$n_e = 26$$

$$\hat{T}_x = 1.750$$

$$K = 33$$

$$\text{Onde: } n_e = \frac{\hat{T}_x}{K+Z} \quad Z = \frac{\hat{T}_x}{n_e} - K$$

$$\text{Sendo: } Z = \frac{1750}{26} - 33 \cong 34$$

$$\text{Logo: } K + Z = 67$$

O programa de números inteiros aleatórios foi gerado para $K = 33$, $k + Z = 67$ e $N1 = 900$, sendo $N1$ correspondente a 9 amostras de 100 indivíduos cada.

Para a área de 1970:

$$N_e = 26$$

$$\hat{T}_x = 1.650$$

$$K = 29$$

$$\text{Onde: } n_e = \frac{\hat{T}_x}{K+Z} \quad Z = \frac{\hat{T}_x}{n_e} - K$$

$$\text{Sendo: } Z = \frac{1650}{26} - 29 \cong 34$$

$$\text{Logo: } K + Z = 63$$

O programa de números inteiros aleatórios foi gerado para $K = 29$, $K + Z = 63$ e $N1 = 1.000$, sendo $N1$ correspondente a 10 amostras de 100 indivíduos cada.

Com as tabelas prontas, foram coletados os dados de campo, sendo reportadas as estimativas, como demonstram os itens seguintes.

4.2.2 RESULTADOS DA ÁREA DE PLANTIO 1969

Para este povoamento foram executadas 9 amostras, onde a variável medida foi o diâmetro. Utilizou-se altura e fator

de forma como valores constantes para uma melhor comparação.

4.2.2.1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA PELO PROCESSO CONVENCIONAL

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = 13,68$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\Sigma x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1} = 1,26$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 1,12$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,37$$

Coeficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 8,19\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 3,59 \cong 4 \text{ amostras. (para 95\% de probabilidade e 10\% de erro)}$$

4.2.2.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA PELO PROCESSO 3-P

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = 12,73$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\Sigma x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1} = 1,54$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 1,24$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,41$$

Coeficiente de variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} = 100 = 9,76\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 5,07 \cong 5 \text{ amostras}$$

4.2.2.3 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA ÁREA DE PLANTIO 1969

Na tabela nº 12 são apresentados os resultados obtidos

TABELA Nº 12 - Resultados obtidos na Área de Plantio 1969

AMOSTRA Nº	3-P				DIÂMETRO MÉDIO REAL	DIÂMETRO \bar{D}_g	ALTURA	FATOR DE FORMA	VOLUME			
	N	Tx	$\sum \frac{y_i}{x_i}$	ne					DIÂMETRO CALCULADO	3-P	DIÂMETRO MÉD. REAL	\bar{D}_g
1	100	1.696,0	28,69	29,0	16,78	16,96	17,44	10,7	0,5	11,83	12,09	12,78
2	100	1.691,5	32,06	32,0	16,94	16,89	17,31	10,6	0,5	11,95	11,87	12,47
3	100	1.810,5	23,72	23,0	18,67	18,51	18,93	11,0	0,5	15,06	14,80	15,48
4	100	1.760,0	27,15	27,0	17,69	17,72	18,71	11,0	0,5	13,52	13,56	15,12
5	100	1.750,0	23,31	23,0	17,74	17,51	18,20	10,9	0,5	13,47	13,12	14,18
6	100	1.677,5	19,68	20,0	16,50	16,71	17,35	10,6	0,5	11,33	11,62	12,53
7	100	1.724,5	25,53	25,0	17,61	17,48	18,13	10,8	0,5	13,15	12,96	13,94
8	100	1.689,0	28,00	27,0	17,51	17,22	18,04	10,8	0,5	13,00	12,58	13,80
9	100	1.654,5	23,77	24,0	16,38	16,74	17,44	10,7	0,5	11,27	11,77	12,78

por amostra, incluindo os diâmetros médios reais de cada amostra.

Com base no diâmetro médio foram também analisados, estatisticamente, os resultados obtidos, para uma melhor comparação das estimativas pelo processo 3-P.

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{x}{n} = 12,71$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$s^2 = \frac{x^2 - n\bar{x}}{n - 1} = 1,06$$

Desvio-Padrão:

$$s = \sqrt{s^2} = 1,03$$

Erro-Padrão:

$$s\bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,34$$

Coefficiente de Variação:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 = 8,11\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2} = 3,50 \cong 4 \text{ amostras}$$

Na tabela nº 13 são demonstrados os resultados obtidos pela análise estatística nos três cálculos efetuados.

4.2.3 RESULTADOS NA ÁREA DE PLANTIO 1970

4.2.3.1 - RESULTADOS OBTIDOS PELO PROCESSO CONVENCIONAL

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = 12,04$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\Sigma x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1} = 0,45$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 0,67$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,21$$

Coefficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 5,58\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 1,59 \approx 2 \text{ amostras.}$$

TABELA Nº 13 - Resultados finais da Análise Estatística

Área de Plantio 1969

DISCRIMINAÇÃO	PROCESSO CONVENCIONAL	PROCESSO 3-P	DIÂMETRO MÉDIO REAL
MÉDIA (\bar{x})	13,68	12,73	12,71
Estimativa da Variância das Amostras (S^2)	1,26	1,54	1,06
Desvio-Padrão (S)	1,12	1,24	1,03
Erro-Padrão ($S\bar{x}$)	0,37	0,41	0,34
Coefficiente de Variação (CV)	8,19%	9,76%	8,11%
Número de amostras requeridas (n)	4	5	4

4.2.3.2 - RESULTADOS OBTIDOS PELO PROCESSO 3-P

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = 11,33$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$S^2 = \frac{\Sigma x^2 \cdot n\bar{x}}{n - 1} = 0,31$$

Desvio-Padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = 0,56$$

Erro-Padrão:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,18$$

Coefficiente de Variação:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 = 4,95\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2} = 1,23 \cong 1 \text{ amostra}$$

4.2.3.3 - RESULTADOS OBTIDOS POR CÁLCULOS COM DIÂMETRO MÉDIO REAL

Média das Amostras:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 11,20$$

Estimativa da Variância das Amostras:

$$s^2 = \frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1} = 0,32$$

Desvio-Padrão:

$$s = \sqrt{s^2} = 0,56$$

Erro-Padrão:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,18$$

Coefficiente de Variação:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} = 100 = 5,01\%$$

Número de Amostras Requeridas:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2} = 1,30 \approx 1 \text{ amostra}$$

4.2.3.4 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DA ÁREA DE PLANTIO 1970

Na tabela nº 14 são apresentados os cálculos efetuados com os resultados obtidos. Como para a área anterior, as alturas e o fator de forma foram mantidos constantes.

Na tabela nº 15 são apresentados, resumidamente, os resultados das análises estatísticas.

TABELA Nº 14 - Resultados obtidos na Área de Plantio 1970

AMOSTRA Nº	3-P					DIÂMETRO MÉDIO REAL	DIÂMETRO \bar{D}_g	ALTURA	FATOR DE FORMA	VOLUME		
	N	Tx	$\sum \frac{y_i}{x_i}$	ne	DIÂMETRO CALCULADO					3-P	DIÂMETRO MÉD. REAL	\bar{D}_g
1	100	1.535,5	30,68	29,0	16,24	16,00	16,36	10,40	0,5	10,77	10,46	10,93
2	100	1.636,5	33,57	33,0	16,65	16,38	17,34	10,60	0,5	11,54	11,17	12,52
3	100	1.645,5	21,78	21,0	17,07	16,55	17,25	10,60	0,5	12,13	11,40	12,39
4	100	1.559,0	30,87	30,0	16,04	16,03	16,72	10,50	0,5	10,61	10,60	11,53
5	100	1.682,0	24,03	24,00	16,84	17,01	17,50	10,70	0,5	11,92	12,16	12,87
6	100	1.653,0	22,73	23,0	16,34	16,42	16,80	10,50	0,5	11,01	11,12	11,64
7	100	1.624,0	32,03	32,0	16,26	16,27	16,70	10,50	0,5	10,90	10,92	11,50
8	100	1.695,5	25,90	26,0	16,89	16,96	17,49	10,70	0,5	11,99	12,09	12,85
9	100	1.652,0	23,16	23,0	16,63	16,39	17,34	10,60	0,5	11,51	11,18	12,52
10	100	1.632,5	27,86	28,0	16,24	16,26	16,78	10,50	0,5	10,87	10,90	11,61

TABELA Nº 15 - Resultados finais da Análise Estatística

Área de Plantio 1970

DISCRIMINAÇÃO	PROCESSO CONVENCIONAL	PROCESSO 3-P	DIÂMETRO MÉDIO REAL
Média das Amostras (\bar{x})	12,04	11,33	11,20
Estimativa da Variância das Amostras (S^2)	0,45	0,31	0,32
Desvio-Padrão (S)	0,67	0,56	0,56
Erro-Padrão ($S\bar{x}$)	0,21	0,18	0,18
Coefficiente de Variação (CV)	5,58%	4,95%	5,01%
Número de Amostras Requeridas (n)	2	1	1

5. DISCUSSÕES

O trabalho desenvolvido vem demonstrar que a utilização do processo 3-P de Grosenbaugh é perfeitamente aplicável em povoamentos homogêneos, dentro do conceito e filosofia propostos por seu autor.

Contudo, deve-se ressaltar alguns pontos em que deverá ser particularizada a sua aplicação.

Pode-se observar, através dos cálculos apresentados, que a estimativa pelo método 3-P é sempre próxima do valor médio real. Assim sendo, sua aplicação com a variável diâmetro deve ser executada somente em povoamentos que já tenham equações volumétricas desenvolvidas, onde a aplicação do diâmetro médio calculado reportará a melhor estimativa do parâmetro requerido, ou utilizar a predição do diâmetro e transformá-lo em área basal equivalente, antes dos cálculos das estimativas.

Se comparados os resultados da área, pode-se observar que a média das amostras calculadas pelas estimativas 3-P, quando aplicadas na equação volumétrica, apresentam resultados bem próximos ao testemunho em relação aos cálculos efetuados pela equação de volume:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times H \times FF \times N.$$

Nas estimativas realizadas para a área B os valores se aproximam sempre da média real e por conseguinte se afastam da estimativa \bar{d}_g calculada.

Contudo, o processo demonstra, teoricamente, que pode ser utilizado na predição de variáveis, como área basal ou volume onde as estimativas tenderão a demonstrar o valor do parâmetro.

Evidencia-se que, tomados os valores dos diâmetros preditos e transformados para a área basal, a estimativa pelo processo 3-P estará próxima do valor do parâmetro.

Todavia, o trabalho desenvolvido testou as estimativas da variável diâmetro, através de cálculos que proporcionassem a melhor estimativa, em um menor espaço de tempo, que corresponderia em menores custos.

O trabalho demonstra também a assertiva de SPURR³⁰ que o tamanho da amostra deva incluir 20 a 30 indivíduos mensuráveis, onde a expectativa de 26 indivíduos vieram comprovar a validade da teoria.

Ficou demonstrado também que o programa desenvolvido para geração de números aleatórios aplicáveis ao processo 3-P, correspondem ao desejado, ou seja, selecionando aleatoriamente o número de indivíduos dentro da expectativa ne.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados demonstraram a viabilidade de serem estimados os parâmetros, através da predição visual simples das variáveis.

Quando o trabalho vem sendo desenvolvido em torno da variável diâmetro, confirma as estimativas de área basal e volume que podem ser alcançados.

Deve-se ressaltar, contudo, que, para a utilização da predição de diâmetros estes, para reportarem os valores dos parâmetros requeridos, deverão ser calculados em função da área basal correspondente a cada valor medido.

O trabalho apresentado analisou apenas amostras de aproximadamente 100 indivíduos, onde a expectativa "ne" variou de 26 a 38 indivíduos a serem amostrados. Esta variação demonstrou que a distância entre as amostras, o número de amostras e a área das mesmas, influem diretamente na expectativa "ne". Assim sendo, recomendam-se estudos que avaliem as alterações da expectativa "ne" para diferentes unidades de amostras, quer na quantidade numérica, quer no número de indivíduos (ou área da parcela).

Se determinadas as expectativas "ne", poder-se-á aplicar, com base no inventário-piloto, a quantidade de números aleatórios necessários para a estimativa do parâmetro requerido.

Na comparação dos resultados conseguidos, pode-se observar que não existem diferenças significantes nos resultados obtidos entre os processos aqui aplicados, o que vem de-

monstrar a viabilidade técnica da utilização do processo.

Recomenda-se que seja testado o processo para a variável altura em povoamentos plantados e em povoamentos nativos de folhosas, podendo, neste caso, utilizar-se da predição direta da variável volume.

7. RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a validade do processo de amostragem bi-etápico 3-P (Probabilidade Proporcional a Predição), desenvolvido por L.R. Grosenbaugh em plantios homogêneos.

Testa as estimativas visuais da variável diâmetro e compara os resultados obtidos contra os cálculos convencionais do processo inteiramente aleatório.

Utilizaram-se três áreas florestais distintas onde, na primeira eram conhecidos os valores considerados como sendo os dos parâmetros, devido à quantidade de dados anteriormente coletados, os quais serviram de testemunho para a comparação dos resultados. Nas demais áreas foram comparados simplesmente os resultados obtidos entre o processo convencional e o processo 3-P.

Para a utilização das fórmulas apresentadas para o processo 3-P foram realizados estudos do ponto máximo de curvatura entre o erro-padrão e o número de indivíduos dentro das amostras, determinando o número ideal de indivíduos a serem medidos.

Os cálculos utilizados no processo 3-P são baseados em uma tabela de números aleatórios inteiros, os quais selecionam o número mínimo de indivíduos a serem medidos. Compara o valor real medido com o valor predito, aplicando e estimando, nas fórmulas desenvolvidas, o valor médio do parâmetro.

Os resultados obtidos vieram demonstrar que não exis-

tem diferenças significantes entre os processos testados. Contudo, os cálculos para a estimativa do volume, a partir da predição do diâmetro, segundo PRODAN não são muito ajustados; recomenda-se então, a transformação do diâmetro para área basal antes de serem efetuados os cálculos.

Como não existem diferenças significantes nos resultados obtidos, o processo 3-P vem se caracterizar como viável, tecnicamente, de ser utilizado em plantios homogêneos, devido sua rapidez de execução e menores custos de amostragem.

8. SUMMARY

The present work has the goal the evaluation of the two stages sample 3-P process (Prediction Proportional Probability), developed by L. R. Grosenbaugh concerning to homogeneous plantations.

It tests the visual estimates of variable diameter and compares the results achieved against the conventional calculations of the aleatory process.

Three distinct forest areas were, used on the first considered values were known as being the parameters, due to the quantity of information previously obtained, which were used as a witness for the comparison of the results.

On the other areas the obtained results were simply comparad between the conventional process and the 3-P process.

To the utilization of the shown formulas for the 3-P process studies were accomplished from the maximum point of curvature between the standard error and the ideal number of individual to be measured.

The accomplished calculations in the 3-P process are based in a table of aleatory whole numbers, the ones which select the minimum number of individuals to be measured. It compares the real measured value to the predicted value, applying and estimating them in the developed formulas on the average value of the parameter.

The results obtained came to demonstrate that significant differences do not exist between the tested processes.

However, the calculation for the estimate of the value from the prediction of the diameter according to PRODAM are not very well adjusted; we recommend then, the transformation of diameter to basal area before the calculation are effected.

As any meaning do not exist in the obtained results, the 3-P process come to characterize as technically viable of being used in homogeneous plantations due to its rapidity of execution and minor expenses in sample.

BIBLIOGRAFIA

1. AVERY, G. NEWTON, R. Plot Sizes For Timber Cruising In Georgia. Jor. Forester. 1965. 539 p.
2. BELL, J.F. DILWORTH. J.R. Variável Probability Sampling Oregon. 1974. 130 p.
3. BONILLA, J.A. El tamaño de parcela su magmetud mas adecuada para relevanier dasometricos. Silvicultura Maldonado. Uruguay n° 27 38 p.
4. CABALLERO, M.D. Instructivo para la toma de dado com muestro 3P. Guadalajara, Mexico. 1974 38 p.
5. COCHRAN, W.G. Técnicas de Amostragem, Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1965. 555p.
6. CRONKLE, M.T. The determination of experimental plot size and shape in loblolly and slash pinus. North Carolina State College. 1963 51 p.
7. DELOYA, M.C. Considerações generales sobre el muestro 3-P. Nota informativa n° 25. Guadalajara Mexico 1974 16 p.
8. EVANS, T.C. BARBER, J.C. SQUILLACE, A.E. Some statistical aspects of Progeny Testing. Florida 1961 79p.
9. FEDERER, W.T. Experimental Design. McMillan Co. New York. 1955.
10. FREESE, F. Muestro Forestal Elemental. Washington Forest Service. 1969. 96 p.
11. GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental, Piracicaba, 1973. 430 p.
12. GROSENBAUGH, L.R. Sample tree measurement a new science. Georgia, 1968. V. 28 (3) 10.11 p.
13. — Forest measurent McGraw Hill Book Company. 1973.
14. — STX 3.3.73: Tree content and volue estimation using various sample designs, dendrometry methods and V-S-L Cowersion Coeficient Forest Service, 1974. 117p.
15. — Teoria Ejemplos y base racional del muestro 3-P, Gua dalajara, Mexico, 1974. 22 p.

16. HANSEN, M.G. and W.N. HURWITZ - On the theory of sampling from finite populations. Math. Stat, 1943, 362 p.
17. HOOSER, D.D. Van. Field Evaluation of Two-Stage 3-P sampling. Forest Service, 1973. 86 p.
18. — Evaluation of Two-Stage 3-P sampling for forest surveys. Forest Service, 1972. 77 p.
19. HUSCH, B. Planning a Forest Inventory F.A.O. Roma. 1971. 120 p.
20. MANUAL DE INVENTÁRIO FORESTAL, F.A.O., Roma. 1974. 195p.
21. MESSAVAGE, C. STX timber estimating with 3-P sampling and dendrometry. Forest Service, 1971. 135 p.
22. — Aids for Using Ban and Strored dendrometers. Denver Colorado, 1964. 238 p.
23. NYSSONEN, A. On the efficiency of some methode of forest survey. F.A.O. Roma, 1966. 22.473/6 p.
24. PEARCE, S.C. Field experimentation with fruit trees and others peremitial plants. England, 1953.
25. PÉLLICO, S.N. Factors Affecting Cluster Sampling, State University of New York, Syracuse, 1968.
26. PRODAN, M. Forest biometrics, Oxford, Pergamon, 1968. 447p.
27. SPACE, J.C. 3-P Forest Inventory. Forest Service. Atlanta Georgia, 1974. 58 p.
28. — Aplicacion del Muestro 3-P y dendrometria. Atenquique, 1975. 14 p.
29. SUKHATME, P.U., Sampling theory of surveys with apli-cations, Iowa State Coll. Annes Iowa, 1954.
30. SPURR, S.H. Forest Inventory. The Ronald Press Co. 1955. 479 p.
31. WRIGHT, J.W. Mejoramiento Genetico de los arboles fo-restales. F.A.O. Roma, 1964. 436 p.

APÊNDICE

PROGRAMAS PARA COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA

2) PROGRAMA PARA O CÁLCULO DO ERRO-PADRÃO COM n FIXO (HP 97)

$$S\bar{x} = \frac{S^2}{m \cdot n} [\bar{1} + \rho(m - 1)]$$

onde: LBLA = m

LBLC = n

LBLB = ρ

LBLD = S^2

```

001 *LBLA      21 11
002 ST00      35 00
003 RTN       24
004 RCL0      36 00
005 1         01
006 -        -45
007 *LBLB     21 12
008 x        -35
009 1         01
010 +        -55
011 +        -55
012 ST01     35 01
013 RCL0     36 00
014 *LBLC    21 13
015 x        -35
016 1/X      52
017 *LBLD    21 14
018 x        -35
019 ST02     35 02
020 RCL1     36 01
021 RCL2     36 02
022 x        -35
023 √X       54
024 PRTX     -14
025 RTN      24
026 R/S      51

```

3) CÁLCULO DO TEMPO EM FUNÇÃO DAS MEDIÇÕES (HP 97)

T com \underline{n} fixo, variando \underline{m}

$$T = \frac{S^2}{S\bar{x}^2_m} [1 + \rho(m - 1)] (T1 + T2m)$$

onde: LBLA = m LBLD = S²
 LBLB = ρ LBLE = T2
 LBLC = S² \bar{x} LBLα = T1

001	*LBLA	21 11
002	ST00	35 00
003	RTN	24
004	RCL0	36 00
005	1	01
006	-	-45
007	*LBLB	21 12
008	x	-35
009	1	01
010	+	-55
011	ST01	35 01
012	RCL0	36 00
013	*LBLC	21 13
014	x	-35
015	1/X	52
016	*LBLD	21 14
017	ST02	35 02
018	RCL1	36 01
019	RCL2	36 02
020	x	-35
021	ST03	35 03
022	RCL0	36 00
023	*LBLE	21 15
024	x	-35
025	*LBLα	21 16 11
026	+	-55
027	ST04	35 04
028	RCL3	36 03
029	RCL4	36 04
030	x	-35
031	PRTX	-14
032	RTN	24
033	R/S	51

4) PROGRAMA PARA A SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES HIPSONÔMETRICA E
VOLUMÉTRICA.

001	*LBLA	21	11	051	ST02	35	02
002	ST00	35	00	052	RCL0	36	00
003	RTN		24	053	LOG	16	32
004	RCL0	36	00	054	X ²		53
005	LOG	16	32	055	.		-62
006	.		-62	056	2		02
007	4		04	057	5		05
008	3		03	058	0		00
009	7		07	059	0		00
010	8		08	060	2		02
011	9		09	061	2		02
012	6		06	062	1		01
013	1		01	063	6		06
014	1		01	064	0		00
015	x		-35	065	x		-35
016	.		-62	066	RCL0	36	00
017	4		04	067	LOG	16	32
018	0		00	068	2		02
019	4		04	069	.		-62
020	7		07	070	3		03
021	7		07	071	9		09
022	6		06	072	6		06
023	0		00	073	7		07
024	2		02	074	8		08
025	1		01	075	9		09
026	+		-55	076	4		04
027	ST01	35	01	077	0		00
028	RCL1	36	01	078	1		01
029	X ²		53	079	x		-35
030	.		-62	080	-		-45
031	8		08	081	CHS		-22
032	7		07	082	ST03	35	03
033	2		02	083	RCL2	36	02
034	0		00	084	RCL3	36	03
035	2		02	085	+		-55
036	8		08	086	3		03
037	9		09	087	.		-62
038	x		-35	088	0		00
039	RCL1	36	01	089	6		06
040	1		01	090	8		08
041	.		-62	091	4		04
042	2		02	092	6		06
043	7		07	093	8		08
044	5		05	094	0		00
045	0		00	095	0		00
046	0		00	096	0		00
047	1		01	097	-		-45
048	9		09	098	10*	16	33
049	x		-35	099	ST+4	35-55	04
050	-		-45	100	RTN		24
				101	R/S		51

5) PROGRAMA PARA A EQUAÇÃO DE NÚMEROS ALEATÓRIOS (HP 9830)

```

10 REM PROGRAMA DE NÚMEROS ALEATORIOS PARA O PROCESSO 3P.
20 REM PARA TX=1540,NE=26,K=27,Z=35,K+Z=62,N1=150
30 REM NO PROGRAMA O VALOR DE "K+Z" DEVE SER INDEXADO A "Z"
40 DISP "ENTER K,Z,N1";
50 INPUT K,Z,N1
60 PRINT "          " "K="K)"Z="Z)"N1="N1
70 PRINT
80 B=0
90 FORMAT F12.0
100 N0=0
110 N=0
120 M=1
130 A=INT(RND5*1000)
140 IF A>Z THEN 130
150 N0=N0+1
160 IF A=K THEN 250
170 IF A>Z THEN 130
180 IF A>K THEN 250
190 WRITE (15,90)A;
200 M=M+1
210 N=N+1
220 IF N=N1 THEN 390
230 IF M>10 THEN 310
240 GOTO 340
250 WRITE (15,90)B;
260 M=M+1
270 N=N+1
280 IF N=N1 THEN 410
290 IF M>10 THEN 310
300 IF M <= 10 THEN 380
310 M=1
320 PRINT
330 PRINT
340 IF N0/100#INT(N0/100) THEN 380
350 PRINT
360 PRINT
370 N0=0
380 GOTO 130
390 PRINT
400 PRINT
410 END

```

RESULTADOS E EQUAÇÕES UTILIZADOS

TABELA N° 16 - Cálculo do valor da variância - Erro-Padrão

AMOSTRAS	$n \cdot m$ $\Sigma (\Sigma x)^2$	mn $(\Sigma x)^2$	mn Σx^2	\bar{m}	S^2	$S\bar{x}$	ρ
2	2,89972	2,88871	3,47659	101,50	0,00295	0,00736	0,02718
3	4,26346	4,25102	5,21195	102,33	0,00315	0,00450	0,00962
4	5,47291	5,45283	6,69135	102,75	0,00303	0,00404	0,01188
5	6,91780	6,89334	8,56129	101,40	0,00330	0,00347	0,00849
6	8,28376	8,25743	10,32070	99,83	0,00531	0,00297	0,00531
7	9,60640	9,57993	11,86169	99,71	0,00328	0,00251	0,00351
8	11,22520	11,18542	13,81568	99,38	0,00331	0,00267	0,00725
9	12,33146	12,26216	15,24056	100,44	0,00330	0,00309	0,01630
10	13,54298	13,46876	16,70162	100,50	0,00322	0,00286	0,01564
11	14,80800	14,72632	18,35302	101,45	0,00325	0,00270	0,01501
12	15,71964	15,60330	19,50387	101,33	0,00321	0,00295	0,02281
13	16,69868	16,55844	20,82065	101,46	0,00324	0,00297	0,02594
14	17,67643	17,50570	22,15317	102,00	0,00326	0,00303	0,02994
15	18,68114	18,50253	23,51925	101,67	0,00329	0,00289	0,02849

EQUAÇÕES TESTADAS

1	$v = -0.016520124$	$+ 0.005668110d$	$+ -0.000067722d^2$	$+ -0.000096746dh$	$+ 0.000030753d^2h$	$+ -0.000737265h$
2	$v = -0.022464050$	$+ 0.006400393d$	$+ -0.000088584d^2$	$+ -0.000186612dh$	$+ 0.000033308d^2h$	
3	$v = 0.008823539$	$+ 0.000198973d^2$	$+ 0.000020119d^2h$	$+ 0.000000007dh^2$	$+ 0.000000100h^2$	
4	$v = -0.006138531$	$+ 0.000231699d^2$	$+ 0.000016154d^2h$	$+ 0.001732104h$		
5	$v = 0.000307396d^2$	$+ 0.000012936d^2h$				
6	$v = 0.017475869$	$+ 0.000035557d^2h$				
7	$v = 0.000425847$	$+ -0.000129438d$	$+ 0.000454002d^2$			
8	$v = -0.000481517$	$+ 0.000449735d^2$				
<hr/>						
9	$\log v = -3.068468000$	$+ 2.396789840 \log d$	$+ -0.250022160 \log^2 d$	$+ -1.275001900 \log h$	$+ 0.872028900 \log^2 h$	
10	$\log v = -3.571693601$	$+ 1.841103261 \log d$	$+ 0.408249082 \log h$			
11	$\log v = -3.750681612$	$+ 0.821022170 \log(d^2h)$				
12	$\log v = -3.226480810$	$+ 1.924314749 \log d$	$+ -0.507559170/d$			
13	$\log v = -3.373783904$	$+ 2.019667164 \log d$				

EQUAÇÃO	Sy.x	R2	F
1	0.0066	0.9860	53808.58
2	0.0066	0.9860	67311.01
3	0.0070	0.9844	60200.81
4	0.0069	0.9850	83509.65
5	0.0078	0.9808	98177.29
6	0.0083	0.9780	171257.30
7	0.0091	0.9739	71967.56
8	0.0090	0.9739	144082.49
9	0.0066	0.9899	370552.38
10	0.0070	0.9894	705479.84
11	0.0074	0.9848	987323.05
12	0.0091	0.9850	501680.33
13	0.0091	0.9850	999200.04

EQUAÇÃO HIPSONÔMETRICA: $\log H = 0.484776821 + 0.437389611 \log DAP$
 $S_{x.y} = 0.9606$