

ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE DUAS VARIEDADES  
DE PINUS CARIBAEA CULTIVADAS NA BAHIA  
PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE, MASSA ESPECÍFICA E  
NUTRIÇÃO MINERAL

MARCOS ANTONIO DE REZENDE

Orientador: Prof. Dr. EPAMINONDAS S.B. FERRAZ

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia --  
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro, 1987

R467e Rezende, Marcos Antonio de  
Estudo dos anéis de crescimento de duas variedades de Pinus caribaea cultivadas na Bahia para avaliação da produtividade, massa específica e nutrição mineral. Piracicaba, 1987.  
144p.

Tese - ESALQ  
Bibliografia.

1. Pinheiro - Crescimento - Bahia. 2. Pinheiro - Madeira - Densidade. 3. Pinheiro - Nutrição - Bahia. 4. Pinheiro - Variedade - Bahia. I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9751

Aos meus pais e irmãos.

À Marta e Marcelo

Dedico.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Epaminondas Sansígolo de Barros Ferraz, pela orientação e incentivo;
- Ao CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP;
- À ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz";
- À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa concedida;
- À DURATEX S/A e aos engenheiros Antonio Sebastião Rensi Coelho, Ângelo Di Ciero Neto, Silvana Lemo Gomes, Raul Chaves e Gilmar Bertolotti;
- À CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear;
- Ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP e ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais;
- Aos Professores: Luiz E.G. Barrichelo, Virgílio Franco do Nascimento Filho, José Otávio Brito, Ivaldo Pontes Jan-kowisky.
- Às bibliotecárias do CENA, da ESALQ e do IPEF;

- Aos colegas da radioquímica: Francisco José Krug, Elias A. G. Zagatto; Alexandre Ferreira; Ivanildo Luiz de Mattos; Iolanda A. Rufini; Aparecida de Fatima Patreze; Sheila R.W. P. Rubini; Waldemir A.F. de Barros.

## ÍNDICE

	<u>página</u>
RESUMO .....	viii
SUMMARY .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Símbolos e definições de densidade e massa específica .....	4
2.2. Variação da massa específica na árvo- re .....	6
2.3. Crescimento das árvores e fertilidade do so- lo .....	10
2.4. Adubação, taxa de crescimento e qualidade da madeira .....	12
2.5. Nutrição mineral .....	17
3. MATERIAL E MÉTODO .....	24
3.1. Amostragem .....	24
3.2. Preparo dos discos de madeira .....	27
3.3. Método de determinação da massa específica da madeira .....	27
3.4. Determinação da massa de matéria seca, volu- me verde e volume seco dos discos (sem casca)	29
3.5. Cálculo do volume e massa total por árvore a partir da área e massa seccional .....	31

3.6. Cálculo do volume e massa total por hectare de plantio .....	32
3.7. Cálculo do poder calorífico da madeira ....	32
3.8. Sistemas de unidades e simbologia utilizadas nas relações entre massa e volume da madeira .....	34
3.9. Massa específica acumulada anualmente .....	35
3.10. Cálculo dos parâmetros: incremento corrente anual de massa, ICAM, incremento corrente anual de volume, ICAV e massa específica ponderada de cada anel ...	36
3.11. Análise de nutrientes .....	38
3.12. Concentrações anuais de nutrientes e concentrações médias acumuladas anualmente .....	39
3.13. Equações de transformações para massa específica (densidade) da madeira em função da unidade .....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1. Variação da massa específica da madeira com a altura da árvore .....	42
4.2. Valores médios para massa específica a 0%, massa específica básica, volume seco, massa seca e volume verde sem casca .....	45
4.3. Valores médios de produtividade com relação a massa, volume e densidade por hectare ...	50
4.4. Variação da massa específica com a classe de diâmetro .....	50

4.5. Variação anual da massa específica na árvore	57
4.6. Incrementos correntes anuais percentuais de massa ICAM e de volume ICAV, a nível de DAP, por unidade de comprimento .....	65
4.7. Incrementos globais de volume, massa a nível de DAP e dados relativos a casca .....	72
4.8. Concentração anual de nutrientes para o lenho das árvores no DAP .....	80
4.9. Concentrações médias acumuladas anualmente de nutrientes, para as duas variedades de <b>Pinus</b>	88
5. CONCLUSÕES .....	112
6. LITERATURA CITADA .....	115
APÊNDICE 1 .....	123
APÊNDICE 2 .....	140



ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE DUAS VARIEDADES  
DE *Pinus caribaea* CULTIVADAS NA BAHIA  
PARA AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE, MASSA ESPECÍFICA E  
NUTRIÇÃO MINERAL

Autor: MARCOS ANTONIO DE REZENDE

Orientador: Prof. Dr. EPAMINONDAS S.B. FERRAZ

RESUMO

Através de análises físicas e químicas dos anéis de crescimento, procurou-se comparar duas variedades de *Pinus caribaea*, a variedade *caribaea* e a variedade *hondurensis*, com 8 anos de idade, plantadas no litoral norte do Estado da Bahia, numa região de solos de baixa fertilidade. Pela análise física, com auxílio da técnica de atenuação da radiação gama, foram determinadas as massas específicas (densidades) e suas variações anuais dentro da árvore e ainda, através de medidas de campo, estimou-se a produção anual de matéria seca correspondente à cada variedade.

Pelas análises químicas, obtiveram-se os teores anuais dos macro e micronutrientes, correlacionando - os aos resultados das análises físicas, no sentido de avaliar as exigências nutricionais de cada variedade.

Foram estudadas as variações da massa específica com a altura e idade das árvores; a massa específica média para cada variedade e suas variações com a classe de diâmetro; os incrementos de massa seca, volume seco, volume verde e energia por hectare de floresta; incrementos anuais de massa e volume obtidos pela análise dos anéis de crescimento no diâmetro a altura do peito, teores anuais de nutrientes no lenho, teores de nutrientes na casca e acículas e extrações anuais de nutrientes pelo tronco.

A variedade *hondurensis*, com uma produtividade média de 5,3 t/ha.ano ou 12,0 m<sup>3</sup>/ha.ano, mostrou ser uma boa opção para aquela região. A relação entre a matéria seca produzida e o consumo de nutrientes também foi superior para esta variedade, com exceção do manganês.

Verificou-se para as duas variedades estudadas uma concentração decrescente de nutrientes no lenho com a idade das árvores. No 5º ano de vida das árvores, ocorreu maior retirada de nutrientes do solo para os elementos Ca, Mg, P, N, Fe e Zn. Outros elementos como B e Cu tiveram uma maior taxa de extração no 8º ano.

Houve um decréscimo na concentração de nutrientes no lenho das árvores com o acréscimo dos incrementos anuais de massa e as análises nas acículas indicaram deficiências dos principais nutrientes.

Como resultado suplementar ao objetivo principal, encontrou-se uma forma de se obter matematicamente qualquer relação entre massa e volume da madeira em função de sua umidade, através de uma única relação obtida experimentalmente. Os resultados são gerais e valem para qualquer espécie. As equações permitem obter indiretamente valores para densidade básica, a partir de dados de massa e volume a qualquer teor de umidade, evitando-se com isso as dificuldades normalmente encontradas ao se trabalhar com amostras completamente saturadas em água.

GROWING RINGS STUDY OF TWO *Pinus caribaea*  
VARIETIES FROM BAHIA FOR EVALUATION OF PRODUCTIVITY,  
SPECIFIC GRAVITY AND MINERAL NUTRITION

Author: MARCOS ANTONIO DE RESENDE

Adviser: Prof. EPAMINONDAS S.B. FERRAZ

**SUMMARY**

An attempt was made to compare, through physical and chemical analyses of tree rings, two *Pinus caribaea* varieties - variety *caribaea* and variety *hondurensis* - at 8 years of age, planted in a low fertility region of the northern coast of the State of Bahia. Specific gravities and their annual variations within the tree were analysed through physical analyses with the aid of the gamma ray attenuation technique, and the annual dry matter production corresponding to each variety was estimated through yield measurements.

Annual contents of the main macro and micro-nutrients were obtained through chemical analyses, and these were correlated with results of the physical analyses in order to evaluate the nutritional requirements of each

variety.

Specific gravity variations with tree height and age; mean specific gravity for each variety and its variation with diameter class; increases in dry mass, dry volume, green volume and energy per forest hectare; annual mass and volume increases obtained through tree ring analyses at breast height diameter; annual nutrient contents in the trunk; nutrient contents in the bark and acicula, and annual extractions of nutrients by trunk were studied.

Variety *hondurensis*, with an average productivity of 5.3 t/ha.year or 12 m<sup>3</sup>/ha.year, was shown to be a good alternative for that region. The relationship between the dry mass produced and nutrient consumption was also shown to be higher for variety *hondurensis*, except for manganese.

It was shown that nutrient concentration in the trunk decreased with tree age for the two varieties studied.

The fifth year of life of the trees presented a higher removal of soil nutrients for the elements Ca, Mg, P, N, Fe, and Zn. Other elements such as B and Cu showed a higher extraction the 8th year.

The nutrient concentration found in tree

trunks decreased with the increase in annual mass increments, and analyses in the acicula indicated deficiencies of the main nutrients.

As a supplementary result to the main objective, a method was found for obtaining mathematically any relationship between mass and volume as function of its moisture content based on a single relationship obtained experimentally. The results are general and are valid for any species. The equations allow obtaining values for basic density indirectly from mass and volume data at any moisture content, thus avoiding the difficulties encountered when working with samples completely saturated with water.

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado da Bahia ocupa uma área de 559.951 km<sup>2</sup> correspondente a 7% do território nacional. Conforme dados do Ministério da Agricultura (1979), as terras indicadas para silvicultura abrangem 5.655.065 ha, correspondendo a 10,1% do Estado. A região do "litoral norte" entre Salvador e fronteira do Estado de Sergipe, ocupa 3,20% do estado, e sua exploração pode ser utilizada em 101.632 ha. Ainda nas área sem aptidão agrícola, correspondente a 5,51% da região, é possível a exploração de florestas em quase dois terços da área. A origem deste trabalho partiu do interesse da implantação de florestas de rápido crescimento nesse local, pela empresa Duratex S.A.

Como o gênero *Pinus* é pouco exigente em termos nutricionais, procurou-se testar algumas espécies e variedades naquela região de solos de baixa fertilidade. As espécies e variedades testadas foram: *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus bahamensis* e *Pinus oocarpa*.

Os resultados preliminares mostraram que duas variedades do *Pinus caribaea* se destacaram: o *Pinus caribaea* var. *caribaea* e o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tornou-se então importante caracterizar cada uma dessas duas variedades levando-se em conta a produtividade na região, qualidade do material produzido e extrações de nutrientes pela fitomassa, aliados a aspectos nutricionais.

Portanto, grande parte dos estudos foi dirigido no sentido de quantificar o material em termos de massa seca, volume seco, volume verde e energia por hectare de floresta plantada. Para qualificar o material produzido, foram obtidos dados de massa específica, e suas variações dentro da árvore. Alguns aspectos nutricionais como variação anual na concentração de nutrientes e quantidades anuais extraídas por hectare de floresta, também foram analisados e discutidos.

A técnica da análise dos anéis de crescimento



se mostrou bastante prática e funcional principalmente com relação aos nutrientes, fornecendo dados anuais importantes. Este método, oferece vantagens em relação aos métodos usuais envolvendo análises anuais, por não apresentar limitação com relação à aquisição de amostras, não havendo necessidade de utilização de árvores com idades diferentes.

Com relação às produtividades, ou seja incrementos anuais de massa seca, volume seco, volume verde e energia, foram efetuadas medidas de laboratório juntamente com medidas de campo. A técnica de atenuação gama também foi utilizada auxiliando nas determinações da massa específica, identificação e separação dos anéis de crescimento.

Alguns resultados foram encontrados no sentido de comparar a casca com o lenho, principalmente com relação à energia e extrações de nutrientes.

Com relação à massa específica (densidade), alguns estudos foram dirigidos no sentido de se obter equações gerais relacionando-a com a umidade da madeira. As vantagens da utilização destas equações se baseiam no fato de que a partir de uma única relação entre massa e volume para uma determinada amostra de madeira e a umidade em que esta foi obtida, pode-se obter as demais necessárias.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. SIMBOLOS E DEFINIÇÕES DE DENSIDADE E MASSA ESPECÍFICA

A densidade de um corpo é definida como sendo a relação entre as massas específicas do corpo e da água pura. Para um corpo a massa específica é a relação entre sua massa e seu volume (MACEDO, 1976; ALBUQUERQUE, 1980). Para a água pura esta relação é igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , o que permite concluir que as grandezas MASSA ESPECÍFICA e DENSIDADE possuem o mesmo valor numérico e dimensões diferentes. A Densidade é uma grandeza adimensional e a Massa Específica possui dimensão de massa por volume. A literatura mostra que para

o caso da madeira, esta diferença não é caracterizada com rigor e os termos Densidade e Massa Específica são utilizados em alguns casos indistintamente.

O termo Massa Específica é indicado para expressar a relação entre massa e volume, como grandeza com dimensão de  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{t/m}^3$ , etc. (MACEDO, 1976) e o termo Densidade é empregado quando se deseja uma grandeza adimensional.

Do ponto de vista prático, três relações entre massa e volume são fundamentalmente importantes:

$\rho_{AP}$  = massa específica aparente - definida como a relação entre a massa e volume determinadas nas mesmas condições de umidade (u) (é variável; dependendo do valor de u).

$\rho_o$  = massa específica a 0% - definida como a relação entre massa e volume obtidos para  $u = 0$  (massa e o volume tomados após secagem em estufa a  $103 \pm 5^\circ\text{C}$ ).

$\rho_b$  = massa específica básica - definida como a relação entre massa seca e volume saturado em água.

Todas estas relações são igualmente importantes e muito utilizadas na prática dependendo da finalidade . Trendelenburg (1941) citado por KOLLMAN (1968), mostrou que

as variações das massas específicas aparente dentro de uma árvore é menor para a madeira verde comparados com a madeira seca. Isto mostra que quando se deseja qualificar o material a densidade básica pode não ser a melhor relação a ser utilizada.

## 2.2. VARIAÇÃO DA DENSIDADE OU MASSA ESPECÍFICA NA ÁRVORE

De acordo com SOUZA et alii (1986) ao se fazer uma correlação entre a massa específica básica e o diâmetro das árvores, os resultados encontrados são bastante divergentes não apresentando nenhuma conclusão. Em consequência disso, afirma o autor que a única maneira de se conseguir analisar a tendência da variação da densidade em função do diâmetro é dividir as árvores em classes de diâmetros, onde a correlação é efetuada entre a média dos diâmetros das árvores e a densidade das mesmas. Assim, a correlação passa a ser significativa em grande parte dos casos.

FIELDING (1967) relata para o gênero coníferas que, embora a taxa de crescimento afete apreciavelmente a massa específica mediante uma correlação negativa, em alguns casos os efeitos não são relevantes, principalmente em comparação com as variações dentro da árvore.

FERREIRA (1968), concluiu que para *Eucalyptus alba* Reinw, de cinco e sete anos, não houve diferença significativa da densidade básica com o DAP e destacou que as diferenças individuais foram marcantes. Entretanto para *Eucalyptus saligna* Smith concluiu que houve um acréscimo da massa específica com o aumento da DAP. Ainda, FERREIRA (1970) concluiu para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos, que as árvores de maior diâmetro têm, em média, maior massa específica.

ELLIOTT (1970) relata uma série de trabalhos em que encontrou uma correlação negativa entre a massa específica e taxa de crescimento e outros em que esta correlação mostrou-se inexpressiva. Ele atribui estas divergências a uma série de fatores como padrões de amostragem, idade das árvores amostradas, grau de competição, disponibilidade de água e influência das características da copa na época da amostragem.

Quanto a variabilidade da massa específica no sentido radial, o que se pode constatar pela literatura é que o modelo mais comum é aquele em que a massa específica cresce no sentido medula-casca.

REZENDE (1984) encontrou para o *Eucalyptus grandis* (13 anos) uma massa específica crescente no sentido medula-casca, apresentando um aumento até o 13º ano, dimi-

nuindo lentamente a partir deste ano.

BRASIL et alii (1982) analisando madeira de *Pinus elliotii* var. *elliotii* em três regiões do Estado de São Paulo, com idades de 11, 12, 13, 17, 18 e 19 anos, concluiu que a densidade básica da árvore cresce com a idade.

FOELKEL et alii (1983) realizaram estudos sobre a variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna* com nove anos de idade. Com o resultado, elaborou-se o modelo de variação da massa específica básica da madeira, o qual apresenta um crescimento gradual no sentido medula-casca, sendo a madeira de cerne menor densa que a de alburno. Essa característica vem reforçar a informação de que nas idades em que o *E. saligna* é explorado, em torno de sete a dez anos, a madeira de alburno é que possui maior densidade.

Através das diversas informações existentes na literatura para a madeira de coníferas, o modelo mais comum é aquele em que a massa específica é crescente no sentido medula - casca e decrescente com a altura da árvore.

No sentido base-topo a literatura mostra que não existe um modelo definido para a variação da massa espe-

cífica. Zobel (1976), citado por LADRACH (1984), estudando algumas variedades de Pinus, relata que a madeira que se forma na parte superior da árvore é jovem, mesmo sendo a árvore adulta, e que a massa específica na parte superior é menor que na parte inferior.

PANSHIN & DE ZEEW (1970) apresentaram os principais modelos de variação longitudinal de massa específica dentro das árvores como sendo:

- a. decrescente uniformemente com a altura;
- b. decrescente até o meio do tronco e crescente deste ponto até o topo;
- c. crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

### 2.3. CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E FERTILIDADE DO SOLO

Segundo VAN GOOR (1975), desde as primeiras pesquisas realizadas no Estado de São Paulo, com relação ao crescimento de *Pinus*, evidenciou-se que: 1. os principais fatores químicos do solo, relacionados com o crescimento das árvores são as quantidades trocáveis de Ca e Mg e a saturação em Al associada à quantidade total de P. O autor ainda afirma que, para uma quantidade menor do que 1 mE de Ca + Mg, por 100 g de solo o crescimento do *Pinus* torna-se limitado. 2. Os níveis críticos dos nutrientes nas acículas de pinheiros são os mesmos que os de outras regiões. Para determinados nutrientes, tal fato é verídico, assim como para outras espécies de árvores. Sintomas de deficiência e redução do crescimento ou distúrbios de crescimento, podem ser encontrados em pinheiros nos seguintes níveis na matéria seca em acículas: N inferior a 1,0%, P inferior a 0,09%, K inferior a 0,30%, Cu inferior a 3 ppm, B inferior a 10 ppm.

As propriedades físicas do solo, como textura, densidade aparente, porosidade, profundidade e temperatura podem afetar, entre outros, o sistema radicular e influir na produtividade. Entretanto VAN GOOR (1975) relata que a fertilidade do solo não pode ser reconhecida por estas propriedades. O autor discute uma relação entre tipo de vegetação e fertilidade do solo e afirma que sem recor-



rer aos métodos de laboratório, pode-se obter dados sobre a fertilidade por meio de mapas de vegetação e mapas de solo.

Em um estudo crítico de análise foliar com relação a sua conveniência na determinação de suprimento de nutrientes de floresta, Tamm (1964) citado por HAAG et alii (1983) chegou à conclusão de que em qualquer caso, os resultados de análise foliar podem dar apenas informações sobre o estado de nutrição de um povoamento florestal e podem indiretamente, dar informações referentes aos teores de nutrientes do solo. Os méritos de um tratamento de adubação de um local podem ser determinados, entretanto somente através de experimento de adubação em combinação com dados de produtividade.

No caso específico do gênero *Pinus*, a introdução de suas espécies no Brasil trouxe várias questões a serem equacionadas, dentre as quais inclui-se a necessidade ou não da fertilização mineral.

Segundo BALLONI (1984) a existência de poucos estudos sobre a fertilidade mineral de *Pinus*, fez com que a maioria das empresas não adotasse tal prática em seus plantios comerciais. No entanto, ainda segundo este autor, apesar do gênero ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produção têm sido observados com a prática de adubação.

## 2.4. ADUBAÇÃO, TAXA DE CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA

Vários autores tem considerado a massa específica como uma boa medida de qualidade da madeira. Segundo BROWN (1970) ela é uma medida grosseira de qualidade, sendo em verdade o somatório de numerosas variáveis dentro da madeira. Ela varia significativamente com a altura da árvore, na posição radial da medula para a casca, bem como com a idade. O autor cita o trabalho executado por Zobel & Rhodes (1955) sobre o efeito de fatores ambientais sobre a massa específica da madeira de *Pinus taeda*, tendo sido diagnosticadas fortes correlações entre os mesmos. Nessas correlações estiveram incluídas a taxa de crescimento, características do solo e densidade populacional de plantio. Um dos importantes resultados encontrados foi a forte correlação mostrada pela massa específica em relação à percentagem de lenho tardio. BROWN cita também o trabalho de Larson (1957) que, num estudo de efeitos ambientais sobre a massa específica da madeira de *Pinus elliotii*, encontrou essencialmente este mesmo resultado.

BARRICHELO & BRITO (1977), estudando duas das principais espécies de *Pinus* plantadas em nosso meio (*Pinus taeda* e *P. caribaea* var. *hondurensis*), também obtiveram resultados indicando correlação positiva entre o teor de lenho tardio a densidade básica da madeira. Os autores concluíram que se o objetivo for o de se obter madeira mais den

sa, o corte da madeira de *P. taeda* deveria ser retardado o tempo suficiente para a formação do maior teor possível de lenho tardio, o que é também facilmente conseguido com o *P. caribaea* var. *hondurensis*.

WILLIAMS & HAMILTON (1961) analisaram as condições de crescimento de *Pinus elliottii* aos 8 anos de idade, em povoamento implantado em terreno arenoso profundo e que foi submetido a quatro tratamentos, que foram: a. aplicação de sulfato de amônio; b. aplicação de superfosfato; c. aplicação de sulfato de amônio mais superfosfato e d. testemunha sem fertilização. Os resultados mostraram que, comparados com a testemunha, a espessura média dos anéis de crescimento foi 26% superior para os tratamentos fertilizados. Da mesma forma, ocorreu uma formação 2,8% menos de lenho tardio bem como o valor da massa específica foi 6,7% menor. Nenhuma diferença significativa foi encontrada na espessura da parede dos traqueídeos do lenho inicial. O tratamento que resultou no anel de crescimento mais largo e na menor porcentagem de lenho tardio foi o da fertilização com N + P, seguido pelo N e depois o P. A maior redução da massa específica ocorreu para o N, seguido pelo N + P e depois o P.

HARRIS (1969) afirma que estudos sobre anatomia, massa específica, propriedades físicas e mecânicas, características de absorção, composição química e teor de umidade dos lenhos inicial e tardio têm proporcionado importan-

tes contribuições acerca dos conhecimentos da madeira e seus usos. Por outro lado, a determinação da percentagem de lenho tardio produzido sob diferentes condições de crescimento tem sido importante para o entendimento da influência do ambiente sobre as propriedades da madeira.

A combinação de tratamentos de desbastes e fertilização mineral foi estudada por NICHOLLS (1971) em árvores de *Pinus pinaster* na Austrália. De uma população inicial de 2500 árvores, o desbaste reduziu-a para 250 árvores. A aplicação de superfosfato 3,5 anos após o desbaste foi o passo seguinte dos tratamentos. Os resultados demonstraram um aumento na taxa de crescimento da árvore, em diâmetro como resultado do desbaste, que foi ampliado ainda mais mediante a aplicação de fertilizantes. O desbaste generalizadamente reduziu o comprimento médio dos traqueídeos e a subsequente fertilização produziu ainda uma maior redução. O efeito dos dois tratamentos sobre a largura dos lenhos, inicial e tardio, foram similares. A densidade média da madeira foi levemente reduzida como resultado de um tratamento mais intensivo de desbaste e fertilização.

BRITO (1985), em experimento de adubação utilizando as seguintes doses: 60 kg/ha de N aplicado na forma de sulfato de amônio, 100 kg/ha de  $P_2O_5$  aplicado na forma de superfosfato simples, 40 kg/ha de  $K_2O$  aplicado na forma de

cloreto de potássio e calcário dolomítico na base de 3 t/ha, concluiu que a adubação mineral induziu a uma maior produção volumétrica de madeira no lenho inicial ao nível do DAP até o 6º ano de vida da árvore, não tendo sido observado nenhum efeito sobre o volume de madeira do lenho tardio. O resultado final do efeito da adubação no volume total de madeira do disco do DAP foi o de um aumento de 25% no crescimento em relação ao tratamento não-adubado. Por outro lado, a adubação proporcionou uma queda de 8,6% na proporção volumétrica de lenho tardio da madeira do disco do DAP. O autor ainda concluiu que a massa específica da madeira a nível do DAP, que a adubação proporcionou redução nos valores correspondentes aos lenhos individuais, mas de modo mais acentuado sobre o lenho tardio. O resultado disso foi também uma redução na massa específica da madeira dos anéis de crescimento em praticamente todos os anos de vida das árvores.

BRITO et alii (1986), relatam que a adubação mineral conduziu reduções na massa específica da madeira. Ainda os autores concluíram que somente nos três primeiros anos de vida das árvores as produções de massa dos anéis nos tratamentos adubados foram superiores aos dos tratamentos não-adubados. A tendência daí por diante, foi no sentido de que as produções individuais dos anéis fossem inferiores nas árvores adubadas.

No Brasil, os trabalhos pioneiros de adubação

florestal foram desenvolvidos por pesquisadores da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Dentre os trabalhos experimentais iniciais devem ser destacados os de BRASILEIRO Sobrinho et alii (1961) e de MELLO (1968). Este último enfocou especificamente aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos primitivamente sob vegetação de Cerrado.

SIMÕES et alii (1970), também evidenciaram o efeito positivo da calagem e da adubação para plantações de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* e recomendaram uma calagem incorporando-se 3 t/ha de calcário dolomítico e uma fertilização, no ato do plantio, correspondente a 60 kg de N, 100 kg de  $P_2O_5$  e 20 kg de  $K_2O$  por hectare.

Ainda na área de adubação mineral de espécies florestais deve ser assinalada uma recente revisão bibliográfica realizada por HAAG et alii (1983) na qual são apresentadas as principais pesquisas em nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina*, no Brasil.

Atualmente grande parte das empresas florestais utilizam a adubação mineral e de acordo com SIMÕES et alii (1981) deve haver uma preocupação de se adequar as formulações de adubos às exigências nutricionais das espécies florestais e às propriedades do solo. Atualmente as doses mais utilizadas e com resultados satisfatórios variam de 100 a 150 g por planta das seguintes formulações: 10:

34:6; 10:28:6; 5:30:10 e 5:30:6.

Com relação à ciclagem de nutrientes, deve-se destacar o trabalho de tese apresentado por POGGIANE (1985), onde o autor acrescenta uma ampla revisão, e vários aspectos relacionados com a ciclagem de nutrientes e suas implicações silviculturais.

## 2.5. NUTRIÇÃO MINERAL

Um dos fatores básicos para o êxito do reflorestamento é utilizar espécies adequadas à ecologia das diferentes regiões. Isto possibilita obter rendimentos satisfatórios tanto do ponto de vista qualitativo como também do ponto de vista quantitativo. Em condições "sub tropicais" as espécies que apresentam bom desenvolvimento são: *Pinus eliotti* var. *elliotti*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus eliotti* var. *densa*, *Pinus kesyia*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus taeda* e *Pinus patula*.

Existem outras espécies que estão sendo introduzidas, porém, a adaptação dessas espécies ao tipo de clima, solo e altitude são praticamente desconhecidas. Sabe-se que os *Pinus*, em geral, respondem menos à adubação que os *Eucalyptus*. No entanto, existem dados que mostram que melhores

respostas têm sido obtidas com a aplicação de calcário, fósforo e potássio. O pH ideal para a variedade *caribaea* está entre 4,5 e 6,0; para a *hondurensis*, entre 4,0 e 6,5; a *bahamensis* entre 7,5 e 8,5. Sabe-se também que em condições de extrema pobreza, o *Pinus* pode crescer mais que o *Eucalyptus* (IPEF, 1976).

Em um levantamento do estado nutricional em plantações de *P. elliotti* do sul do Brasil, VAN GOOR (1965) encontrou os resultados mostrados na Tabela 1.

CASTRO *et alii* (1980) estudaram a distribuição de biomassa e nutrientes em talhões de *P. oocarpa* com diferentes idades (8, 14 e 18 anos) e concluíram que o aumento da quantidade de nutrientes não é diretamente proporcional ao aumento da fitomassa, pois a relação nutriente/fitomassa diminui com o envelhecimento da planta. Aos 8 anos, por exemplo, para cada kg de matéria seca, temos 5,8 gramas dos nutrientes analisados. Esta relação cai para 4,4 g/kg nas árvores de 18 anos de idade. Ainda o autor comenta que esta diminuição da relação nutriente/fitomassa pode ser explicada pelo decréscimo da concentração da maioria dos nutrientes à medida que a plantação amadurece. Um outro aspecto importante é o fato de haver menor proporção dos componentes de maiores teores de nutrientes (copa e casca) nas plantações mais antigas. Aos 8 anos, a copa representa 15,6% da matéria se-



TABELA 1. Teores de macro e micronutrientes nas acículas de *Pinus elliotti* em plantações do sul do Brasil. (VAN GOOR, 1965).

Elemento	Teor médio	Limites
N	1,33%	1,06 - 1,79%
P	0,10	0,07 - 0,14
K	0,55	0,22 - 1,15
Ca	0,25	0,13 - 0,50
Mg	0,10	0,05 - 0,17
B	12 ppm	4 - 28 ppm
Cu	4	3 - 7
Fe	147	42 - 468
Mn	320	71 - 739
Zn	37	15 - 75

ca do talhão e contém 48% do N, 41% do P e 39% do K acumulado na fitomassa acima do solo. Aos 18 anos, ela representa 12,8% da fitomassa e contém 40% do N, 37% do P e 30% do K. A distribuição relativa da casca também diminui, passando de 15,2% para 11,2% aos 18 anos. Por isso, embora o talhão de 18 anos apresente uma fitomassa 69% maior que o de 8 anos, o peso total por hectare dos nove nutrientes analisados é somente 28% superior ao do plantio mais novo.

Através de estudos do *Pinus elliotti* var. *elliotti* (24 anos), na região de Agudos, SP, LA TORRACA et alii (1984) encontraram concentrações de Zn e Mn superiores nas acículas, enquanto que, as concentrações de B e Cu são as mesmas para acículas, ramos, casca, madeira e liteira. A escala de retiradas totais de macronutrientes obedeceram a seguinte ordem  $N > K > Mg > Ca = S > P$ ; e dos micronutrientes:  $Mn > Fe > Zn > B > Cu$ . A exportação de nutrientes através da casca + madeira foi de : 55% N; 64% K, 32% Ca; 51% Mg; 72% Cu; 41% Fe; 48% Mn e 64% Zn. Os resultados deste trabalho demonstram a grande imobilização dos nutrientes e a perda que advém com a exportação dos componentes de pinheiros tropicais em solos pobres.

Ainda os autores obtiveram para a exportação de nutrientes os dados apresentados na Tabela 2.

ORMAN & HILL (1960) relatam que a variação do acúmulo de nutrientes na madeira em função da idade, é devido às diferenças na redistribuição interna que ocorre no interior da árvore. No início da formação do cerne, os elementos mais móveis como N, P e K são removidos, enquanto que o cálcio se acumula. Este fato demonstra que a exploração de árvores jovens tende a remover maiores teores de NPK do que a exploração de árvores que atingiram a maturidade. A recíproca seria verdadeira para o elemento cálcio.

Segundo BALLONI (1979) o encurtamento da rotação, de 40 para 20 anos, em povoamentos de *P. taeda*, promoveu um aumento da exportação de nutrientes da ordem de 27%, 22%, 15% e 17%, respectivamente, para N, P, K e Ca. No mesmo experimento, quando o encurtamento do ciclo foi acompanhado pela utilização total da árvore, a exportação de nutrientes aumentou para 35%, 34%, 23% e 17%, respectivamente, para N, P, K e Ca, quando comparado à exploração somente do tronco, em ciclos longos.

O acúmulo periódico de nutrientes na fitomassa é maior durante os períodos iniciais da vida do povoamento, diminuindo consideravelmente com a maturação do mesmo. As demandas por N, P e K são maiores durante o período de formação, diminuindo abruptamente quando ocorre a estagnação

TABELA 2. Exportação de cada nutriente para cada componente estudado de *Pinus elliotii* var. *elliottii* com 24 anos, em kg/ha. (LATORRACA et alii, 1984)

Componentes	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Acículas	247,81	9,95	43,97	21,98	17,99	13,93	0,24	0,06	2,28	12,88	0,54
Ramos	157,73	17,05	38,87	34,10	25,58	25,58	0,49	0,16	6,31	8,47	0,46
Casca	110,14	9,72	35,63	6,48	6,48	22,28	0,33	0,11	2,35	2,19	0,53
Fuste	378,18	39,80	99,52	19,90	39,81	19,90	1,43	0,44	3,58	17,45	1,27
Totais	893,86	76,52	217,99	82,46	89,96	82,09	2,49	0,77	14,43	40,99	2,80

do crescimento. Por outro lado, as demandas por Ca, Mg e S também atingem seus níveis máximos nas idades jovens, entretanto, seus períodos de máxima demanda são superiores aos do N, P e K (SWITZER & NELSON, 1973).

Até que as pesquisas produzam resultados, e possam nortear a condução racional das florestas para produção de energia, o mais razoável, no caso do aproveitamento de resíduos, seria que ao menos se mantivesse as folhas na área de corte. A fitomassa representada por estes órgãos dão uma contribuição muito pequena se comparada ao resto da árvore. Entretanto, podem conter quase 50% dos nutrientes das árvores. Uma simples defasagem de alguns dias, entre a derrubada e a retirada dos resíduos, seria suficiente para que com a movimentação da copa, as folhas se desprendessem e caíssem no solo (BALLONI, 1979).

### 3. MATERIAL E METODO

#### 3.1. AMOSTRAGEM

As variedades escolhidas foram *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, com uma adubação de plantio em média de 28 g de  $P_2O_5$  e 10 g de  $K_2O$  por planta ou 82 g de (0:34:12)/planta e com espaçamento de plantio de 3,0 x 2,0 metros. Para a variedade *hondurensis* a data de plantio foi 21.05.1976 e para a *caribaea*, a data foi 18.06.1976.

As amostras foram coletadas durante o período de 13 a 18 de agosto de 1984, próximo à cidade de Esplanada(BA) à 11°47' de latitude sul e 48°25' de longitude. A altitude do local é de 181 metros e os dados de pluviosidade, umidade

relativa e temperatura se encontram no Apêndice 2.

O tipo de solo predominante é Podzólico plín-  
tico e a área total de plantio é de 20.877 ha.

Procurou-se selecionar duas quadras no mesmo índice de sítio e em cada uma delas, foram escolhidos locais que expressassem a média da produtividade e das características silviculturais de cada sítio. As parcelas de inventário florestal foram estabelecidas pela Duratex S.A., correspondendo a uma área total de 2160 m<sup>2</sup> para cada quadra. As amostras foram divididas em 5 classes de diâmetro no DAP denominadas por A, B, C, D e E, da seguinte forma:

- **Quadra 10** (Variedade **hondurensis**)

A de 7,30 a 10,30 cm

B de 10,31 a 13,30 cm

C de 13,31 a 16,30 cm

D de 16,31 a 19,30 cm

E de 19,31 a 22,30 cm

- **Quadra 32** (Variedade **caribaea**)

A de 6,00 a 8,46 cm

B de 8,47 a 10,92 cm

C de 10,93 a 13,38 cm

D de 13,39 a 15,84 cm

E de 15,85 a 18,30 cm

Foram abatidas 120 árvores correspondendo a 60 por quadra e 12 por classe de diâmetro, das quais foram retirados 320 discos de 8 cm de altura aproximadamente, descritos da seguinte forma:

- 120 amostras no DAP (12 por classe de diâmetro);
- 40 amostras na base (4 por classe de diâmetro);
- 40 amostras a 25% da altura comercial (4 por classe de diâmetro);
- 40 amostras a 50% da altura comercial (4 por classe de diâmetro);
- 40 amostras a 75% da altura comercial (4 por classe de diâmetro);
- 40 amostras a 100% da altura comercial (4 por classe de diâmetro).

Para cada árvore abatida, foram determinados: altura total, altura comercial, diâmetros com casca e sem casca, nas 6 diferentes alturas.

Num período variável de 30 minutos a 3 horas após o corte, as amostras foram transportadas para um local apropriado para condicionamento, onde se efetuou um tratamento com solução de Gimo-Antimofo a 3%. Após o tratamento as amostras foram espalhadas num local coberto e arejado, mantendo-se uma distância de aproximadamente 6 cm entre elas. O tratamento e acondicionamento utilizado teve por finalidade evitar deterioração do material.



A altura comercial foi obtida através de medidas de comprimento, desde a base da árvore até a altura ao nível do diâmetro de 5 cm, aproximadamente.

### 3.2. PREPARO DOS DISCOS DE MADEIRA

Os discos, originalmente com cerca de 8 cm de espessura, foram inicialmente secos ao ar para perderem as maiores parcelas de umidade e de resina e até atingirem massa constante. Em seguida, os mesmos foram torneados mecânicamente onde procurou-se deixar suas faces rigorosamente planas e paralelas e com espessura de 2,5 cm.

Os discos, depois de preparados, foram levados ao Laboratório de Madeiras da Seção de Radioisótopos do CENA/USP, mantidos a uma umidade relativa e temperatura constante até sua completa estabilização, atingindo uma umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%. Nessas condições foram efetuadas medidas pontuais de massa específica ao longo de um diâmetro do disco, utilizando a técnica da atenuação da radiação gama. Foram também determinadas as massas específicas médias de cada disco pelo método gravimétrico.

### 3.3. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

O método utilizado para determinação da massa

específica da madeira foi o de atenuação da radiação gama, proposto por FERRAZ (1976). Optou-se pela varredura automática onde as amostras são acionadas automaticamente através do feixe de radiação gama, por um motor elétrico e uma fonte reguladora de voltagem. O perfil de densidade é obtido graficamente através de um registrador (FERRAZ et alii, 1980; REZENDE, 1984).

Simultaneamente foi também usado o método gravimétrico, que além de monitorar os resultados obtidos pelo método de radiação gama, foi utilizado nas determinações dos valores médios da massa específica dos discos, principalmente quando se tratava de amostras de pequeno diâmetro. Neste processo os discos tiveram seus volumes determinados através de sua espessura, medida com paquímetro, e área obtida por pesagem, utilizando papel de cartolina. As amostras foram pesadas e a massa específica a 12% foi então obtida pela relação entre massa e volume.

É importante também observar-se que as amostras ao serem levadas ao detector gama para varredura, estavam a uma umidade de 12%, aproximadamente e para se obter a massa específica a 0%, foi feita uma correção, subtraindo a massa de água nesta umidade e levando-se em conta a retração volumétrica parcial considerada no intervalo de 12% a 0% de umidade.

Para este procedimento foram desenvolvidas algumas equações genéricas, partindo de resultados teóricos e experimentais (Apêndice I). A equação utilizada foi a (1):

$$\rho_{AP} = \rho_o (0,01 U + 1) \left[ 1 - \frac{8,4 \times 10^{-3} U \rho_o}{1 + 0,28 \rho_o} \right] \dots\dots\dots (1)$$

sendo:

$\rho_{AP}$  = densidade (massa específica) aparente da madeira na umidade considerada ( $g/cm^3$ );

$\rho_o$  = densidade (massa específica) da madeira a 0% de umidade ( $g/cm^3$ );

U = umidade à base de massa seca (%).

### 3.4. Determinação da massa de matéria seca, volume verde e volume seco dos discos (sem casca)

Os discos referentes à cada amostra, nas seguintes posições: base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% foram pesados e obtiveram-se as massas relativas a cada posição a uma umidade de 12%. Em seguida, as massas foram corrigidas para U = 0, através da equação (2):

$$m_s = \frac{m_{ap}}{1 + \frac{U}{100}} \dots\dots\dots (2)$$

onde:

$m_s$  = massa seca;

$m_{ap}$  = massa aparente obtida na umidade considerada;

$U$  = umidade da madeira (no caso  $U = 12\%$ ).

A massa seca obtida foi posteriormente dividida pela espessura da amostra e então, obteve-se a massa por unidade de espessura, relativa a cada posição na árvore. Com as medidas de altura correspondentes a cada árvore, foi possível quantificar a massa total de uma árvore e consequentemente, a massa total média da árvore teórica representativa de cada variedade estudada.

A área seccional ou volume por unidade de espessura das amostras foi determinada por pesagem, utilizando papel homogêneo de cartolina, através de quatro repetições. Este método, apesar de simples, foi bastante prático e preciso, visto que a maioria das amostras não possuíam rachaduras. Em seguida as amostras tiveram seus volumes corrigidos para  $U = 0$ , levando-se em consideração a retratividade volumétrica parcial no intervalo de 12% a 0% de umidade, de acordo com a equação (1).

### 3.5. CÁLCULO DO VOLUME E MASSA TOTAL POR ÁRVORE A PARTIR DA ÁREA E MASSA SECCIONAL

Conforme mencionado anteriormente, a partir dos resultados obtidos da área seccional nas diversas posições na árvore e da altura total, foi possível quantificar o volume total por árvore.

Existem várias maneiras de quantificar o volume de uma árvore. O procedimento utilizado aqui foi o de se obter a área sob a curva no gráfico entre área seccional  $\times$  altura da árvore, onde a área sob a curva fornece o volume total da árvore. Para a determinação desta área, procurou-se uma equação de regressão ajustada aos pontos experimentais. A área foi obtida por integração direta da equação ajustada no intervalo de 0 até  $h$  (sendo  $h$  a altura comercial da árvore).

A massa total por árvore foi determinada a partir das massas obtidas nos discos nas diferentes posições mencionadas DAP, 25%, 50%, 75% e 100%. A massa total por árvore corresponde à área sob a curva no gráfico: área seccional  $\times$  altura e foi obtida por integração. Foi então obtida uma árvore teórica, com valores determinados de massa seca, volume seco, volume verde, e também massa específica para ca da variedade, representando a média de todas as árvores amostradas na floresta (TROVATTI & FERRAZ, 1984).

### 3.6. CÁLCULO DO VOLUME E MASSA TOTAL POR HECTARE DE PLANTIO

A partir dos resultados obtidos para volume e massa total por árvore, considerando as 120 árvores abatidas, juntamente com os índices de frequência dessas árvores dentro de cada classe de diâmetro, foi possível determinar o volume e massa total por hectare de floresta plantada. Os índices de frequência das árvores foram obtidos a partir de determinações de campo (medidas do DAP) com metodologia estabelecida pela empresa Duratex S/A.

Portanto, esse trabalho envolve análises de laboratório utilizando 120 árvores e análises de campo envolvendo estatisticamente todas as árvores existentes na floresta.

### 3.7. CÁLCULO DO PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

No início pensou-se em determinar o poder calorífico dentro de cada anel anual, com o objetivo de detectar alguma diferença entre os anéis. No decorrer do experimento, percebeu-se que não havia diferença marcante entre anéis, o que tornou possível simplificar as determinações tomando-se uma única amostra em cada disco no DAP. Sendo as-

sim, procurou-se determinar através de 10 repetições o poder calorífico de cada variedade de Pinus, para lenho e casca no DAP.

O poder calorífico superior foi determinado a través da equação (3):

$$PCS = \frac{K + M_a}{M} \cdot \Delta T \dots\dots\dots (3)$$

sendo:

PCS = poder calorífico superior;

M<sub>a</sub> = massa de água utilizada no calorímetro;

ΔT = gradiente de temperatura antes e após a combustão;

M = massa da amostra de madeira;

K = constante do calorímetro utilizado.

As determinações foram processadas seguindo as normas da ABNT.

### 3.8. SISTEMAS DE UNIDADES E SIMBOLOGIA UTILIZADAS NAS RELAÇÕES ENTRE MASSA E VOLUME DA MADEIRA

Principais termos equivalentes		
Símbolo	g/cm <sup>3</sup> (CGS) ou kg/cm <sup>3</sup> (MKS)	Grandeza adimensional
$\rho_o$	massa específica a 0%	densidade a 0%
$\rho_b$	massa específica básica	densidade básica
$\rho_{ap}$	massa específica aparente	densidade aparente

O termo massa específica foi utilizado neste trabalho como uma grandeza com dimensão de g/cm<sup>3</sup> no sistema CGS de unidades. No caso de grandeza adimensional, utilizou-se o termo densidade (Apêndice 1), lembrando sempre que estes termos são equivalentes, possuindo mesmo valor numérico. Em alguns casos, em que não havia necessidade em especificar a unidade na qual foi obtida a relação entre massa e volume utilizou-se apenas os termos massa específica ou densidade. Caso contrário, deve-se especificar a unidade como: massa específica a 0% ou massa específica básica.



### 3.9. MASSA ESPECÍFICA ACUMULADA ANUALMENTE

Definiu-se Massa Específica Média Acumulada Anualmente, às médias das massas específicas de todos os anéis existentes até aquele ano, ou seja:

$$\rho_{AC(1)} = \frac{m_1}{V_1}$$

$$\rho_{AC(2)} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$$

$$\rho_{AC(3)} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

⋮

$$\rho_{AC(8)} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_8}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_8}$$

Sendo:  $m_1, m_2, m_3, m_8$  e  $V_1, V_2, V_3, V_8$  incrementos de massa e de volume nos respectivos anéis, para as idades 1, 2, 3, ... e 8 anos. Dessa forma, para as amostras analisadas contendo 8 anéis  $\rho_{AC(8)}$  representa a massa específica média do disco.

### 3.10. CÁLCULO DOS PARÂMETROS: INCREMENTO CORRENTE ANUAL DE MASSA ICAM, INCREMENTO CORRENTE ANUAL DE VOLUME ICAV E MASSA ESPECÍFICA PONDERADA DE CADA ANEL

Supondo-se uma geométrica cilíndrica perfeita para as amostras, isto é, os anéis de crescimento formando círculos concêntricos, foi possível calcular os incrementos anuais de massa e volume a nível de DAP (REZENDE, 1984).

As equações utilizadas nestas determinações foram:

$$ICAM = \frac{\pi x}{2} \left[ (R_n + 1)^2 - R_n^2 \right] \sum_{i=1}^K \rho_i + \rho_{i+1} \dots \dots \dots (4)$$

e

$$ICAV = \pi x \left[ (R_n + L)^2 - R_n^2 \right] \dots \dots \dots (5)$$

sendo:

K = número de intervalos (1 mm) entre um pico e outro correspondente ao ano n;

ICAM = incremento corrente anual de massa;

ICAV = incremento corrente anual de volume;

$x$  = espessura do anel;

$\rho_i$  e  $\rho_{i+1}$  = massa específica da madeira no ponto considerado  
e no ponto posterior;

$L$  = largura do anel;

$R_n$  = raio interno do anel;

$R_n + L$  = raio externo do anel;

Com as equações 4 e 5 pode-se obter:

1. incremento corrente anual de massa;
2. incremento corrente anual de volume;
3. densidade média ponderada do anel no disco;
4. a massa total do disco.

É importante relatar que grande parte das amostras coletadas não havia atingido a altura do DAP em seu primeiro ano de vida, ou seja no primeiro ano ainda estavam abaixo de 1,30 m de altura. Isto prejudicou os cálculos dos incrementos correspondentes ao primeiro ano, entretanto procurou-se utilizar neste caso, amostras coletadas na base da árvore resolvendo parcialmente este problema. Mas mesmo assim deve-se sempre lembrar que os valores dos incrementos correspondentes ao primeiro ano podem estar abaixo do valor real.

### 3.11. ANÁLISE DE NUTRIENTES

Para análise de nutrientes foram escolhidos discos no DAP de 6 árvores representativas para cada variedade e após a identificação dos anéis pela técnica de atenuação da radiação gama, os discos foram cortados com serra de fita formando segmentos circulares concêntricos de madeira, correspondendo a cada anel anual. Estes segmentos de madeira foram transformados em pedaços menores e depois moídos e transformados em pó de serra. Obteve-se aproximadamente 50 g de pó de serra correspondente a cada anel anual, que se utilizou para as análises químicas.

Para análises das acículas escolheu-se 5 árvores representativas da floresta local, sendo a coleta realizada nos terços superior, médio e inferior. Também foram efetuadas análises químicas da casca para as duas variedades de *Pinus*, com a finalidade de comparar a exportação relativa de nutrientes entre a casca e o lenho.

As análises químicas foram realizadas na Seção de Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Para determinação de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, B, Na, Al utilizou-se digestão nitro-perclórica e para determinação de N digestão sulfúrica.

Sódio e potássio foram determinados por foto-

metria de chama e nitrogênio por colorimetria. Os demais elementos foram determinados por espectrofotometria com plasma induzido em argônio. As digestões e os processos de determinação foram os usuais na Seção de Química Analítica do CENA (ZAGATTO et alii, 1981).

### 3.12. CONCENTRAÇÕES ANUAIS DE NUTRIENTES E CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ACUMULADAS ANUALMENTE

As concentrações anuais de nutrientes foram obtidas tomando-se os valores das concentrações de cada anel anual, e os resultados foram tabelados usando os valores obtidos no referido anel.

As concentrações médias acumuladas anualmente foram obtidas a partir das médias dos anéis, existente até aquele ano, ou seja:

$$\begin{aligned}
 C_{AC(1)} &= C_1 \\
 C_{AC(2)} &= \frac{C_1(m_1) + C_2(m_2)}{m_1 + m_2} \\
 C_{AC(3)} &= \frac{C_1(m_1) + C_2(m_2) + C_3(m_3)}{m_1 + m_2 + m_3} \\
 &\vdots \\
 C_{AC(8)} &= \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_8}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_8}
 \end{aligned}$$

Sendo:  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_8$ , incrementos anuais de massa nos respectivos anéis 1, 2, 3, ..., 8;

$C_{AC(1)}$ ,  $C_{AC(2)}$ ,  $C_{AC(3)}$ , ...,  $C_{AC(8)}$ , as concentrações médias acumuladas para as idades 1, 2, 3, ..., 8 anos. E,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , ...,  $C_8$ , concentrações anuais de nutrientes.

### 3.13. EQUAÇÕES DE TRANSFORMAÇÕES PARA MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA UMIDADE

As equações de transformações para massa específica (densidade) da madeira foram obtidas a partir de resultados teóricos e experimentais, levando-se em conta as variações de massa e de volume causadas pelas perdas de água na madeira.

Para obtenção da curva de retratibilidade volumétrica foram utilizadas amostras de *Pinus* e *Eucalyptus*.

Essas amostras foram preparadas com as dimensões 2 x 2 x 3 cm, e em seguida colocadas em recipiente com água para a saturação. Após a saturação em água, as amostras tiveram seus volumes determinados com paquímetro de precisão e a umidade determinada gravimetricamente através da relação (6):

$$U = \frac{m_v - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad \dots \dots \dots (6)$$

Sendo:

U = umidade base seca;

$m_v$  = massa total após a saturação;

$m_o$  = massa seca em estufa  $103 \pm 5^\circ\text{C}$ .

As amostras foram colocadas ao ar livre, e a medida que perdiam água, eram determinados: massa, volume e umidade das amostras. Este procedimento se manteve até a secagem completa das amostras em estufa. Dessa forma foi possível a obtenção da curva de retratibilidade volumétrica em função da umidade e conseqüentemente a retratibilidade Volumétrica total ( $R_v$ ) (Figuras A1 e A2 do Apêndice 1). Através das curvas de retratibilidade, juntamente com uma relação experimental proposta por Newlin (1919), citado por KOLLMAN & COTÉ (1968), tornou-se possível o desenvolvimento das equações gerais de transformações para a massa específica da madeira (Apêndice 1).

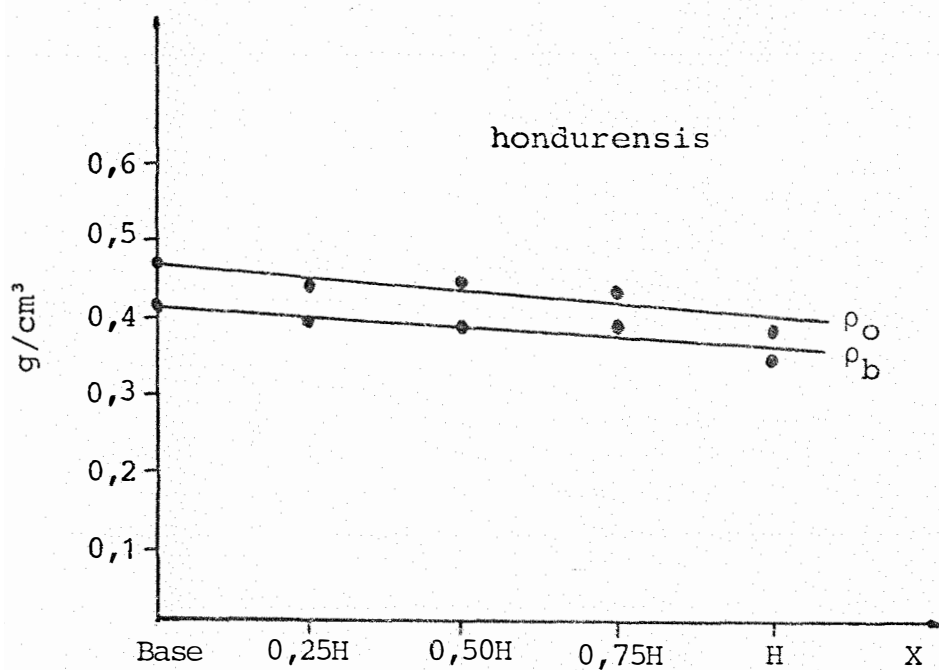
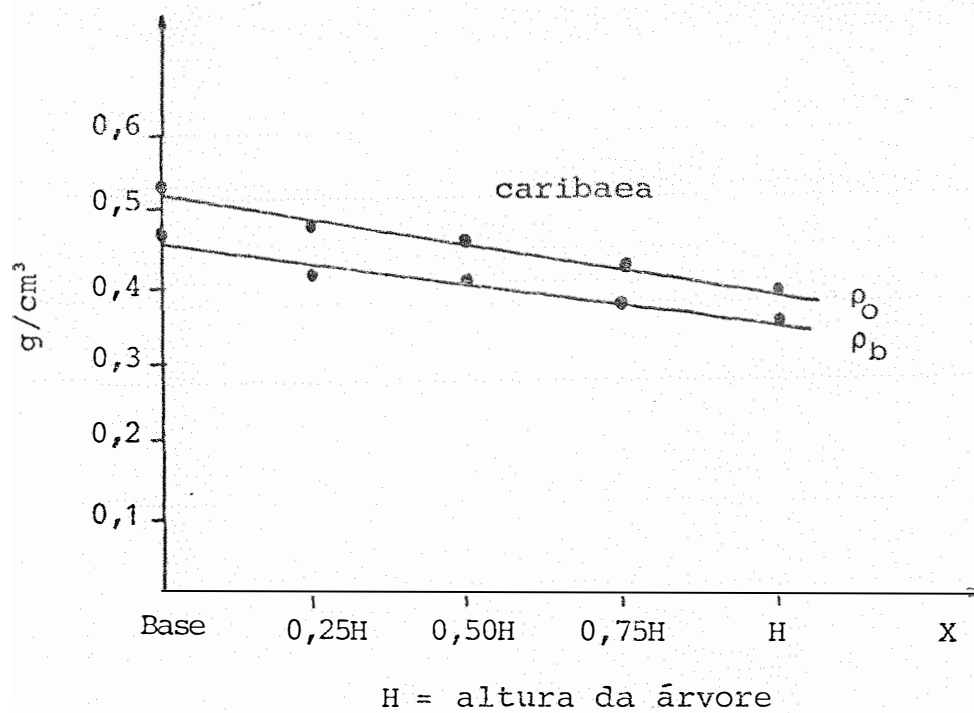
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA COM A ALTURA DA ÁRVORE

Para as duas variedades de pinus, *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, houve um decréscimo na massa específica com a altura da árvore, como pode ser observado através das Figuras 1 e 2 e Tabela 3. Este modelo é bastante comum na literatura, conforme relata LADRACH (1984).

Pode-se também observar que as retas obtidas para massa específica a 0% e massa específica básica não são paralelas, possuindo coeficientes angulares diferentes. Esta pequena diferença é bastante lógica e foi explicada por Tren delemburg, citado por KOLLMAN (1968), que verificou que a re





FIGURAS 1 e 2. Variação da massa específica a 0% ( $\rho_0$ ) e massa específica básica ( $\rho_b$ ) com a altura da árvore.

TABELA 3. Variação da massa específica a 0% ( $\rho_0$ ) e massa específica básica ( $\rho_b$ ) com a altura na árvore, para *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *hondurensis* ( $g/cm^3$ ).

	Base	0,25H	0,5H	0,75H	H	Coeficiente de regressão linear* ( $y=a+bx$ )			
						R	a	b	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	$\rho_0$	0,537	0,478	0,458	0,426	0,397	0,98	0,5256	-0,1328
	$\rho_b$	0,467	0,422	0,406	0,381	0,357	0,99	0,4588	-0,1044
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	$\rho_0$	0,468	0,448	0,443	0,434	0,382	0,92	0,4722	-0,0749
	$\rho_b$	0,414	0,398	0,394	0,387	0,345	0,91	0,4174	-0,0596

\* Os coeficientes R, a, b foram obtidos considerando uma regressão linear com  $\rho_0$  e  $\rho_b$  como variáveis dependentes e os valores 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0, como variável independente.

tratibilidade volumétrica total da madeira cresce com a própria massa específica.

Ainda pode-se verificar pela Tabela 3 que próximo à base é maior a quantidade de massa por unidade de volume, e as diferenças em relação ao topo da árvore para a variedade *caribaea* são: 26,1% quando obtido em função da massa específica a 0% e 23,5% quando obtido em função da massa específica básica.

Para a *hondurensis* estes resultados foram respectivamente de: 18,4% e 16,7%.

#### 4.2. VALORES MÉDIOS PARA MASSA ESPECÍFICA A 0%, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, VOLUME SECO, MASSA SECA E VOLUME VERDE SEM CASCA

Os resultados apresentados na Tabela 4 representam os valores médios obtido considerando árvores médias teóricas representativas de todas as árvores amostradas para as duas variedades de *Pinus*.

Pode-se notar que a variedade *hondurensis* se mostrou mais produtiva que a *caribaea*, sendo as diferenças em termos de massa seca sem casca, volume seco sem casca, e

**TABELA 4.** Resultados obtidos para massa específica a 0%, volume e massa, considerando uma árvore teórica média representativa da média de todas as árvores amostradas para cada espécie.

Variedade	Rendimento por árvore			
	Massa seca s/casca (kg)	Volume seco s/casca (m <sup>3</sup> )	Volume verde s/casca (m <sup>3</sup> )	$\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>hondurensis</b>	37,6468	0,08384	0,09435	0,449
<b>caribaea</b>	22,5997	0,04748	0,05380	0,476
desvio % ( $\Delta P$ )	39,97	43,36	42,97	5,67
				5,00

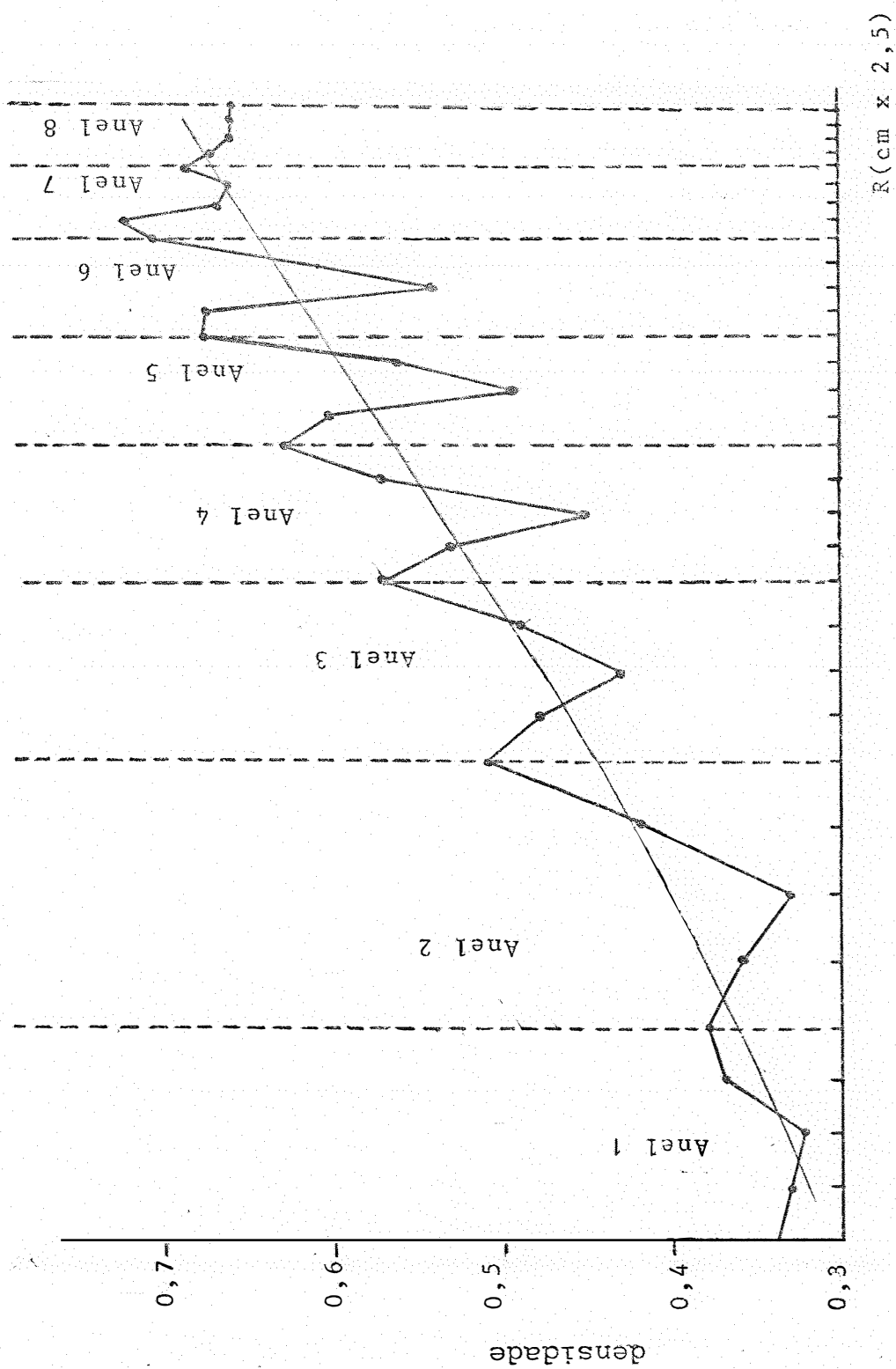
$$\Delta P = \frac{P_{PCH} - P_{PCC}}{P_{PCH}} \times 100$$

sendo:  $P_{PCH}$  : valores médios da variedade **hondurensis**

$P_{PCC}$  : valores médios da variedade **caribaea**

volume verde sem casca, de 39,37%; 43,36%; 42,97%, respectivamente. A diferença existente para massa seca foi de 39,37%, um pouco menor que a diferença entre volume de matéria seca que foi de 43,36%. Isto porque a variedade *caribaea* apresenta maior massa específica média ponderada, fornecendo maior rendimento em massa por unidade de volume. As massas específicas a 0% foram de 0,449 g/cm<sup>3</sup> para a variedade *hondurensis* e 0,476 g/cm<sup>3</sup> para a *caribaea*, sendo que neste caso a diferença entre as duas variedades foi de 5,67%.

As Figuras 3 e 4 mostram as variações (no DAP) na massa específica no sentido medula casca para a árvore padrão correspondente à variedade. As massas específicas máximas e mínimas e a largura de cada anel anual podem ser visualizadas nestas figuras. Especialmente interessante é a largura do segundo anel da variedade *hondurensis* demonstrando maior crescimento no ano 1977. Conforme Figura A7 do Apêndice 2 o referido ano apresenta maior pluviosidade, e poderia justificar o maior crescimento das árvores. De acordo com Trovatti (1984), a precipitação é o primeiro fator que controla a largura relativa dos anéis de crescimento, entretanto, a alta temperatura afeta a evapotranspiração e limita certos processos como a fotossíntese e pode ser também um fator controlador. Sugere-se então um estudo mais detalhado neste sentido.



**FIGURA 3.** Perfil de densidade obtida pelo método de atenuação da radiação gama para amostras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Litoral norte da Bahia (média 45 amostras no DAP).

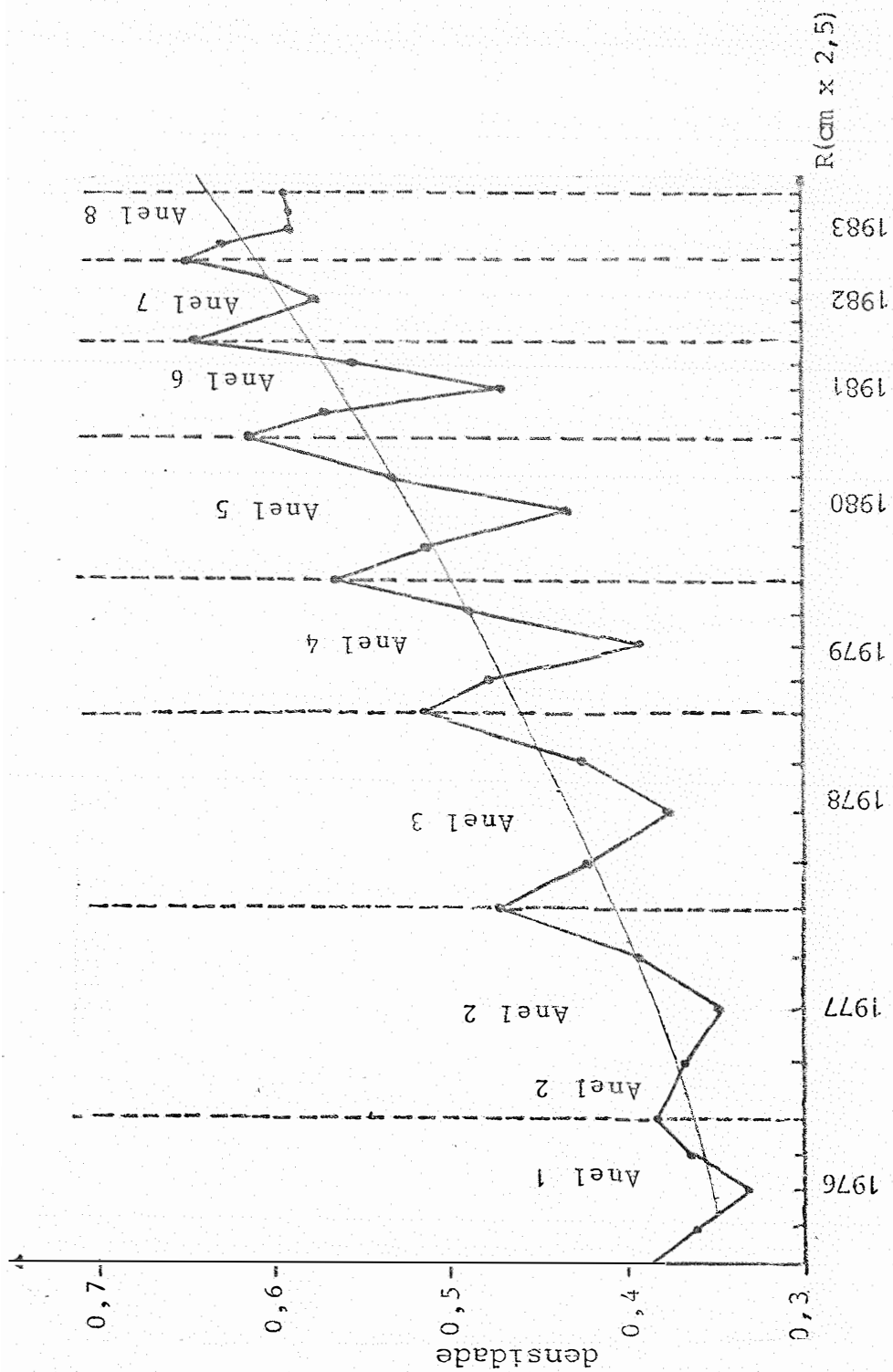


FIGURA 4 . Perfil de densidade obtido pelo método de atenuação da radiação gama pa ra amostras de Pinus caribaea var. caribaea no litoral norte da Bahia (Média - 42 amostras no DAP).

Pelas Figuras 3 e 4 pode-se obter o raio sem casca determinado à altura do peito, para cada variedade, que está ampliado de 2,5 vezes no papel. Isto indica que o raio médio sem casca representativo de todas as árvores amostradas é de 6,8 cm para a variedade *hondurensis* e de 6,1 cm para a *caribaea*.

#### 4.3. VALORES MÉDIOS DE PRODUTIVIDADE COM RELAÇÃO A MASSA E VOLUME POR HECTARE

Através dos dados obtidos para cada grupo e com seus respectivos índices, foi possível quantificar a produtividade a nível de floresta.

A Tabela 5 contém os intervalos de diâmetro para cada grupo e seus respectivos índices percentuais para as duas variedades. As Figuras 5 e 6 ilustram os resultados contidos na Tabela 5.

Pela Tabela 6 pode-se notar que os grupos C e D são os mais representativos para as duas variedades mostrando maior fração de massa na floresta. Os dados de produtividade e caracterização são apresentados na Tabela 7. A produtividade para a variedade *hondurensis* a nível de floresta foi bem superior à variedade *caribaea*, sendo a diferença 22,4% em massa e 24,6% em volume. Esta diferença deve estar associada à adaptação de cada espécie ao clima regional, visto que as variedades tiveram tratamentos iguais e mesmo tipo de solo.

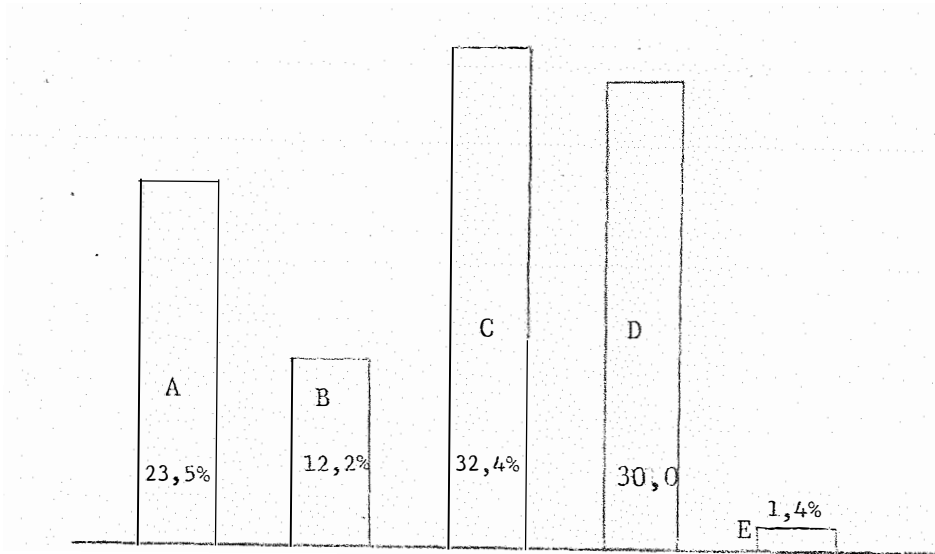


**TABELA 5.** Frequência de distribuição de DAP para cada grupo e espécie na floresta.

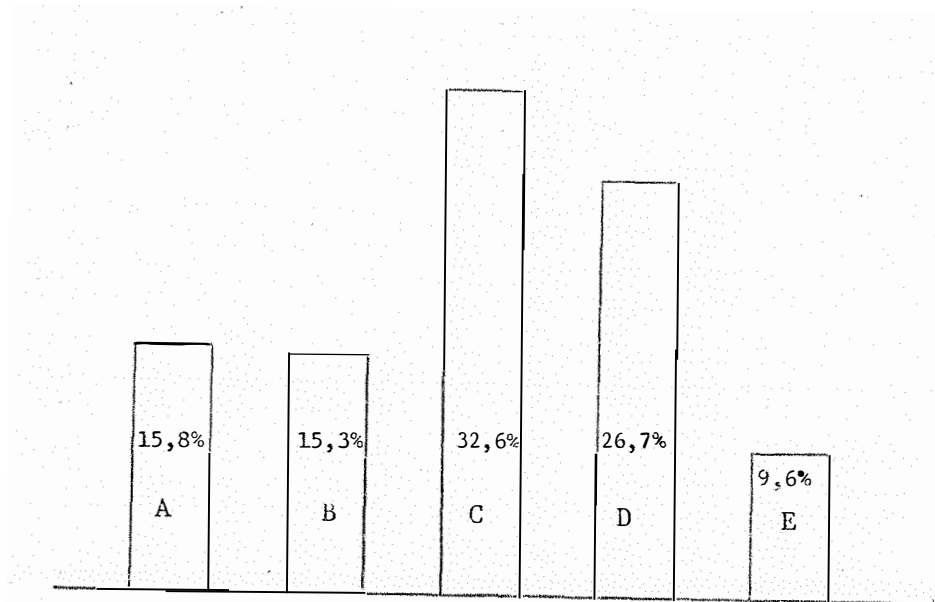
Variedade	A	B	C	D	C
<b>hondurensis</b>					
Intervalo de diâmetro (cm)	D* < 10,30	10,31 < D* < 13,30	13,31 < D* < 16,30	16,31 < D* < 19,30	19,31 < D* < 22,30
Índice relativo a cada classe (%)	23,5	12,2	32,4	30,5	1,4
<b>caribaea</b>					
Intervalo de diâmetro	D* < 8,46	8,47 < D* < 10,92	10,93 < D* < 13,38	13,39 < D* < 15,84	15,85 < D* < 18,30
Índice relativo a cada classe (%)	15,8	15,3	32,6	26,7	9,6

D\* : diâmetro ao nível do DAP das árvores (1,30 m).

*hondurensis*



*caribaea*



FIGURAS 5 e 6. Índice de distribuição de DAPs para cada grupo e espécie na área de amostragem.

**TABELA 6.** Índice de produtividade correspondente a cada grupo de classe de diâmetro considerando uma árvore teórica representativa da floresta.

	A	B	C	D	E	Total (por árvore)
<b>hondurensis</b>						
Fração da massa em cada grupo (kg)	3,45	2,64	11,14	15,11	1,06	33,41
Fração de volume seco para cada grupo (m³)	0,006819	0,006133	0,024867	0,036253	0,002294	0,076301
Fração de volume verde para cada grupo (m³)	0,007791	0,006865	0,027975	0,040421	0,002590	0,085642
<b>caribaea</b>						
Fração da massa seca em cada grupo (kg)	1,21	2,15	7,52	7,43	4,14	22,46
Fração de volume seco para cada grupo (m³)	0,002394	0,00443	0,015545	0,018777	0,008711	0,049857
Fração de volume verde para cada grupo (m³)	0,002733	0,005031	0,017662	0,020828	0,009873	0,056127

TABELA 7. Dados relativos à produtividade de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no litoral norte da Bahia.

Árvores por ha na época da colheita	Idade das árvores (anos)	Massa seca/ árvore (kg)	Volume seco/ árvore (m <sup>3</sup> )	Volume verde/ árvore (m <sup>3</sup> )	Massa seca ha.ano (t)	Volume seco ha.ano (m <sup>3</sup> )	Volume verde ha.ano (m <sup>3</sup> )	Espaçamento	
<u>hondurensis</u>	1297	8,23	33,416	0,07630	0,08564	5,266	12,025	13,496	3 x 2
<u>caribaea</u>	1482	8,15	22,468	0,04986	0,05613	4,086	9,066	10,206	3 x 2
Diferença percentual									
ΔP*	-12,48	0,972	32,76	34,65	34,46	22,41	24,61	24,378	

$$\Delta P = \frac{P_{PCH} - P_{PCC}}{P_{PCH}} \times 100$$

sendo: P<sub>PCH</sub> = valores médios para a variedade *hondurensis*  
P<sub>PCC</sub> = valores médios para a variedade *caribaea*

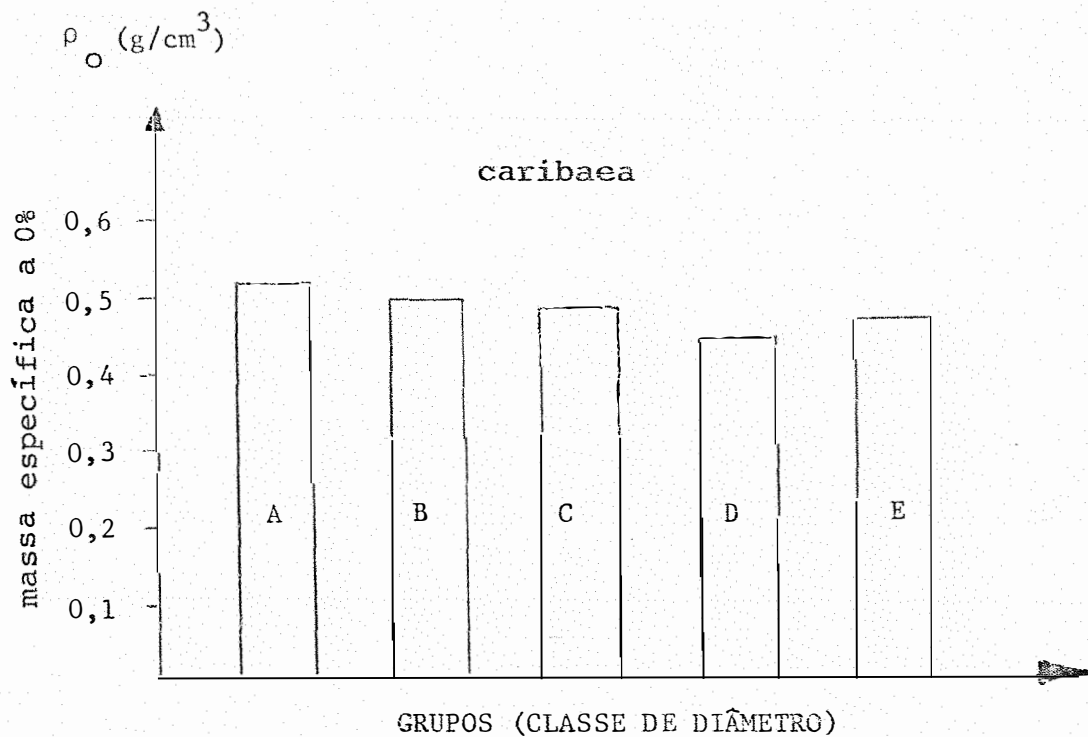
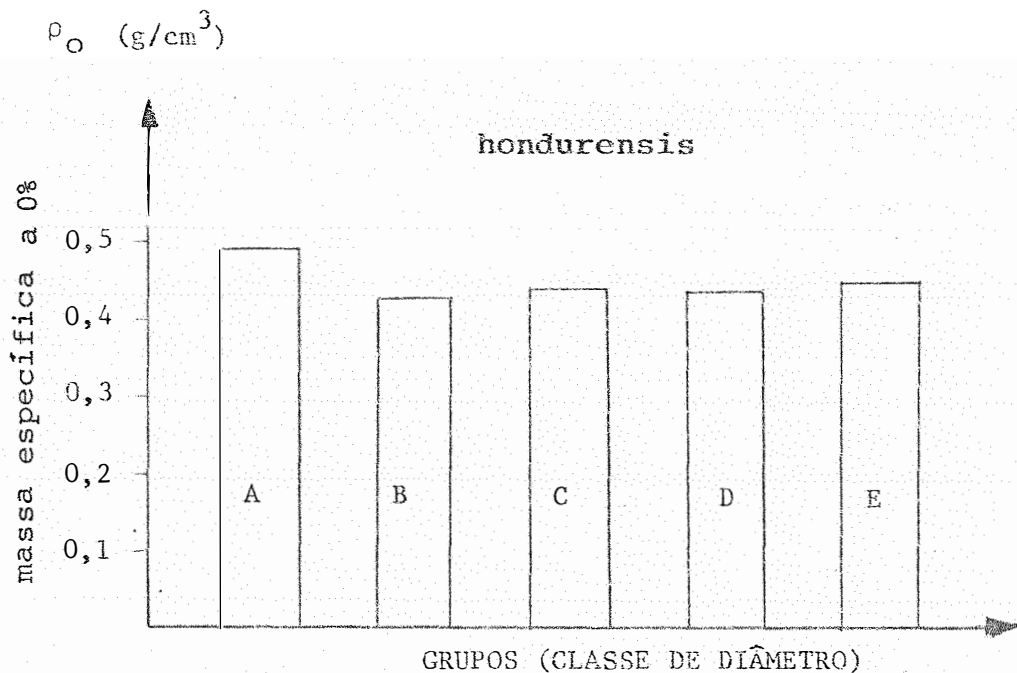


FIGURA 7 e 8. Massa específica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* em função da classe de diâmetro.

#### 4.4. VARIACÃO DA MASSA ESPECÍFICA COM A CLASSE DE DIÂMETRO

As Figuras 7 e 8 mostram os valores médios ponderados das massas específicas obtidas para cada grupo classificado por classe de diâmetro. Na Tabela 8 tem-se as equações de regressão linear entre massa específica e taxa de crescimento ( $D^2H$ ) da árvore para as duas variedades de Pinus.

Para a variedade hondurensis não houve diferença significativa entre massa específica e taxa de crescimento. Para a variedade caribaea esta diferença foi significativa, mostrando que a massa específica diminui com  $D^2H$ . A literatura registra que para o gênero Pinus as correlações entre taxa de crescimento e massa específica apresentam resultados variáveis e muitas vezes divergentes. ELLIOTT (1970) atribui a estas divergências uma série de fatores, como padrões de amostragens, idade das árvores amostradas, grau de competição, disponibilidade de água e influência das características da copa na época da amostragem.

TABELA 8. Relação entre massa específica a 0% ( $\rho_o$ ) com a taxa de crescimento ( $D^2H$ ).

Variedade	Equações de regressão linear entre $\rho_o$ e $D^2H^*$	$R^2$
<i>hondurensis</i>	$\rho_o = 0,4673 - 0,0498 D^2H$	0,15 ns
<i>caribaea</i>	$\rho_o = 0,5059 - 0,1679 D^2H$	0,69

\* $D^2H = (\text{diâmetro basal})^2 \times \text{altura da árvore}$

$\rho_o = \text{massa específica a 0\%}$

ns = não significativo

#### 4.5. VARIACÃO ANUAL DA MASSA ESPECÍFICA NA ÁRVORE

Os valores médios das massas específicas anuais a 0% ( $\rho_o$ ) e massa específica básica ( $\rho_b$ ) tiveram um aumento praticamente linear com a idade da árvore para as duas variedades. As Figuras 9 e 10 mostram os resultados obtidos. Este modelo é bastante comum e está de acordo com um grande número de trabalhos encontrados na literatura para a espécie. Verifica-se pela Tabela 9 que as diferenças da massa específica a 0% e entre o primeiro e oitavo ano foram de 51,5% para a variedade *hondurensis* e 48,2% para a *caribaea*. Isto significa que o rendimento por unidade de volume aumenta anualmente numa razão de 6,44% para a variedade *hondurensis* e

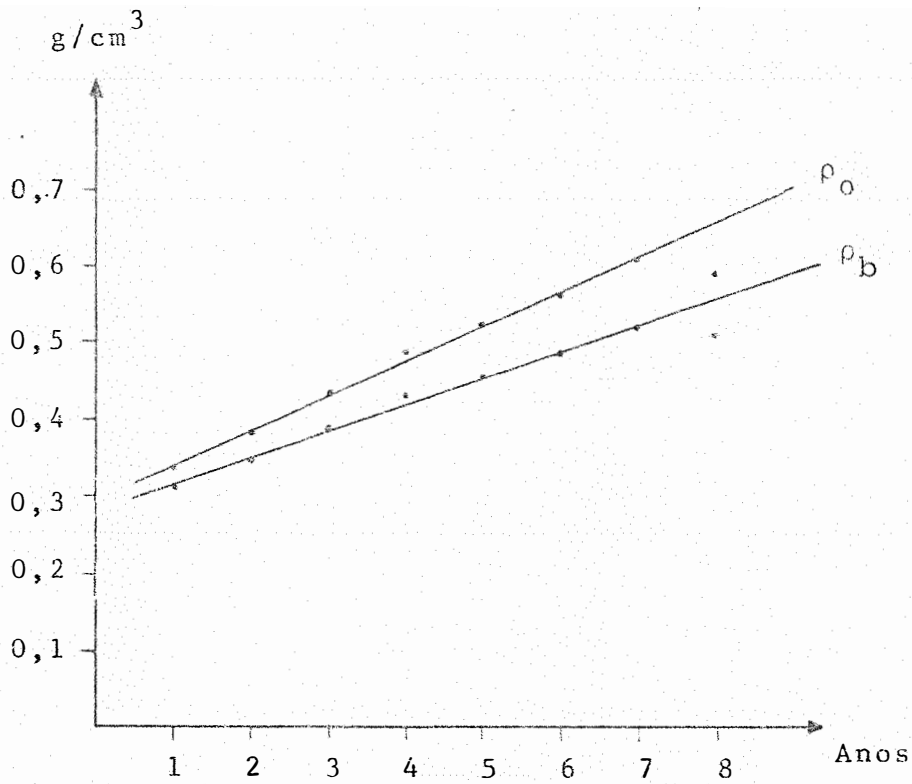


FIGURA 9. Variação da massa específica ( $\rho_o$ ) e massa específica básica ( $\rho_b$ ) em função da idade, para a variedade caribaea.



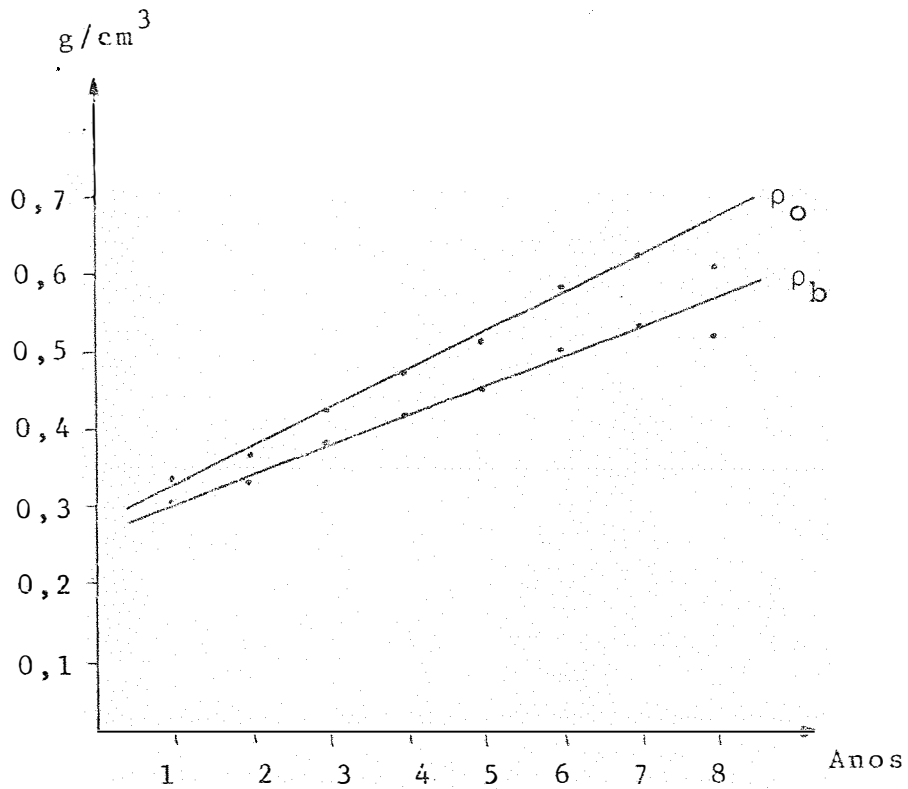


FIGURA 10. Variação da massa específica ( $\rho_o$ ) e massa específica básica ( $\rho_b$ ) em função da idade, para a variedade hondurensis.

**TABELA 9 .** Variação da massa específica a 0% e massa específica básica da madeira com a idade (anos).

Variedade		Equação	Massa específica (1º ano)	Massa específica (8º ano)	Diferença percentual entre o 8º e 1º ano
<b>hondurensis</b>	$\rho_0$	$\rho_0 = 0,2756 + 0,0494 \cdot I$ R = 0,9951	0,325	0,671	51,5
	$\rho_b$	$\rho_b = 0,2619 + 0,0385 \cdot I$ R = 0,996	0,300	0,570	47,4
	$\rho_0$ (AC)	$\rho_0 = 0,3068 + 0,0234 \cdot I$ R = 0,997	0,330	0,494	33,0
	$\rho_b$ (AC)	$\rho_b = 0,284 + 0,0187 \cdot I$ R = 0,998	0,303	0,434	30,2
<b>caribaea</b>	$\rho_0$	$\rho_0 = 0,2936 + 0,0452 \cdot I$ R = 0,997	0,339	0,655	48,2
	$\rho_b$	$\rho_b = 0,2777 + 0,035 \cdot I$ R = 0,996	0,313	0,558	43,9
	$\rho_0$ (AC)	$\rho_0 = 0,3133 + 0,0231 \cdot I$ R = 0,999	0,336	0,498	32,5
	$\rho_b$ (AC)	$\rho_b = 0,2921 + 0,0181 \cdot I$ R = 0,999	0,310	0,437	29,1

I = idade em anos;  $\rho_0$  = massa específica anual a 0%;  $\rho_0$ (AC) massa específica a 0% acumulada anualmente na árvore;  $\rho_b$  = massa específica básica anual;  $\rho_b$ (AC) = massa específica básica acumulada anualmente.

6,03% para a variedade *caribaea* durante o período de 8 anos, estudado.

Ainda pela Tabela 9, pode-se notar que as diferenças da massa específica média a 0% acumulada na árvore existente entre o 1º e 8º ano foram de 33,0% para a variedade *hondurensis* e de 32,5% para a variedade *caribaea*. O acréscimo anual de massa específica ou rendimento por unidade de volume foi de 4,13% e 4,06%, respectivamente para as duas variedades. Este é um aspecto bastante importante sob o ponto de vista econômico e deve ser considerado na política de compra e venda de madeira e no planejamento do período de rotação da floresta.

As Figuras 11 e 12 ilustram as relações lineares encontradas para a massa específica média acumulada na árvore com a idade.

Observando ainda as Figuras 9, 10, 11 e 12 verifica-se também que as retas obtidas para  $\rho_o$  e  $\rho_b$  possuem coeficientes angulares diferentes, não mostrando paralelismo entre elas, isto conforme já mencionado é uma consequência do aumento da retratibilidade volumétrica com a massa específica da madeira.

As passagens de massa específica (densidade) a 12% para 0% de umidade ou para massa específica básica (den

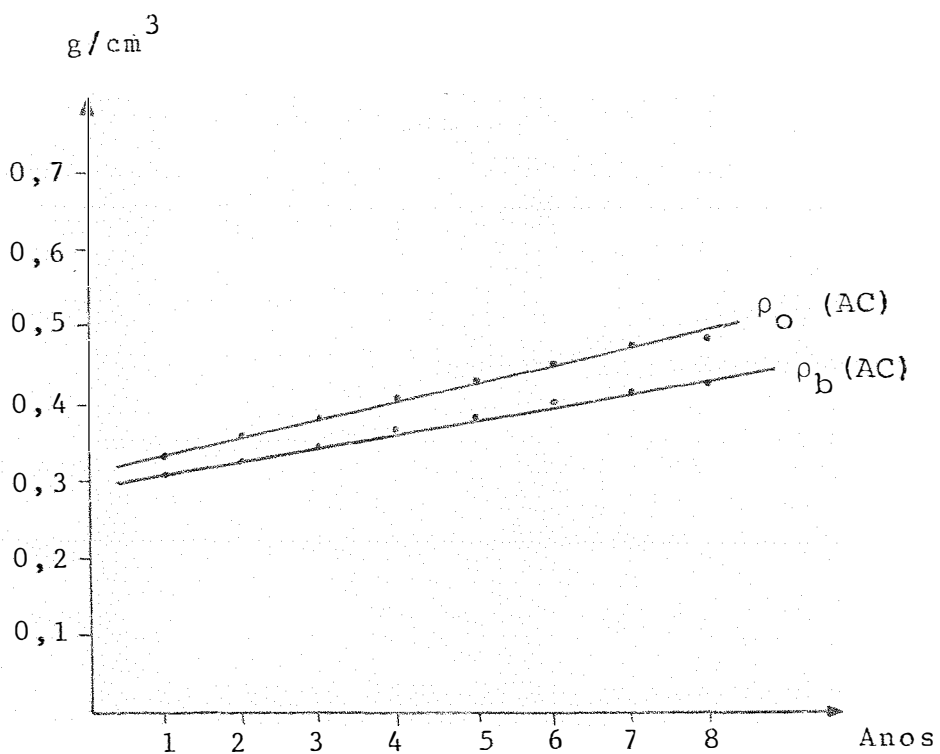


FIGURA 11. Variação da massa específica  $\rho_o$  (AC) e massa específica básica  $\rho_b$  (AC) acumuladas anualmente para a variedade *caribaea*.

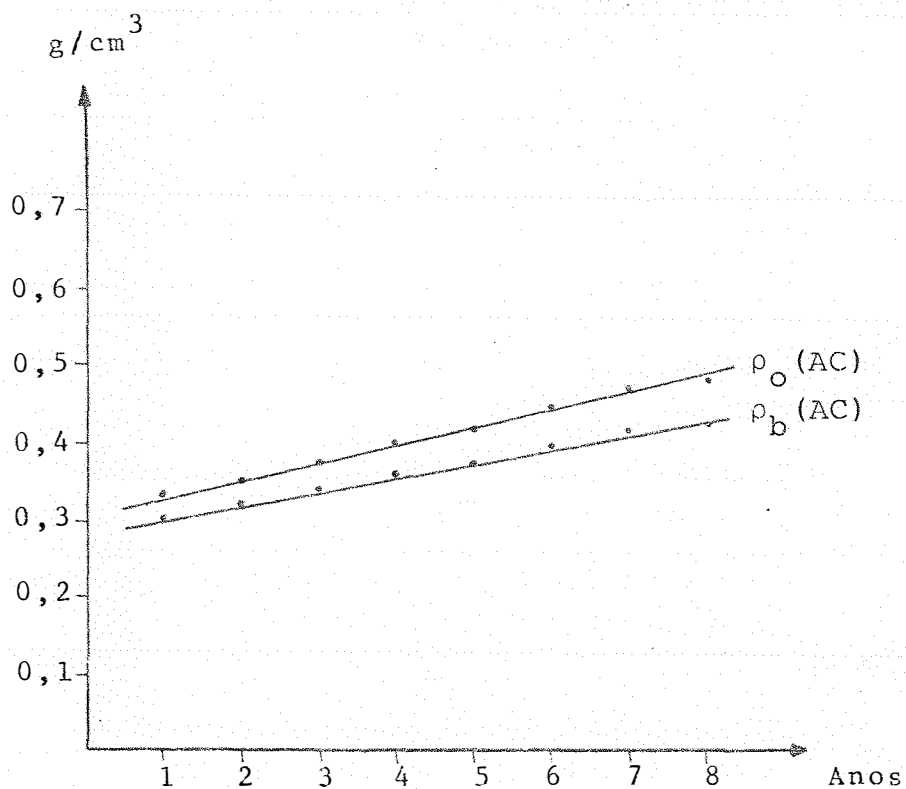


FIGURA 12. Variação da massa específica  $\rho_0(AC)$  e massa específica básica  $\rho_b(AC)$  acumulada anualmente para a variedade hondurensis.

sidade básica), foram obtidas através de equações teóricas e experimentais apresentadas no Apêndice 1. As equações encontradas são gerais e de aplicação para qualquer variedade e produzindo resultados confiáveis, principalmente para o *Pinus* e *Eucalyptus*, cujos resultados foram comprovados e comparados experimentalmente. Portanto, conhecendo-se qualquer relação entre massa e volume para uma amostra de madeira e a umidade em que esta relação foi obtida, pode-se obter qualquer outra relação através dessas equações. Pode-se também obter a umidade de uma peça de madeira através da massa específica (densidade) aparente e com o conhecimento prévio de sua massa específica básica.

O gráfico da Figura A3 do Apêndice 1 pode comprovar os resultados dentro de uma pequena faixa de massa específica (densidade), utilizando-se amostras de *Eucalyptus* e *Pinus*. Nesta figura tem-se alguns resultados obtidos experimentalmente comparados com valores obtidos através das equações de transformações. A figura mostra que os resultados são compatíveis demonstrando boa precisão. Entretanto, deve-se ressaltar que para valores extremos essa precisão tende a diminuir, ou seja, a precisão é bem menor para valores de massa específica (densidade) acima de 0,65 e abaixo de 0,30. Isto devido à faixa de validade da equação 11 do Apêndice 1.

#### 4.6. INCREMENTOS CORRENTES ANUAIS PERCENTUAIS DE MASSA ICAM E DE VOLUME ICAV, A NÍVEL DE DAP, POR UNIDADE DE ALTURA

Através das equações 4 e 5, foram obtidos os valores dos incrementos correntes anuais volumétricos ICAV e de massa ICAM para as duas variedades. As Tabelas 10, 11, 12 e 13 e Figuras 13 e 14 mostram estes resultados obtidos em percentagem. Através da Figura 13 pode-se verificar para a variedade *hondurensis* o crescimento máximo em volume ICAV esteve bem próximo ao quarto ano, enquanto o máximo crescimento em massa ICAM foi próximo ao sexto ano.

Para a variedade *caribaea* o crescimento máximo para volume e massa foram registrados respectivamente, em 4,5 e 5,5 anos (Figura 14). Com isso pode-se concluir que uma árvore em certa idade pode ser pouco produtiva em termos de volume e ter uma produção significativa em termos de massa (REZENDE, 1984).

A diferença existente entre os pontos de máximo referentes a incrementos de volume e de massa está ligada à variação da massa específica no sentido medula-casca, e será tanto maior quanto maior for a variação da massa específica com a idade da árvore.

Deve-se verificar também que os resultados a-

TABELA 10. Incremento corrente anual de massa, em porcentagem, para a variedade caribaea.

Grau do polinômio = 4

Coefficiente do polinômio

Coefficiente de grau 0 = -5,45277

Coefficiente de grau 1 = 7,46009

Coefficiente de grau 2 = -0,283703

Coefficiente de grau 3 = -0,0952884

Coefficiente de grau 4 = 6,4339E-03

Coefficiente de determinação = 0,997781

ICA (m)	Valores obtidos experimentalmente	Valores obtidos pela equação de regressão	Desvio
1	1,67	1,63477	-0,0352337
2	7,47	7,67324	0,203237
3	12,75	12,3225	-0,427465
4	15,04	15,397	0,356965
5	16,84	16,8652	0,0252419
6	17,10	16,8505	-0,249506
7	15,47	15,6303	0,160277
8	13,67	13,6365	-0,0334797



TABELA 11. Incremento corrente anual de volume, em porcentagem, para a variedade *caribaea*.

---

Grau do polinômio = 4

Coeficiente do polinômio

Coeficiente de grau 0 = -8,0095

Coeficiente de grau 1 = 11,9232

Coeficiente de grau 2 = -1,51289

Coeficiente de grau 3 = -0,0116919

Coeficiente de grau 4 = 6,68399E-03

Coeficiente de determinação = 0,994447

---

ICA (V)	Valores obtidos experimentalmente	Valores obtidos pela equação de regressão	Desvio
1	2,42	2,39584	-0,0241597
2	9,62	9,79882	0,178823
3	14,85	14,3699	-0,480083
4	15,92	16,44	0,52001
5	16,52	16,5004	-0,0195904
6	15,64	15,2028	-0,437172
7	13,01	13,3594	0,34941
8	12,03	11,9427	-0,0873089

---

TABELA 12. Incremento corrente anual de massa, em porcentagem, para a variedade *hondurensis*.

---

Grau de polinômio = 4

Coeficiente do polinômio

Coeficiente de grau 0 = -11,5125

Coeficiente de grau 1 = 18,9583

Coeficiente de grau 2 = -5,0195

Coeficiente de grau 3 = 0,683042

Coeficiente de grau 4 = -0,0363947

Coeficiente de determinação = 0,997027

---

ICA (M)	Valores obtidos experimental- mente	Valores obtidos pela equação de regressão	Desvio
1	2,25	2,17298	-0,0770245
2	9,28	9,40819	0,128185
3	12,96	12,9812	0,0211592
4	14,72	14,8065	0,0864668
5	16,49	15,9252	-0,564789
6	15,87	16,505	0,634971
7	16,1	15,8399	-0,260088
8	12,32	12,3509	0,0308609

---

TABELA 13. Incremento corrente anual de volume, em porcentagem, para a variedade hondurensis.

Grau de polinômio = 4

Coeficiente do polinômio

Coeficiente de grau 0 = -15,423

Coeficiente de grau 1 = 25,2046

Coeficiente de grau 2 = -7,34318

Coeficiente de grau 3 = 0,924015

Coeficiente de grau 4 = -0,0437245

Coeficiente de determinação = 0,992732

ICA (V)	Valores obtidos experimentalmente	Valores obtidos pela equação de regressão	Desvio
1	3,306	3,31867	0,0126672
2	12,526	12,3059	-0,220058
3	15,151	15,5088	0,357811
4	15,561	15,8479	0,286881
5	16,15	15,1944	-0,955587
6	13,8	14,3702	0,570167
7	13,13	13,1477	0,0176821
8	10,32	10,2501	-0,0698624

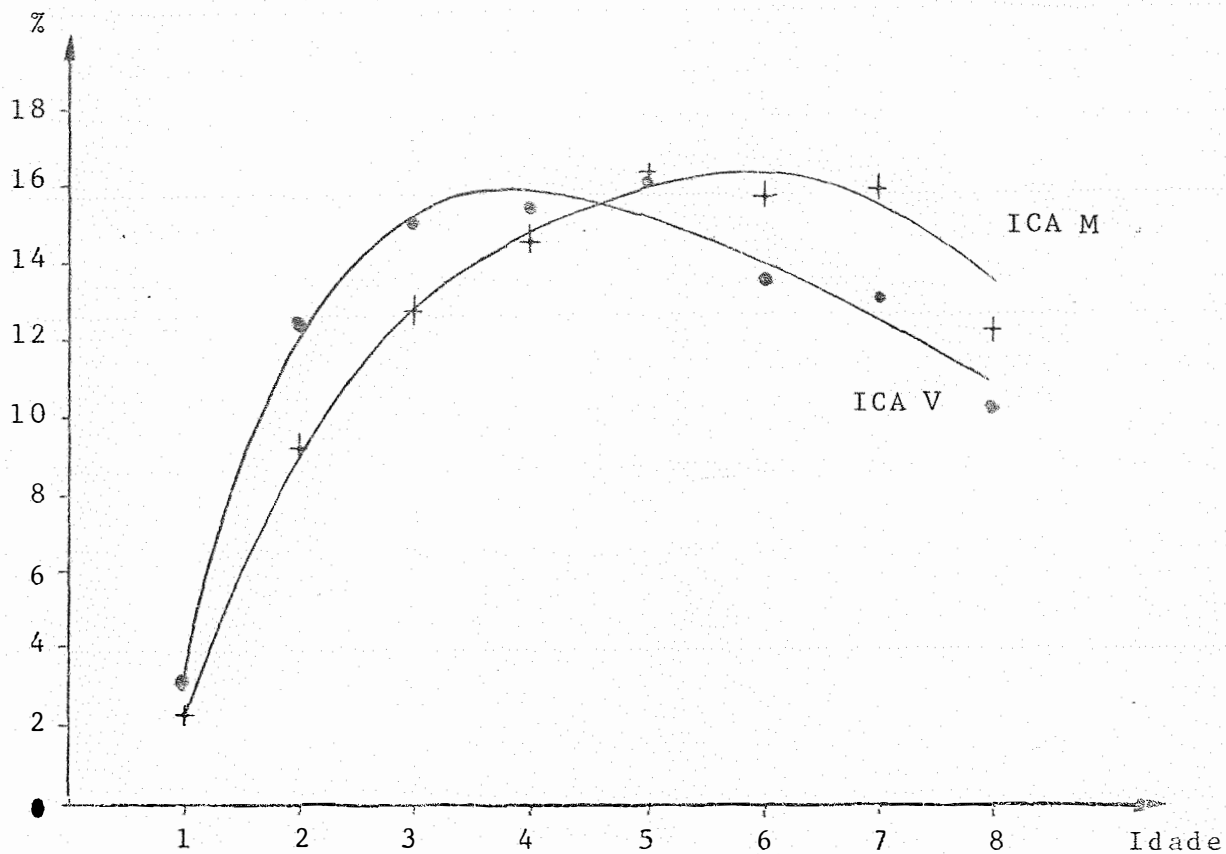
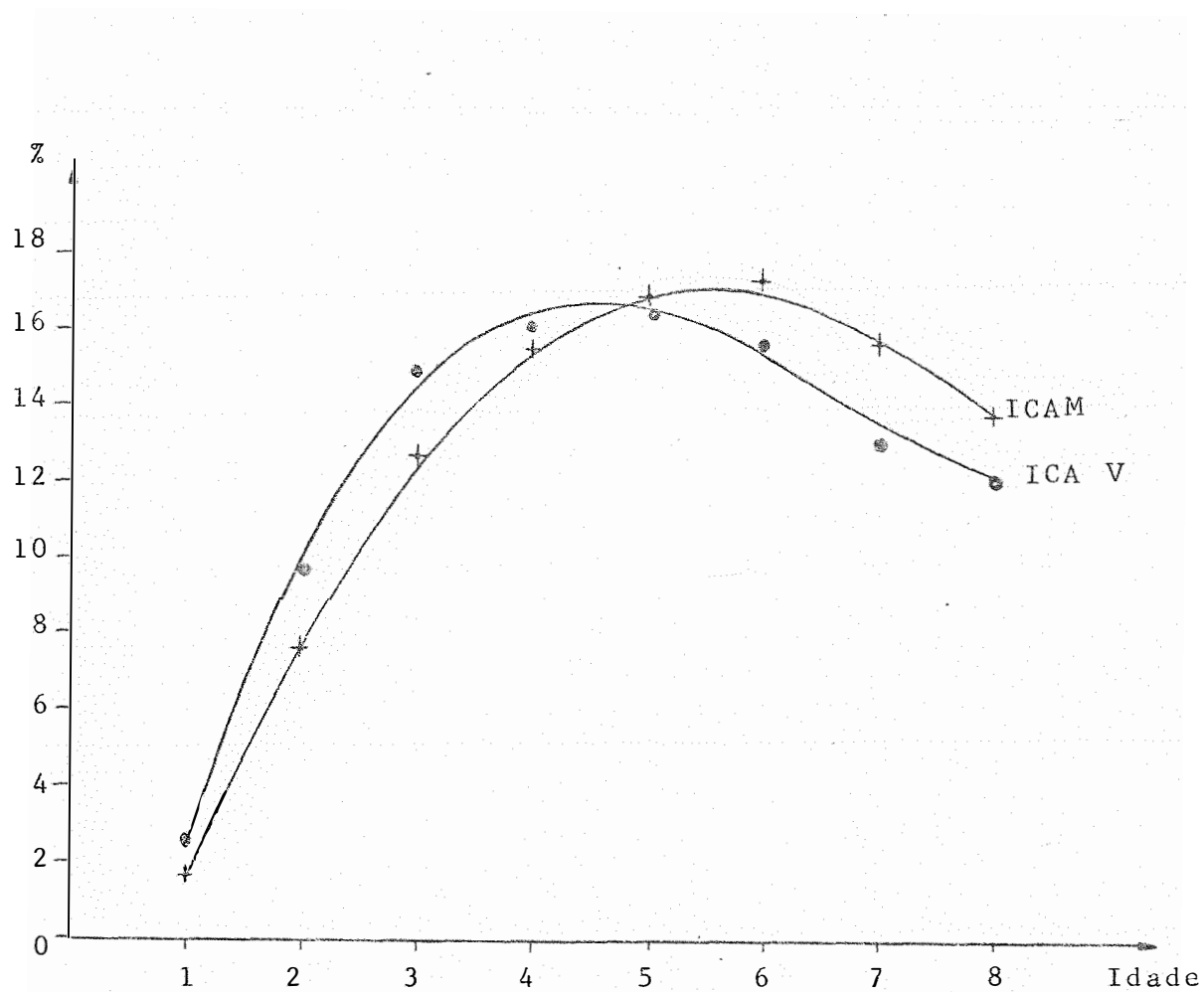


FIGURA 13. Variação do incremento corrente anual percentual de massa e volume para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a nível de DAP.



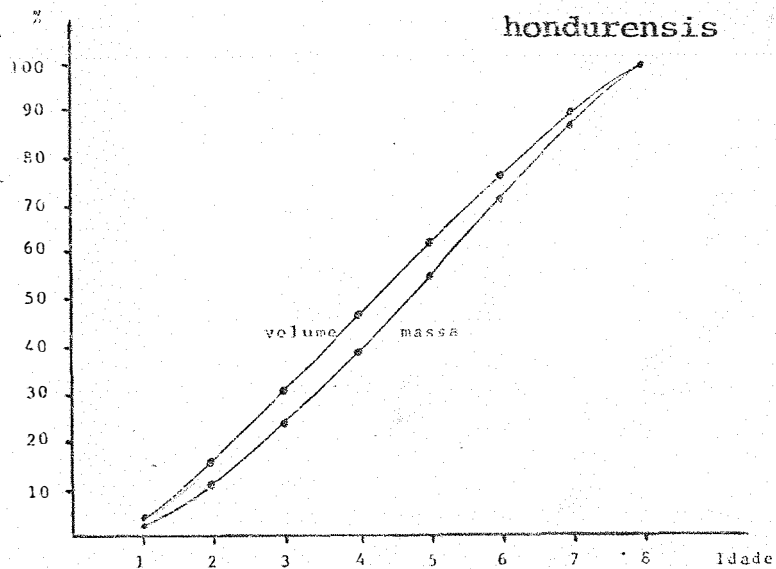
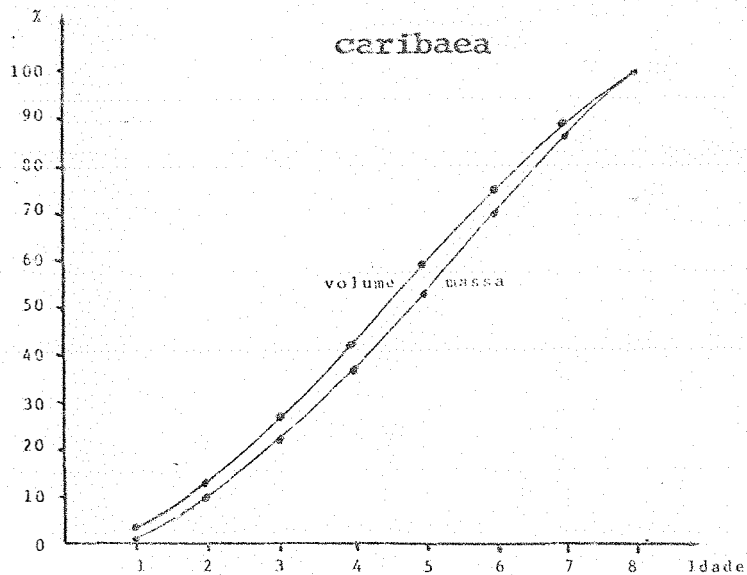
**FIGURA 14.** Variação do incremento corrente anual percentual de massa e volume para o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a nível de DAP.

qui apresentados são restringidos a incrementos a nível de DAP. A nível de árvore, estes resultados poderão ser alterados, visto que tanto a altura como o fator de forma da árvore variam com a idade.

Do ponto de vista experimental, deve-se também relatar que as medidas dos incrementos de volume e massa no último anel ficam prejudicadas, por estarem nas proximidades da casca. O que é de se esperar que os resultados obtidos para o oitavo ano estejam ligeiramente abaixo do resultado real, tanto para a massa específica (Figuras 9 e 10), como também para os incrementos de massa e volume (Figuras 13 e 14).

#### 4.7. INCREMENTOS GLOBAIS DE VOLUME, MASSA A NÍVEL DE DAP, E DADOS RELATIVOS A CASCA

Através das Figuras 15 e 16 e Tabela 14 pode-se verificar os incrementos percentuais globais de massa e volume a nível de DAP. A não coincidência entre as curvas de massa e volume se deve à variação da densidade com a idade da árvore. Pela análise das Figuras 15 e 16 pode-se verificar que mesmo que o crescimento máximo já tenha sido atingido, conforme já mencionado, as árvores se mostraram relativamente produtivas nos dois últimos anos, principalmente em termos de incrementos de massa.



FIGURAS 15 e 16. Incremento global percentual de massa e volume para o *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *hondurensis*, a nível de DAP.

TABELA 14. Incrementos percentuais globais de massa e volume.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa (PCH)	2,25	11,53	24,49	39,72	55,70	71,57	87,68	100,00
Volume (PCH)	3,306	15,831	30,983	46,544	62,694	76,494	89,624	100,00
Massa (PCC)	1,67	9,14	21,89	36,93	53,77	70,87	86,33	100,00
Volume (PCC)	2,42	12,04	26,89	42,81	59,33	74,97	87,98	100,00

PCH = *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

PCC = *Pinus caribaea* var. *caribaea*



Sendo assim, pode-se concluir que rotações curtas não serão viáveis, visto que a produtividade é diminuída consideravelmente. É importante também ressaltar que segundo BALLONI (1979), rotações curtas aumentam consideravelmente a exportação de nutrientes provocando maior empobrecimento do solo.

A Tabela 15 contém os dados de Energia/ha.ano para as duas variedades de *Pinus*, e os valores médios de Poder Calorífico para o lenho e casca da madeira. A variedade *hondurensis* superou a *caribaea* com relação a produção de energia (cal/ha.ano) em aproximadamente 24%, resultado superior a diferença com relação a massa, visto que o poder calorífico dessa variedade foi também ligeiramente superior. Outro aspecto que pode ser verificado pela Tabela 15 é que o Poder Calorífico da casca foi superior ao do lenho. A Tabela 16 contém os valores médios para as concentrações de nutrientes existentes na casca para cada variedade, e possibilitou a construção da Tabela 17, que apresenta os valores percentuais de casca em relação ao tronco da árvore para: volume, massa, energia e extração de nutrientes, mostrando ser a casca bastante representativa em termos de produtividade e exportação de nutrientes. Com relação à massa seca, a casca representou aproximadamente 22% para a variedade *hondurensis* e 18% para a variedade *caribaea*.

TABELA 15. Produção de Energia (cal/ha.ano) para as variedades de Pinus, incluindo os valores médios de Poder Calorífico, com relação ao lenho e casca (10 repetições).

Variedade	Energia (cal/ha.ano)	Poder Calorífico (lenho) (cal/g)	Poder Calorífico (casca) (cal/g)
<b>hondurensis</b>	2625 x 10 <sup>10</sup>	5034	5274
<b>caribaea</b>	2003 x 10 <sup>10</sup>	4902	5363
$\Delta E\%$ desvio	23,70		

sendo:

$$\Delta E\% = \frac{E_{PCH} - E_{PCC}}{E_{PCH}} \times 100$$

$E_{PCH}$  = energia da variedade **hondurensis**

$E_{PCC}$  = energia da variedade **caribaea**

TABELA 16. Média da concentração de nutrientes existentes na casca para as duas variedades de Pinus (4 repetições).

Variedade	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	----- % ----- ppm -----									
<b>Hondurensis</b>	0,21	0,095	0,065	0,101	0,020	128	4,5	27	12,5	4,5
<b>Caribaea</b>	0,20	0,010	0,063	0,107	0,023	141	4,6	25	11,6	5,2

**TABELA 17.** Valores percentuais de casca em relação ao tronco da árvore para volume, massa, energia e extrações de nutrientes.

Variedade	Valores percentuais		Nutrientes (%)									
	em volume	em massa	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
<b>hondurensis</b>	32,8	17,7	26,5	38,9	25,6	30,2	21,4	63,6	24,9	60,7	41,3	21,5
<b>caribaea</b>	36,0	21,6	30,7	34,2	29,6	35,1	26,9	56,7	26,7	68,9	34,3	21,6

Com relação aos macronutrientes a casca representou em relação ao tronco da árvore uma extração média de aproximadamente 31% para a variedade *caribaea* e 29% para a *hondurensis*, destacando-se entre eles o fósforo com valores de aproximadamente 34% para a *caribaea* e 39% para a *hondurensis* e o cálcio com 35% para a *caribaea* e 30% para a *hondurensis*.

Com relação aos micronutrientes a casca representou uma extração em relação ao tronco de aproximadamente 42% para as duas variedades, destacando-se o manganês onde a casca representou 69% para a variedade *caribaea* e 61% para a *hondurensis* e o ferro com 57% para a *caribaea* e 64% para a *hondurensis*. Através desses números pode-se dizer que a casca dessas espécies são grandes exportadoras de nutrientes. Entretanto, se a proporção de massa seca entre casca e lenho diminuir com a idade das árvores conforme relatado por CASTRO (1980), os valores percentuais da extração pela casca em relação ao tronco também sofrerá um pequeno decréscimo. Mesmo assim, se a casca não for aproveitada para energia ou qualquer outro fim, pode ser interessante que a mesma permaneça na floresta juntamente com os galhos e folhas das árvores.

#### 4.8. CONCENTRAÇÃO ANUAL DE NUTRIENTES PARA O LENHO DAS ÁRVORES NO DAP

As Tabelas 18 e 19 e Figuras 17 a 26 apresentam os resultados obtidos para a concentração anual de nutrientes a nível de DAP, ou seja, teores de nutrientes para cada anel anual. De uma maneira geral, pode-se dizer que houve um decréscimo na concentração de nutrientes com a idade do anel. Este aspecto pode ser observado principalmente para cálcio, magnésio, fósforo, nitrogênio, manganês e ferro. Outros elementos apresentam um decréscimo na concentração até aproximadamente o 4º ou 5º anel vindo posteriormente a aumentar de maneira atenuada até o 8º anel, como é o caso característico do potássio. MALAVOLTA (1980) comenta a competição com relação a absorção entre o cálcio e potássio e relata que as curvas de absorção para estes dois elementos apresentam em geral características diferentes, estabelecendo-se uma competição quando as relações entre estes elementos não forem adequadas. Ainda esse autor comenta que para o fósforo e magnésio, as curvas são em geral semelhantes visto que a presença de um elemento auxilia a absorção do outro.

Estes aspectos podem parecer evidentes, entretanto, deve-se considerar outros fatores como o efeito "diluição" que pode se apresentar de maneira diferente para ca-

TABELA 18. Média da concentração anual de nutrientes para as árvores no diâmetro à altura do peito, em percentagem de matéria seca e ppm (4 repetições), para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Anos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
----- % -----										
1	0,130	0,0105	0,0491	0,0718	0,0219	25,0	4,5	5,4	11,8	7,7
2	0,122	0,0046	0,0397	0,0679	0,0218	48,2	4,3	5,2	5,1	5,9
3	0,121	0,0034	0,0368	0,0592	0,0180	18,6	3,4	3,8	2,8	2,5
4	0,129	0,0031	0,0344	0,0557	0,0164	9,2	2,5	3,6	2,6	2,4
5	0,120	0,0030	0,0328	0,0569	0,0143	19,1	2,5	5,0	4,9	3,8
6	0,115	0,0024	0,0413	0,0479	0,0144	8,2	2,3	2,7	2,5	2,1
7	0,102	0,0022	0,0451	0,0367	0,0127	6,1	2,6	2,0	2,5	2,3
8	0,128	0,0036	0,0552	0,0283	0,0152	13,5	3,9	4,5	5,9	6,6
----- ppm -----										

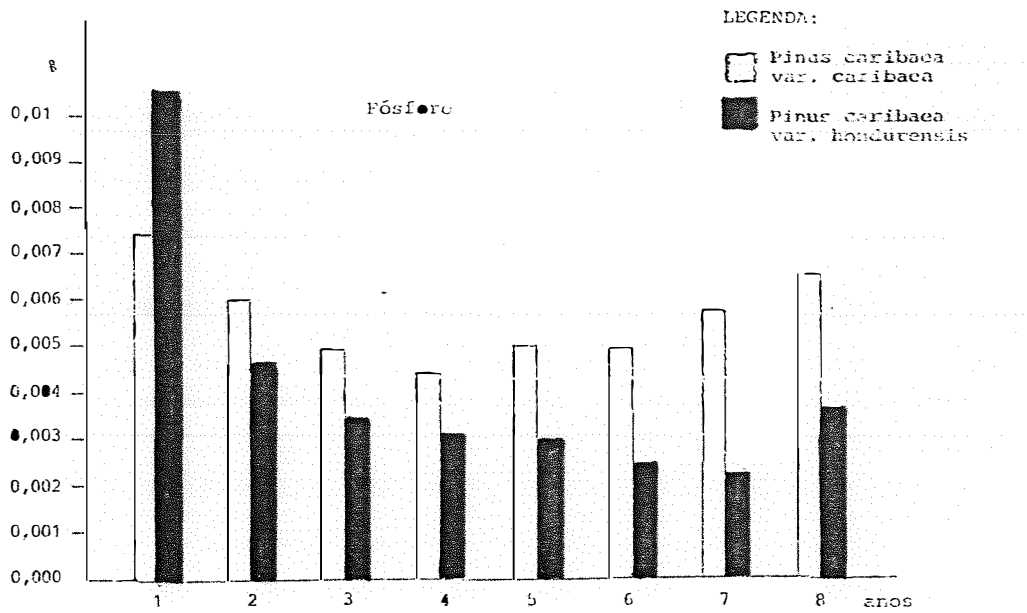


FIGURA 17. Concentrações anuais de fósforo no lenho em % da matéria seca.

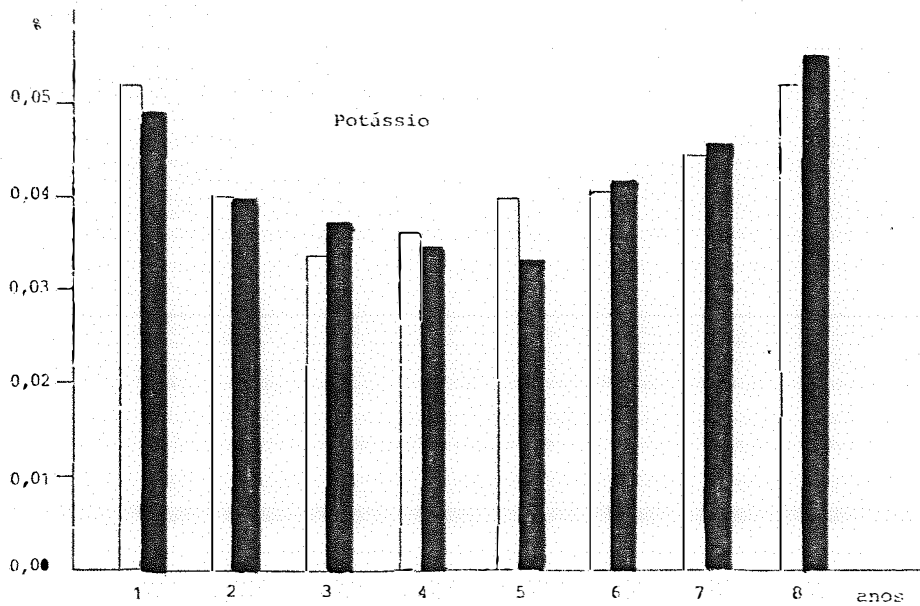


FIGURA 18. Concentrações anuais de potássio no lenho em % da matéria seca.



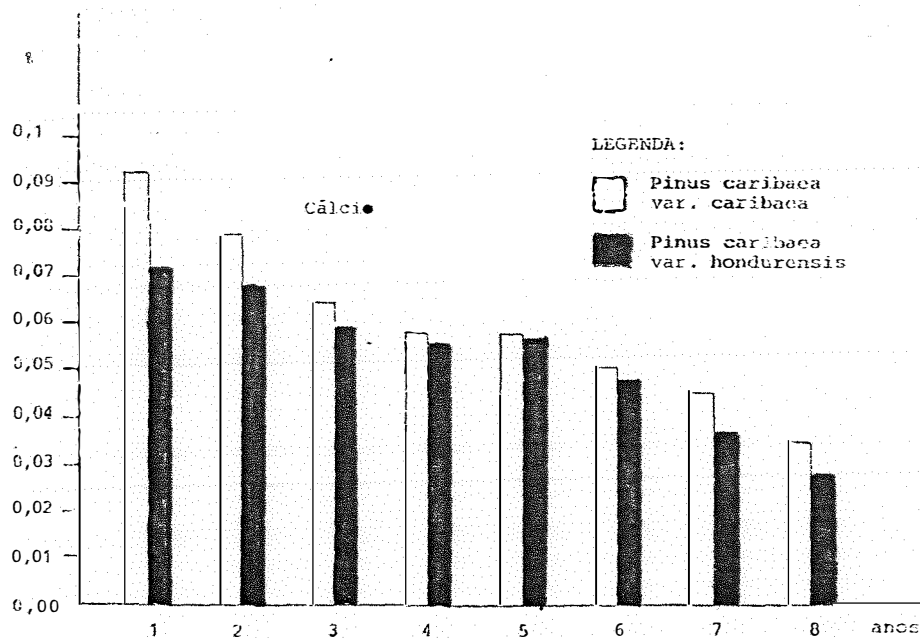


FIGURA 19. Concentrações anuais de cálcio no lenho em % da matéria seca.

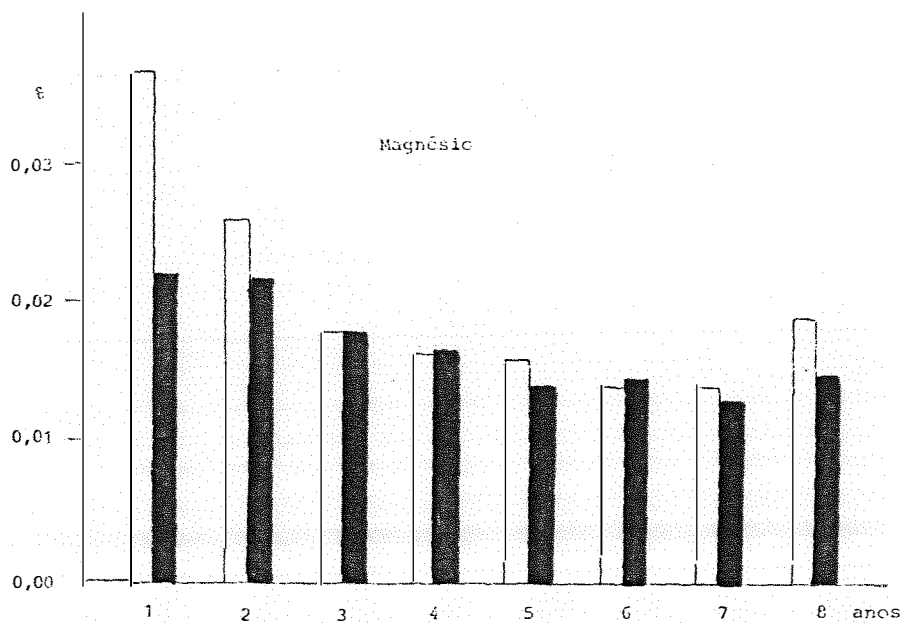
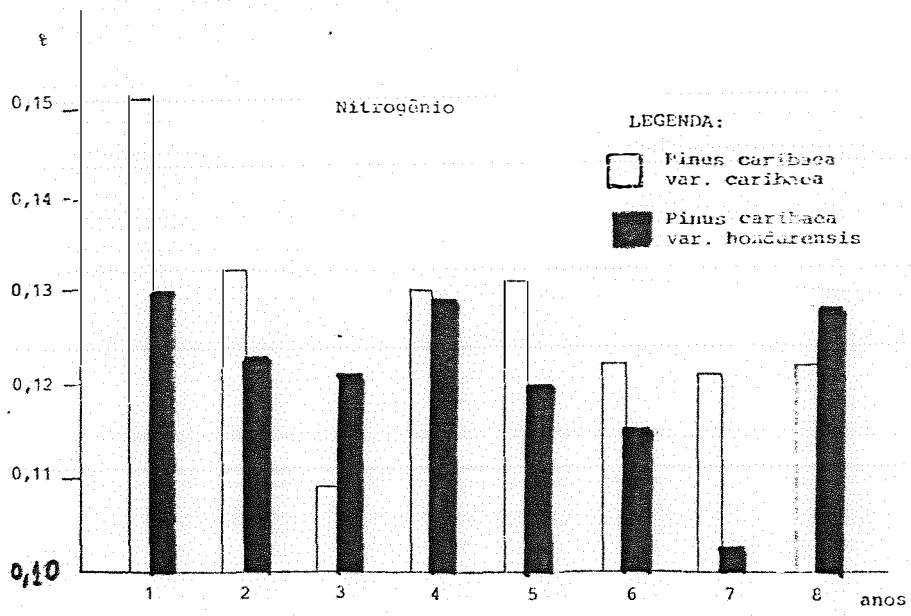
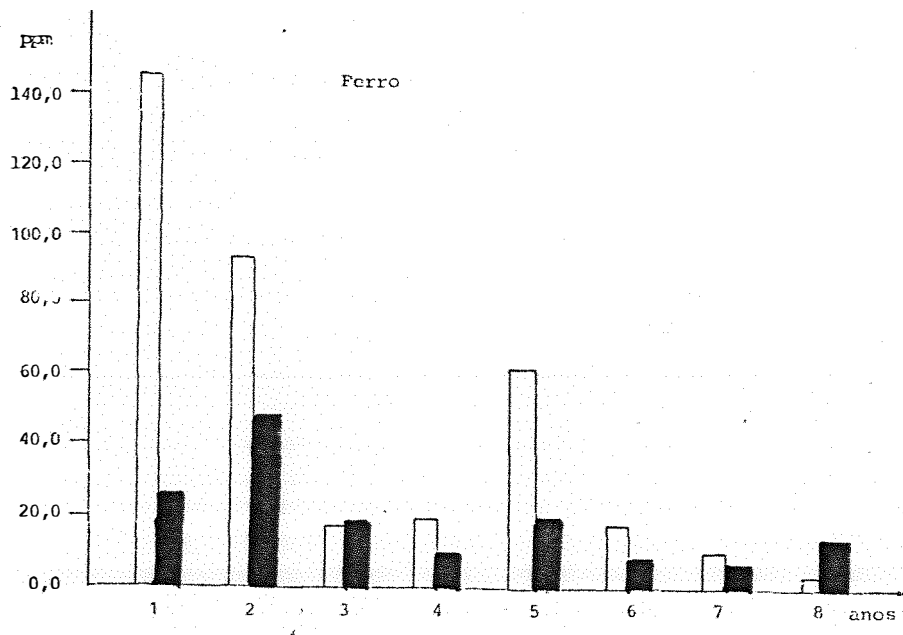


FIGURA 20. Concentrações anuais de magnésio no lenho em % da matéria seca.



**FIGURA 21.** Concentrações anuais de nitrogênio no lenho : em % da matéria seca.



**FIGURA 22.** Concentrações anuais de ferro no lenho em ppm.

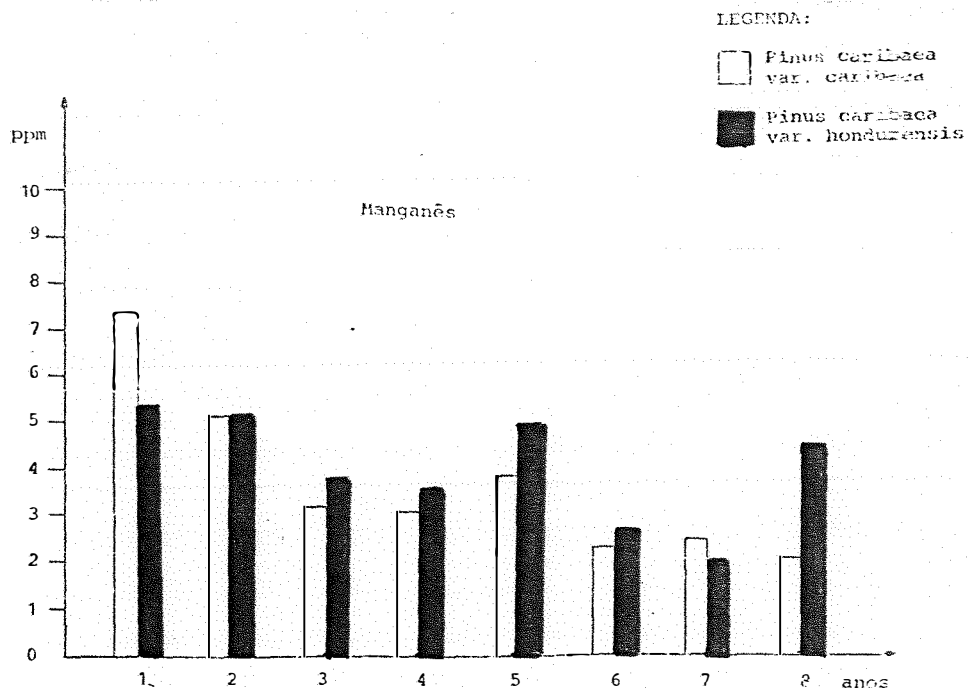


FIGURA 23. Concentrações anuais de manganês no lenho em ppm.

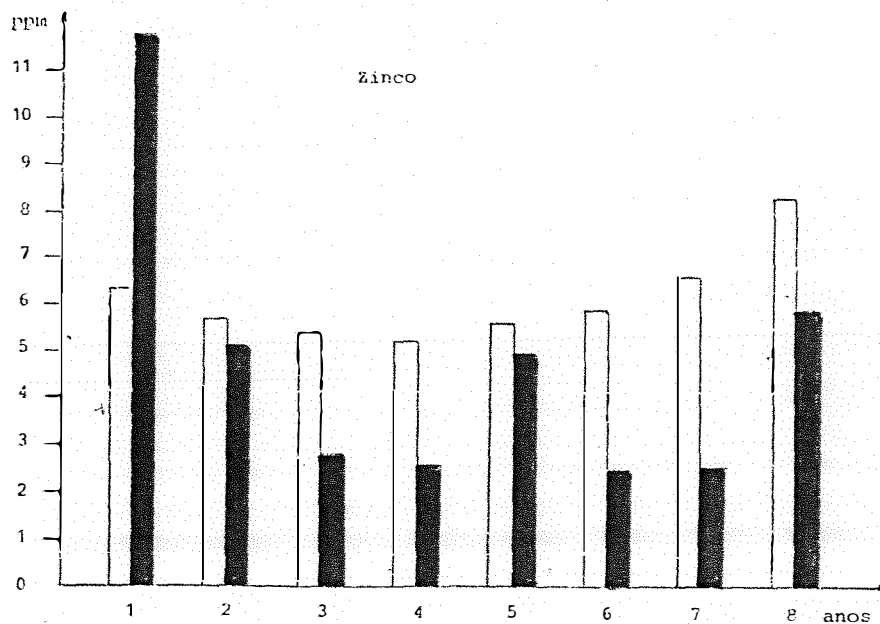


FIGURA 24. Concentrações anuais de zinco no lenho em ppm.

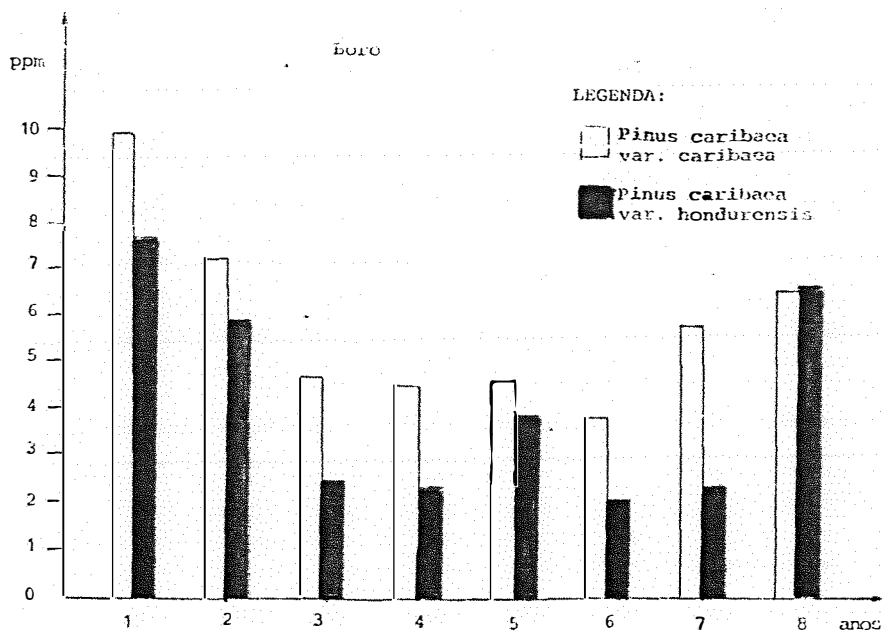


FIGURA 25. Concentrações anuais de boro no lenho em ppm.

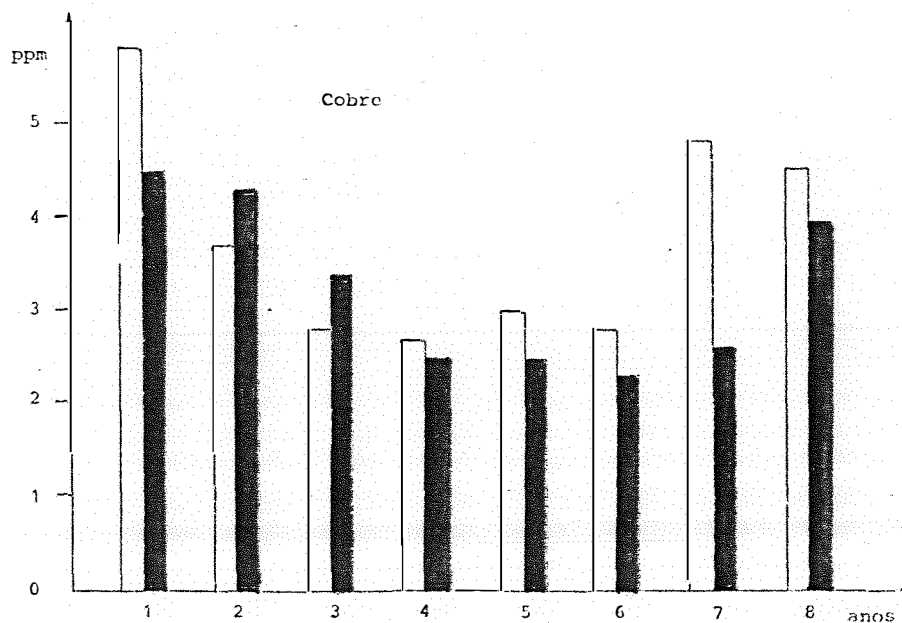


FIGURA 26. Concentrações anuais de cobre no lenho em ppm.

da nutriente e os fatores climáticos que podem influenciar diferenciadamente para cada elemento. Deve-se ainda lembrar que a adubação de plantio pode influenciar na concentração anual de nutrientes.

As Tabelas 20 e 21 mostram as correlações lineares para as concentrações de nutrientes e incrementos anuais percentuais de massa (ICAM), para as duas variedades de Pinus. Pode-se verificar uma diminuição na concentração de nutrientes com os aumentos dos incrementos de massa. Este aspecto foi observado para todos os nutrientes e é bastante conhecido na literatura, com o nome de efeito diluição. Pelas Tabelas 20 e 21 pode-se observar que este efeito foi mais significativo para o fósforo e magnésio, cujos coeficientes de correlação R foram relativamente altos.

#### 4.9. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ACUMULADAS ANUALMENTE DE NUTRIENTES, PARA AS DUAS VARIEDADES DE PINUS

As Tabelas 22 e 23 e as Figuras 27 a 36, apresentam as concentrações médias acumuladas anualmente para os nutrientes obtidos pela análise dos anéis de crescimento. Através dessas figuras pode-se verificar um decréscimo na concentração de nutrientes com a idade das árvores, com exceção do potássio, que conforme já mencionado apresentou uma

TABELA 20. Correlações lineares e coeficientes de determinações (R), para concentrações de nutrientes e incrementos correntes anuais percentuais de massa (ICAM) para o *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Variável dependente	Variável independente	Coeficiente de regressão linear $y = a+bx$		
		R	a	b
N (%)	ICAM (%)	0,68	0,14675	-0,00157
P (%)	ICAM (%)	0,78	0,00742	-0,00015
K (%)	ICAM (%)	0,44	0,49068	-0,00054
Ca (%)	ICAM (%)	0,84	0,09615	-0,00028
Mg (%)	ICAM (%)	0,98	0,03775	-0,00142
Fe (ppm)	ICAM (%)	0,85	145,679	-7,93043
Cu (ppm)	ICAM (%)	0,66	5,54327	-0,14251
Mn (ppm)	ICAM (%)	0,90	7,50352	-0,30337
Zn (ppm)	ICAM (%)	0,04	6,21842	-0,00745
B (ppm)	ICAM (%)	0,92	10,17677	-0,34425

TABELA 21. Correlações lineares e coeficientes de determinação (R), para concentrações de nutrientes e incrementos correntes anuais de massa (ICAM), para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Variável dependente	Variável independente	Coeficiente de regressão linear $y = a+bx$		
		R	a	b
N (%)	ICAM (%)	0,61	0,12707	-0,00115
P (%)	ICAM (%)	0,96	0,01083	-0,00054
K (%)	ICAM (%)	0,45	0,05075	-0,00072
Ca (%)	ICAM (%)	0,58	0,07539	-0,00178
Mg (%)	ICAM (%)	0,87	0,02469	-0,0063
Fe (ppm)	ICAM (%)	0,57	38,63710	-1,61427
Cu (ppm)	ICAM (%)	0,88	5,31142	-0,16542
Mn (ppm)	ICAM (%)	0,65	6,11346	-0,16706
Zn (ppm)	ICAM (%)	0,89	12,13420	-0,59212
B (ppm)	ICAM (%)	0,82	8,98829	-0,38692

**TABELA 22.** Concentração anual acumulada de nutrientes para o *Pinus caribaea* var. *caribaea* em porcentagem da matéria seca e ppm.

Idade	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	----- % -----					----- ppm -----				
1	0,151	0,0074	0,0517	0,092	0,0365	144,0	5,8	7,4	6,3	9,9
2	0,1355	0,0063	0,0421	0,0814	0,0280	102,9	4,1	5,0	5,8	7,7
3	0,1201	0,0055	0,0371	0,0713	0,0221	52,2	3,3	4,2	5,6	5,9
4	0,1241	0,0050	0,0369	0,0659	0,0197	38,8	3,1	3,7	5,4	5,4
5	0,1263	0,050	0,0378	0,0634	0,0186	46,3	3,1	3,8	5,5	5,1
6	0,1252	0,0050	0,0384	0,0604	0,0175	39,5	3,0	3,4	5,6	4,8
7	0,1245	0,0051	0,0395	0,0576	0,0169	34,1	3,1	3,3	5,7	5,0
8	0,1241	0,0053	0,0141	0,0545	0,0172	29,8	3,5	3,1	6,1	5,2



**TABELA 23.** Concentração anual acumulada de nutrientes para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e porcentagem da matéria seca e ppm.

Idade	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	%					ppm				
1	0,130	0,0165	0,0491	0,0718	0,0219	25,0	4,5	5,4	11,8	7,7
2	0,1235	0,0057	0,0415	0,0687	0,0218	43,7	4,4	5,2	6,4	6,3
3	0,1222	0,0045	0,0390	0,0637	0,0198	30,4	3,8	4,5	4,5	4,2
4	0,1247	0,0040	0,0373	0,0607	0,0185	22,5	3,4	4,1	3,8	3,6
5	0,1233	0,0037	0,0360	0,0596	0,0173	21,5	3,1	4,4	4,1	3,6
6	0,1215	0,0034	0,0371	0,0570	0,0166	18,5	2,9	4,0	3,8	3,3
7	0,1179	0,0082	0,0386	0,0532	0,0159	16,2	2,9	3,7	3,5	3,1
8	0,1192	0,0032	0,0407	0,0502	0,0158	15,9	3,0	3,8	3,8	3,5

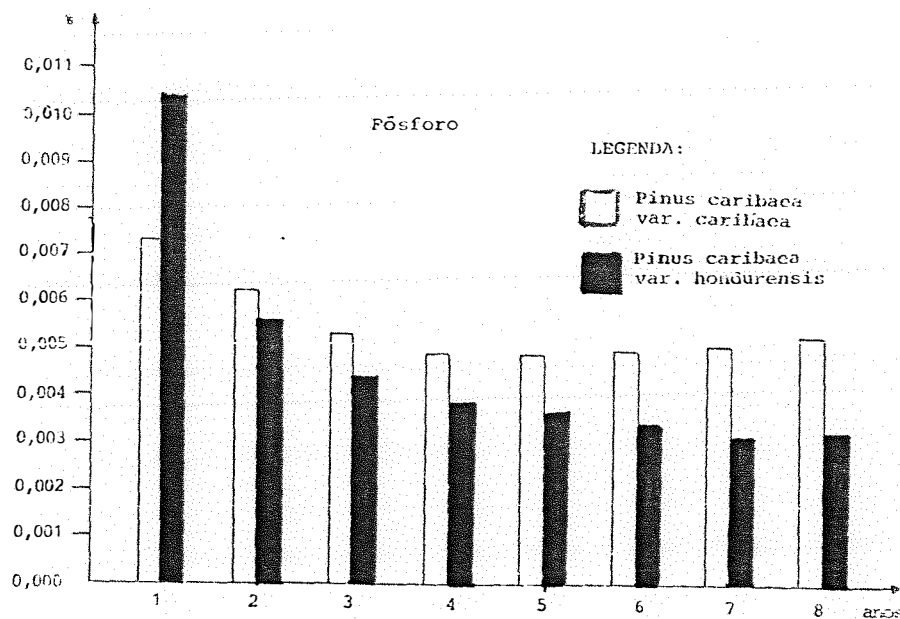


FIGURA 27. Concentrações acumuladas anualmente de fósforo no lenho em % da matéria seca.

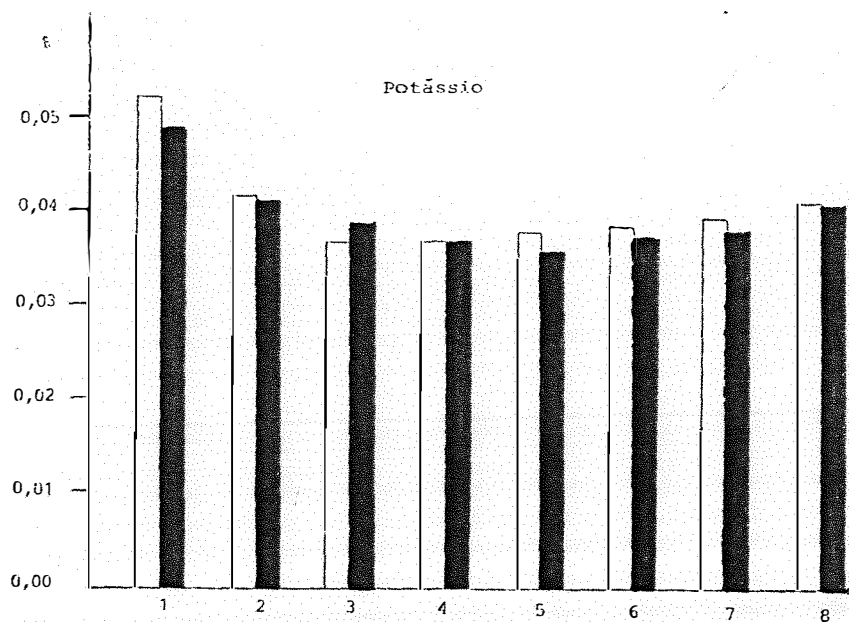


FIGURA 28. Concentrações acumuladas anualmente de potássio no lenho em % da matéria seca.

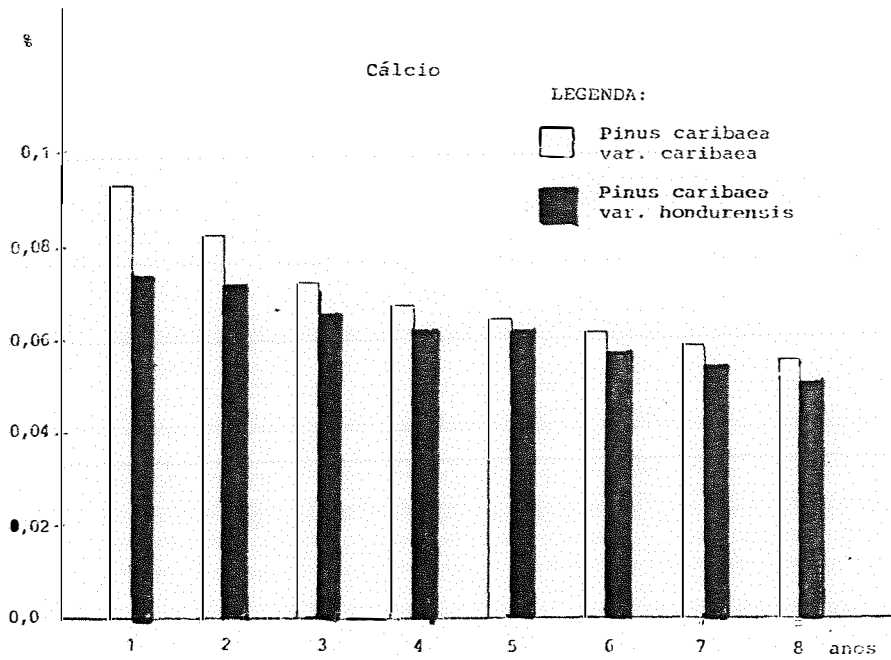


FIGURA 29. Concentrações acumuladas anualmente de cálcio no lenho em % da matéria seca.

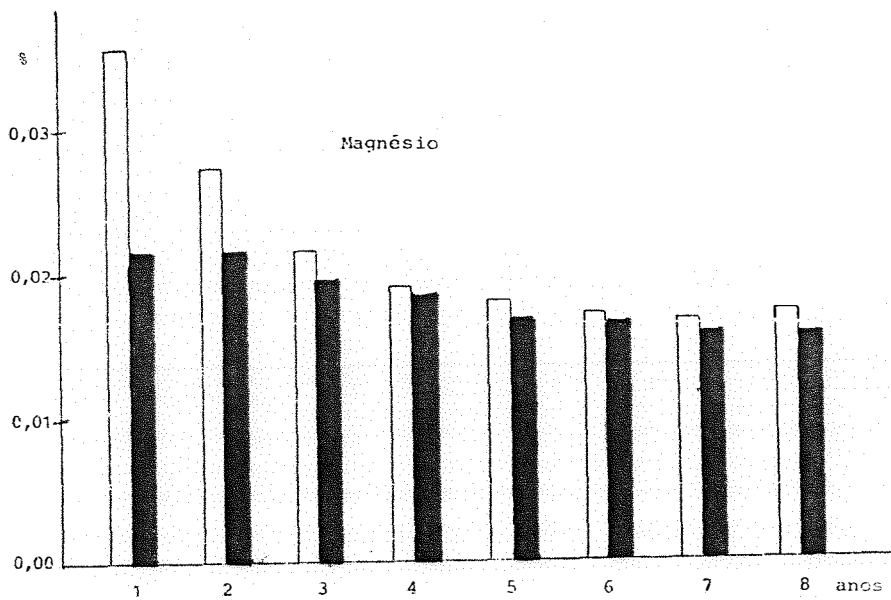


FIGURA 30. Concentrações acumuladas anualmente de magnésio no lenho em % da matéria seca.

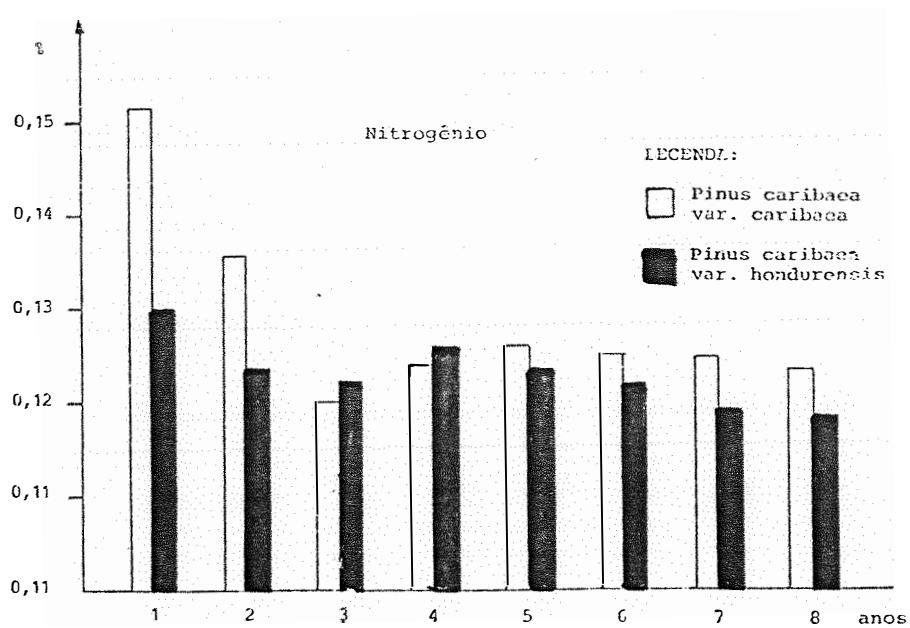


FIGURA 31. Concentrações acumuladas anualmente de nitrogênio no lenhõ em % da matéria seca.

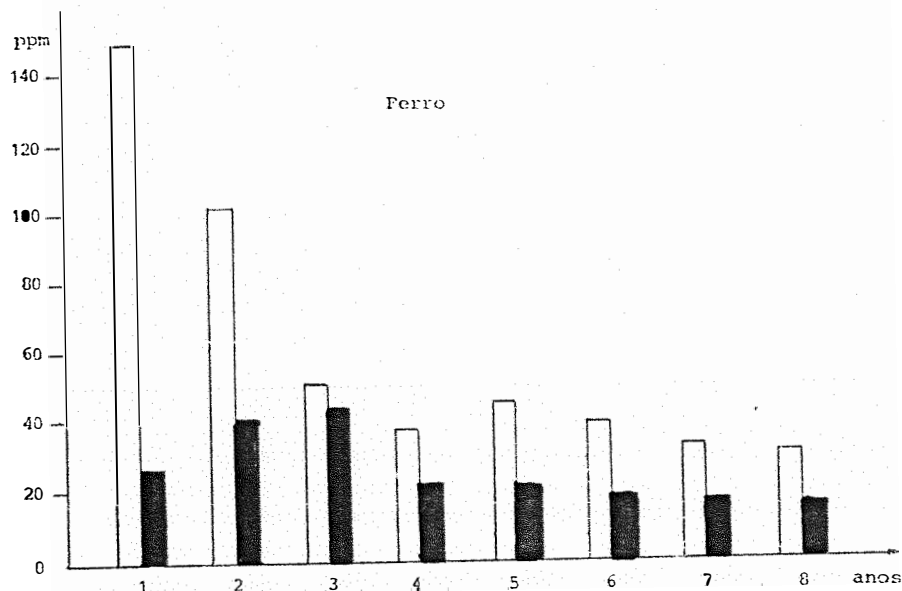


FIGURA 32. Concentrações acumuladas anualmente de ferro no lenhõ em ppm.

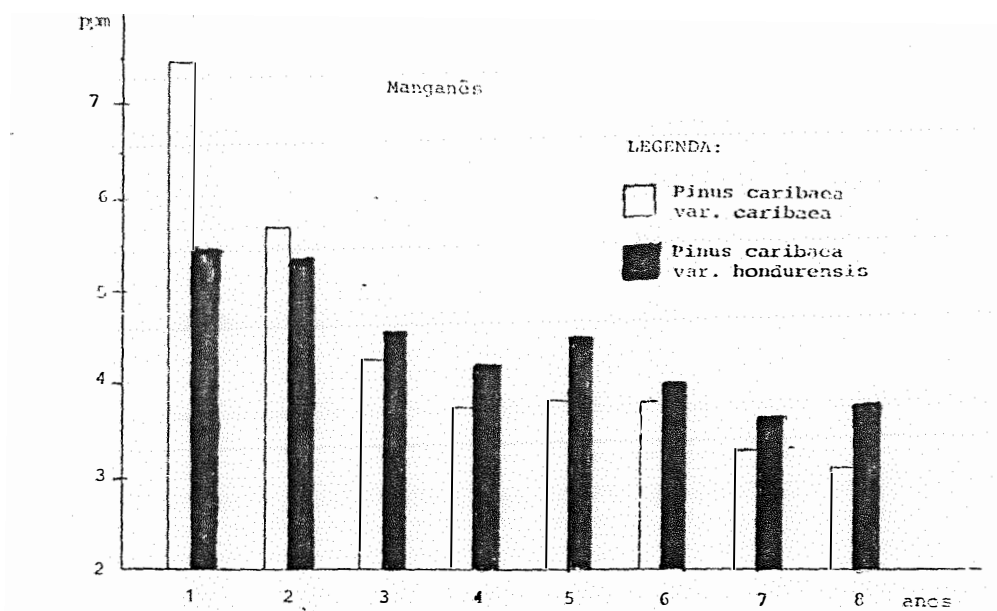


FIGURA 33. Concentrações acumuladas anualmente de manganês no lenho em ppm.

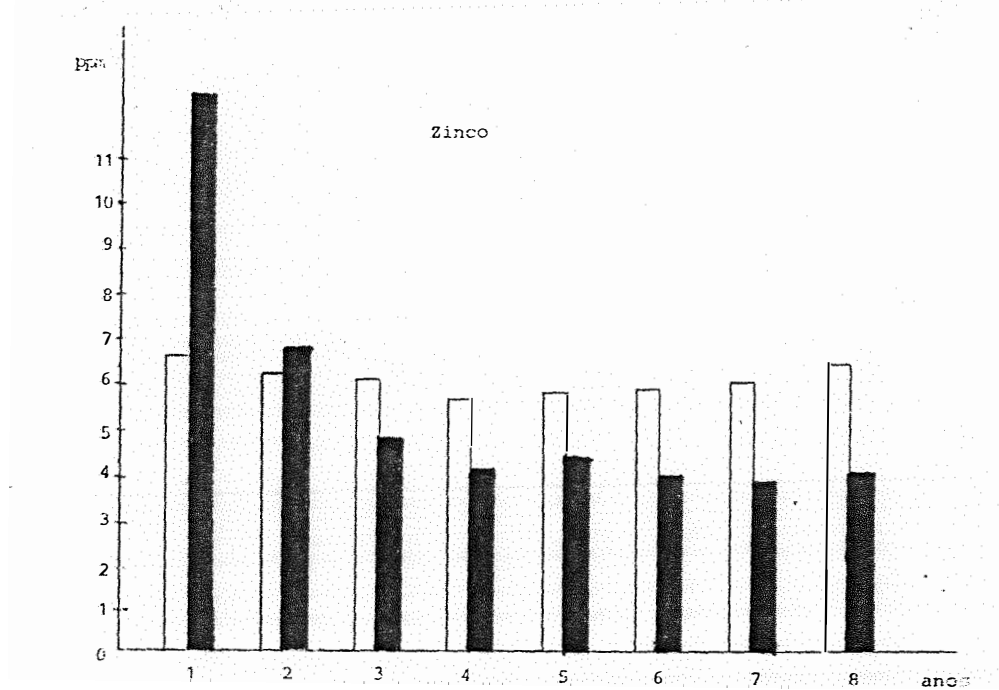


FIGURA 34. Concentrações acumuladas anualmente de zinco no lenho em ppm.

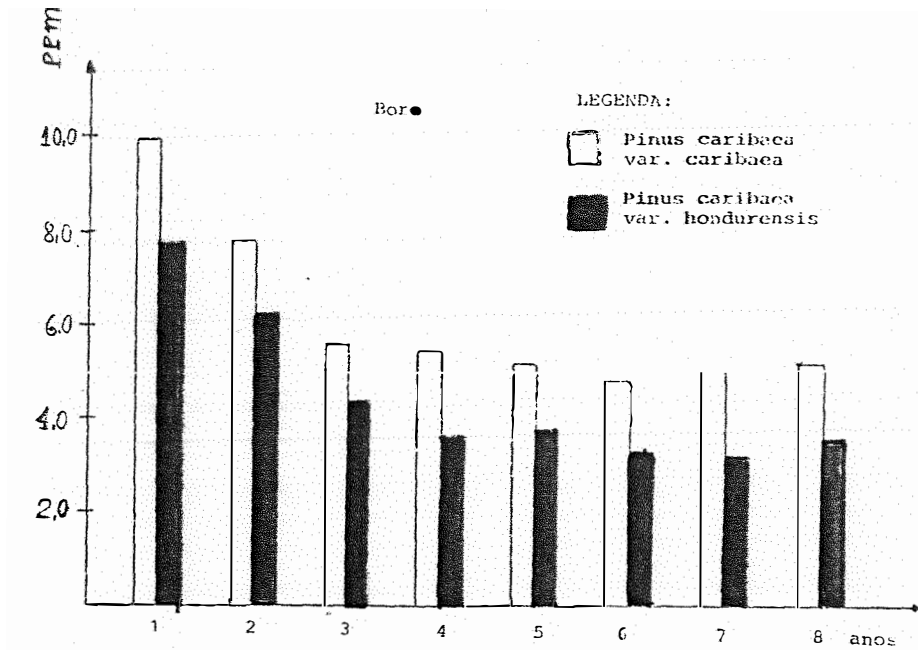


FIGURA 35. Concentrações acumuladas anualmente de boro no lenho em ppm.

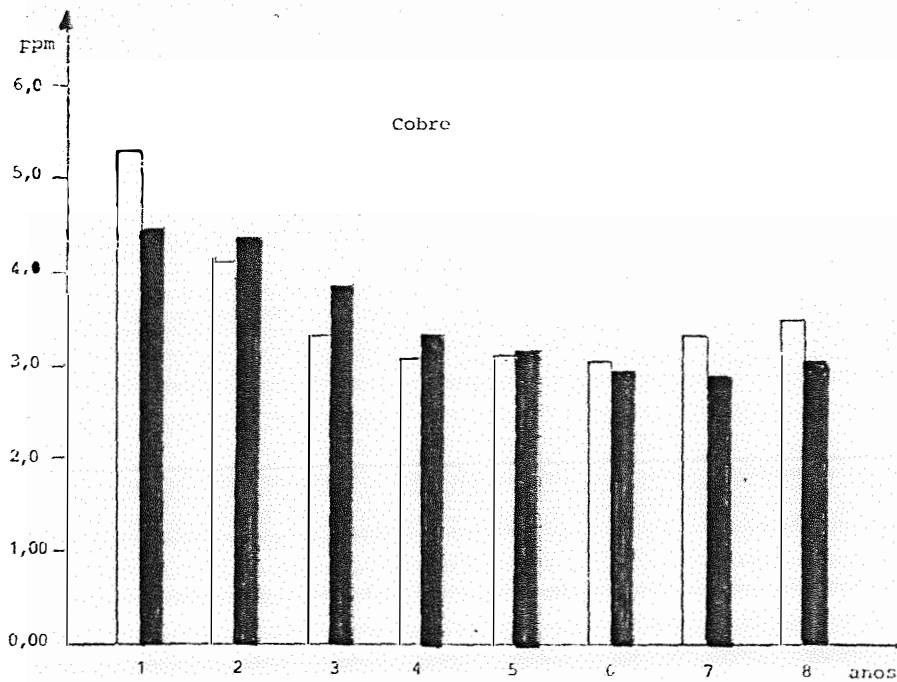


FIGURA 36. Concentrações acumuladas anualmente de cobre no lenho em ppm.

curva um pouco diferente. Segundo SWITZER o acúmulo de nutrientes no lenho é maior durante os períodos iniciais de vida do povoamento diminuindo com a maturação do mesmo. Dessa forma as demandas de nutrientes são maiores em árvores jovens do que em árvores adultas e os resultados obtidos aqui podem comprovar estes fatos, que são ilustrados através das Figuras 27 a 36.

Através das Figuras 27 a 36, pode-se também verificar que a variedade *caribaea* possui maior concentração de nutrientes no lenho que a *hondurensis*. Os dados obtidos correspondentes ao oitavo ano nessas figuras comprovam estes resultados. Os valores obtidos no oitavo ano, corresponde à média ponderada das concentrações de nutrientes até aquele ano, ou seja, aos 8 anos de idade. Essas figuras comprovam por análise do oitavo anel, que a variedade *caribaea* acumulou maiores concentrações de nutrientes no lenho que a *hondurensis*, com exceção do manganês. Essa diferença parece ser bastante significativa para os elementos: fósforo, boro, zinco e ferro, e as análises desses resultados permitem concluir que a variedade *caribaea* é mais exigente em termos nutricionais que a *hondurensis* já que as mesmas estão sob mesmas condições de solo e clima. Entretanto, os dados de análise foliar indicam que a variedade *hondurensis* acumulou mais nutrientes nas acículas que a *caribaea* com exceção do cálcio que se mostrou inferior, e outros elementos cujas di-

ferenças não foram significativas. Esses resultados são apresentados nas Tabelas 24 e 25.

Através das Tabelas 24 e 25, pode-se verificar os baixos níveis de nutrientes encontrados nas acículas para as duas variedades, o que reflete a baixa disponibilidade de nutrientes para as árvores no solo da região. Pode-se verificar ainda que a maioria dos elementos se apresentam em níveis deficientes, comparados com os níveis críticos encontrados na literatura (VAN GOOR, 1975). Dentre eles se destacaram o K, P e Zn, o que sugere um estudo econômico de viabilidade de novas adubações e correções do solo.

A Tabela 26 mostra os dados obtidos para análise química do solo na região. Através da tabela pode-se verificar um solo bastante pobre em nutrientes com baixos teores principalmente de carbono, fósforo e potássio. A pobreza de nutrientes no solo indica pouca disponibilidade para o sistema radicular afetando a absorção de nutriente e consequentemente a produtividade.

O pH do solo e os teores de alumínio estão dentro dos limites considerados normais para o bom desenvolvimento da espécie.

Através dos dados de incrementos anuais de massa e concentrações anuais de nutrientes foram construídas



**TABELA 24.** Teores de macro e micronutrientes encontrados nas acículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, no litoral norte da Bahia (idade: 8 anos).

Terço de coleta	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Al
	----- % -----						----- ppm -----					
Superior	1,34	0,05	0,32	0,67	0,15	0,09	99,60	5,0	16,75	11,20	19,60	461,71
Média	1,22	0,05	0,30	0,86	0,18	0,09	99,00	5,0	28,40	10,60	19,00	438,40
Inferior	1,15	0,05	0,36	0,86	0,17	0,09	124,2	5,0	23,00	11,20	23,40	348,20
Média	1,24	0,05	0,33	0,80	0,17	0,09	107,6	5,0	22,70	11,00	10,70	441,40
CV %	7,75	0,00	9,30	13,70	9,00	0,00	13,40	-	25,70	3,10	11,50	4,30

**TABELA 25.** Teores de macro e micronutrientes encontrados nas acículas de *Pinus ca ribaea* var. *hondurensis* no litoral norte da Bahia (idade: 8 anos).

Terço de coleta	%										ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Al		
Superior	1,44	0,05	0,35	0,46	0,20	0,09	70,75	5,0	27,33	13,09	19,50	500,75		
Média	1,28	0,05	0,35	0,49	0,17	0,09	128,25	5,0	17,20	19,40	19,40	483,60		
Inferior	1,29	0,05	0,40	0,65	0,19	0,09	130,75	5,0	37,60	10,40	22,40	554,60		
Média	1,34	0,05	0,37	0,53	0,19	0,09	109,92	5,0	27,4	11,33	20,47	512,98		
CV %	6,50		7,80	18,3	8,00	0,09	30,90	-	37,2	12,8	8,20	7,20		

TABELA 26. Análise química do solo a diferentes profundidades no litoral norte da Bahia.

Variedade	Profundidade da amostra	pH da água (1:2,5)	C %	P ppm	K ppm	Ca <sup>+</sup>	Mg meq/100 g	Al	H
<i>hondurensis</i>	30 cm	5,2	0,13	traços	10	0,48	0,16	traços	1,37
<i>hondurensis</i>	60 cm	5,4	traços	traços	7	0,32	0,16	0,19	1,22
<i>hondurensis</i>	90 cm	5,2	traços	traços	10	0,24	0,24	0,49	0,91
<i>caribaea</i>	30 cm	5,2	traços	traços	7	0,72	0,08	0,08	1,44
<i>caribaea</i>	60 cm	5,2	traços	traços	7	0,56	0,24	0,30	1,06
<i>caribaea</i>	90 cm	5,3	traços	traços	7	0,32	0,24	0,23	1,52

as Tabelas 27 e 28. Estas tabelas mostram os valores obtidos para extração anual de nutrientes em kg/ha. No primeiro ano de vida das árvores, embora a concentração de nutrientes seja relativamente mais alta, a quantidade de nutriente extraída é baixa, em razão do pequeno incremento anual de massa nesse ano. Pode-se observar também que de uma maneira geral a quantidade de nutrientes extraídos do solo pelas árvores aumentou com a idade acompanhando a curva de incremento anual de massa. As Figuras 37 a 46 ilustram essa variação e mostram ainda que para alguns nutrientes como o cálcio, magnésio, fósforo, nitrogênio, ferro e zinco que a maior extração foi registrada no 5º ano de vida da árvore, em razão do alto incremento anual de massa, associado à alta concentração de nutrientes registrada para estes elementos neste ano. Pode-se concluir então, que para a maioria dos nutrientes no quinto ano é que houve a maior retirada, causando maior empobrecimento do solo. Outros elementos como B e Cu tiveram uma maior taxa de extração no 8º ano.

Ainda através das Tabelas 27 e 28, pode-se verificar que os nutrientes mais exportados foram em ordem decrescente: N, Ca, K, Mg, P, Fe, Zn, B, Cu, Mn.

Esses aspectos são importantes no planejamento de suplementação de nutrientes, e permitem sugerir um estudo mais detalhado no sentido de melhorar a produtividade,

principalmente da variedade *hondurensis*, a partir de manejo do solo, tratos culturais e uso de fertilizantes.

**TABELA 27.** Nutrientes extraídos pela madeira sem casca em kg/ha, para *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Anos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1	0,820	0,040	0,282	0,502	0,199	0,0790	0,0032	0,0040	0,0034	0,0054
2	3,223	0,147	0,977	1,929	0,641	0,2288	0,0090	0,0127	0,0139	0,0176
3	4,544	0,204	1,392	2,668	0,751	0,0655	0,0117	0,0133	0,0225	0,0196
4	6,392	0,216	1,800	2,852	0,803	0,0949	0,0133	0,0152	0,0256	0,0221
5	7,213	0,275	2,186	3,193	0,882	0,3430	0,0215	0,0215	0,0308	0,0253
6	6,821	0,274	2,264	2,851	0,788	0,1018	0,0157	0,0129	0,0330	0,0212
7	6,120	0,288	2,241	2,276	0,713	0,0475	0,0243	0,0116	0,0334	0,0293
8	5,453	0,291	2,315	1,565	0,854	0,0107	0,0201	0,0094	0,0371	0,0291
<b>Total</b>	<b>40,587</b>	<b>1,735</b>	<b>13,457</b>	<b>17,836</b>	<b>5,631</b>	<b>0,9717</b>	<b>0,1019</b>	<b>0,1006</b>	<b>0,1997</b>	<b>0,1696</b>

**TABELA 28.** Nutrientes extraídos pela madeira sem casca em kg/ha, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Anos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1	1,232	0,100	0,465	0,681	0,208	0,0237	0,0043	0,0051	0,0112	0,0073
2	4,769	0,180	1,552	2,654	0,852	0,1884	0,0168	0,0203	0,0199	0,0231
3	6,607	0,186	2,009	3,232	0,980	0,1016	0,0186	0,0207	0,0153	0,0137
4	7,999	0,192	2,133	3,454	1,017	0,0570	0,0155	0,0223	0,0161	0,0149
5	8,336	0,208	2,279	3,953	0,993	0,1327	0,0174	0,0347	0,0342	0,0264
6	7,689	0,161	2,761	3,203	0,963	0,0548	0,0154	0,0181	0,0167	0,0140
7	6,919	0,149	3,059	2,483	0,861	0,0414	0,0176	0,0136	0,0170	0,0156
8	6,643	0,187	2,341	1,469	0,789	0,0701	0,0322	0,0202	0,0234	0,0343
Total	50,194	1,363	16,599	21,129	6,663	0,6697	0,1378	0,1550	0,1538	0,1493

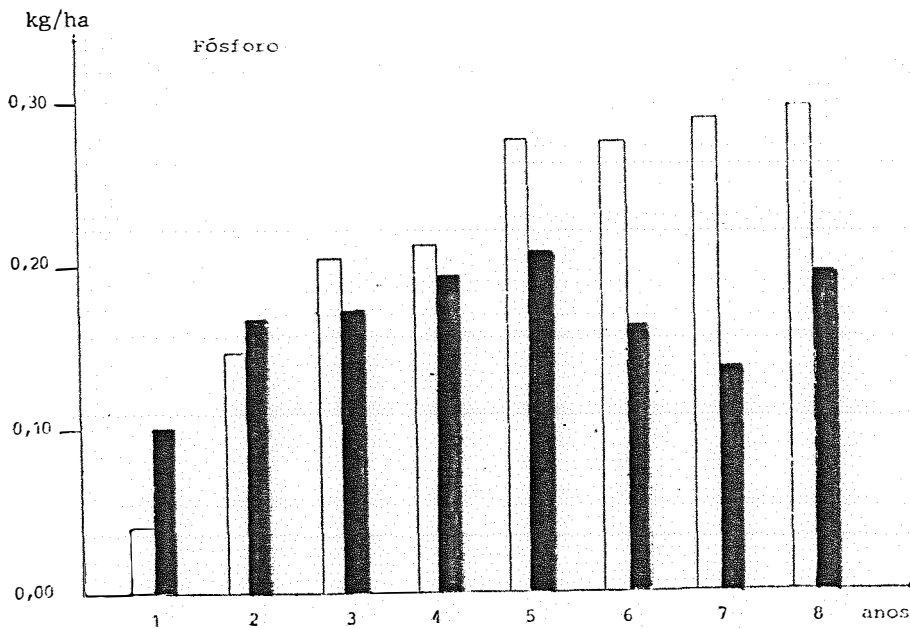


FIGURA 37. Valores obtidos para as extrações anuais de fósforo no lenho em kg/ha.

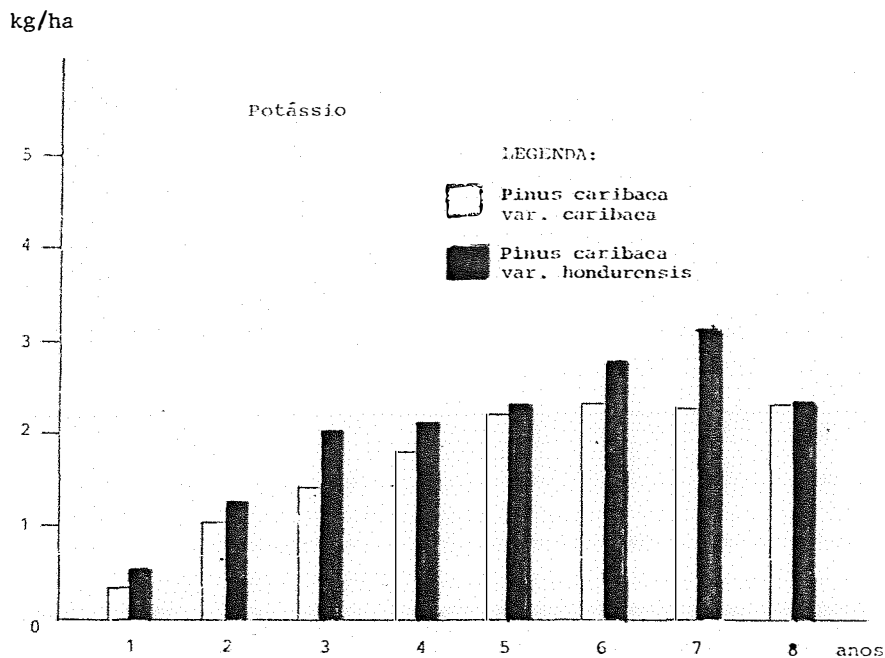


FIGURA 38. Valores obtidos para as extrações anuais de potássio no lenho em kg/ha.



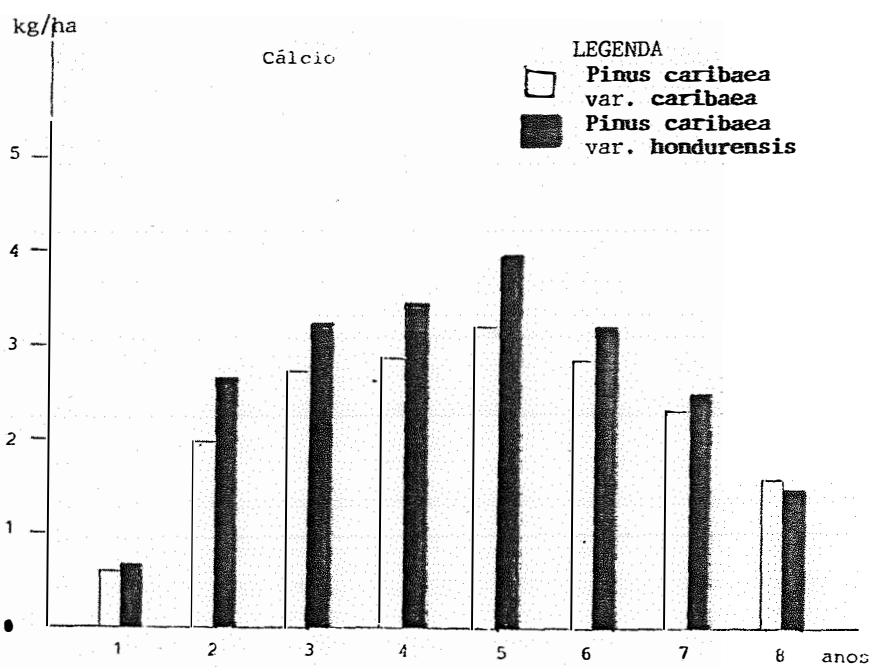


FIGURA 39. Valores obtidos para as extrações anuais de cálcio no lenho em kg/ha.

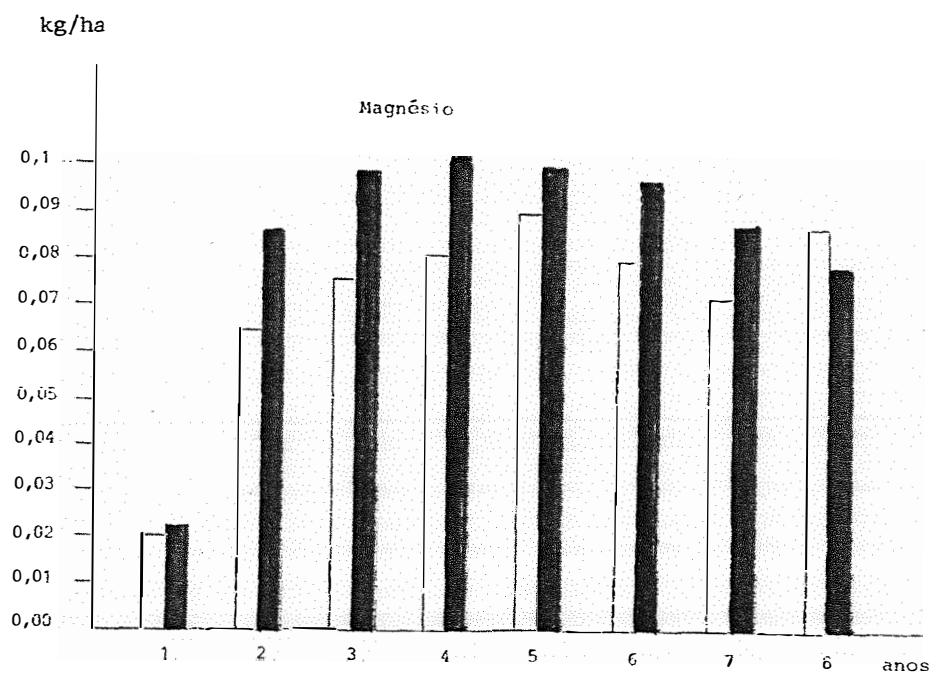


FIGURA 40. Valores obtidos para as extrações anuais de magnésio no lenho em kg/ha.

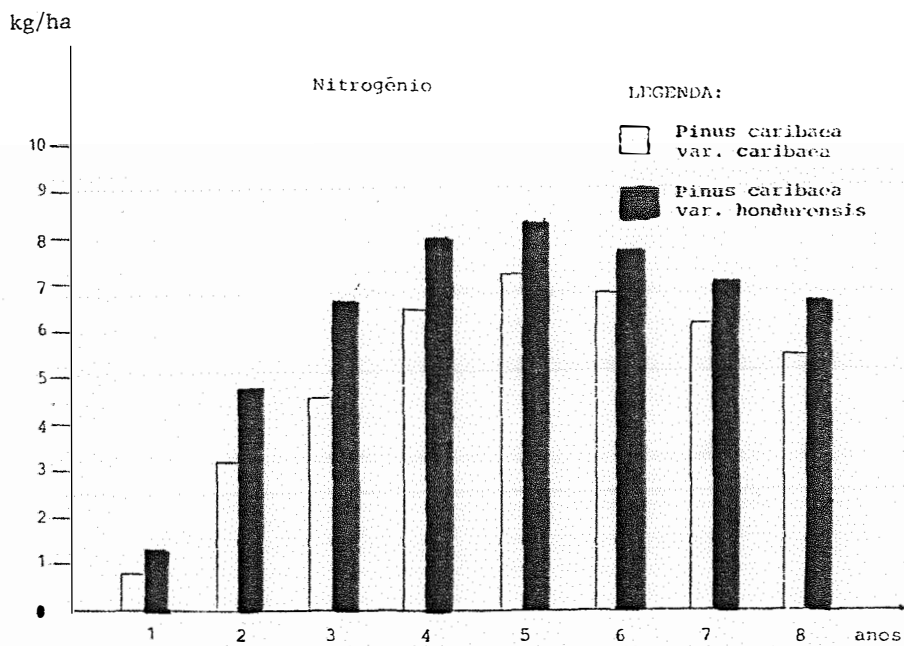


FIGURA 41. Valores obtidos para as extrações anuais de nitrogênio no lenho em kg/ha.

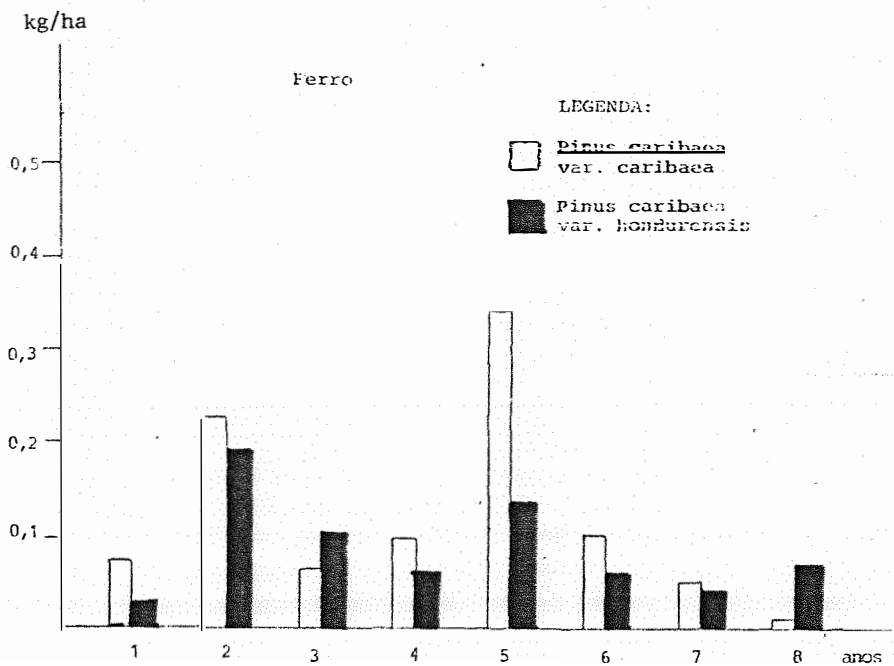


FIGURA 42. Valores obtidos para as extrações anuais de ferro no lenho em kg/ha.

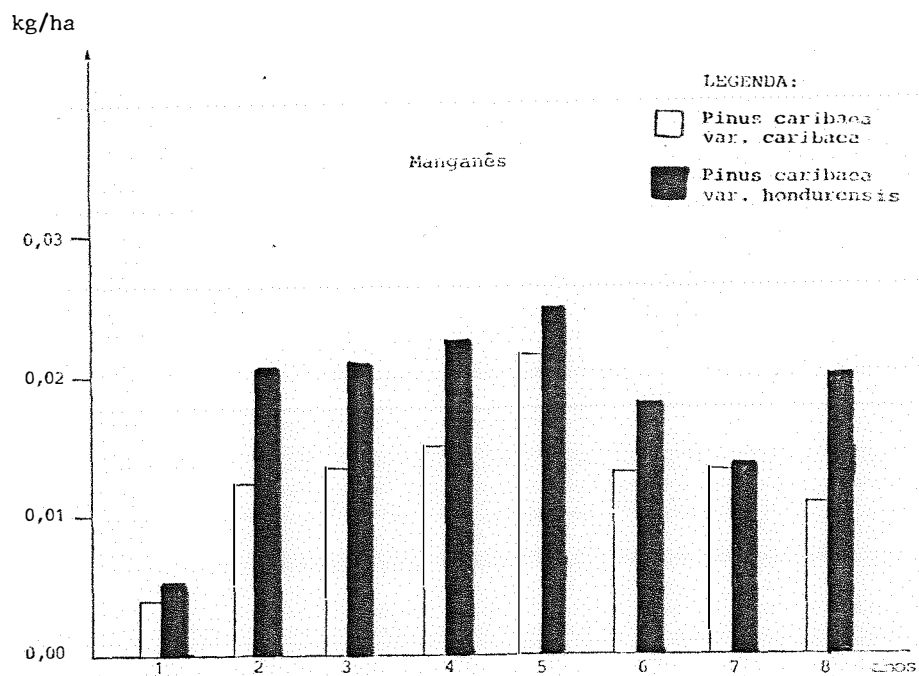


FIGURA 43. Valores obtidos para as extrações anuais de manganês no lenho em kg/ha.

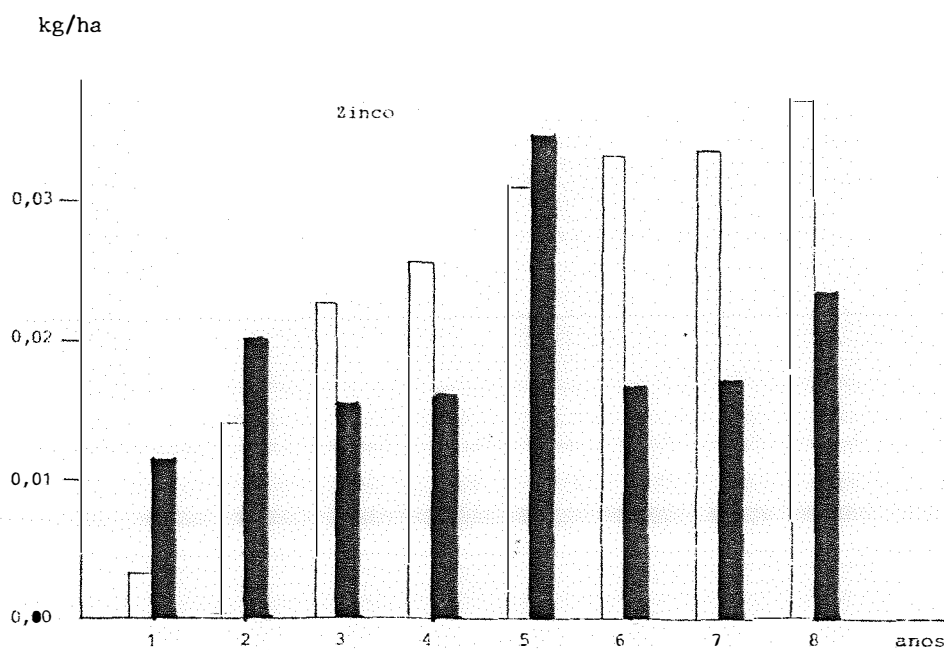


FIGURA 44. Valores obtidos para as extrações anuais de zinco no lenho em kg/ha.

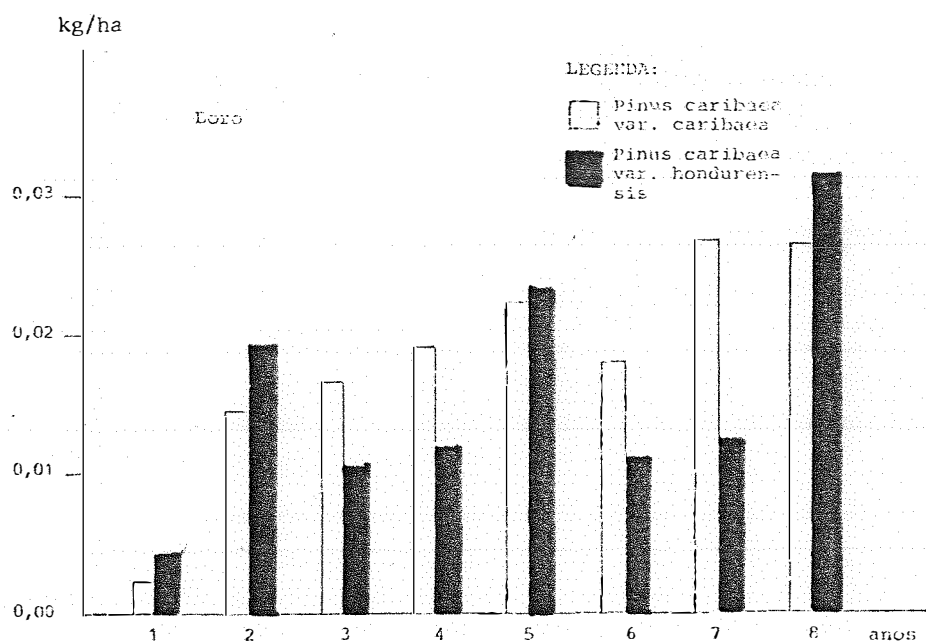


FIGURA 45. Valores obtidos para as extrações anuais de boro no lenho em kg/ha.

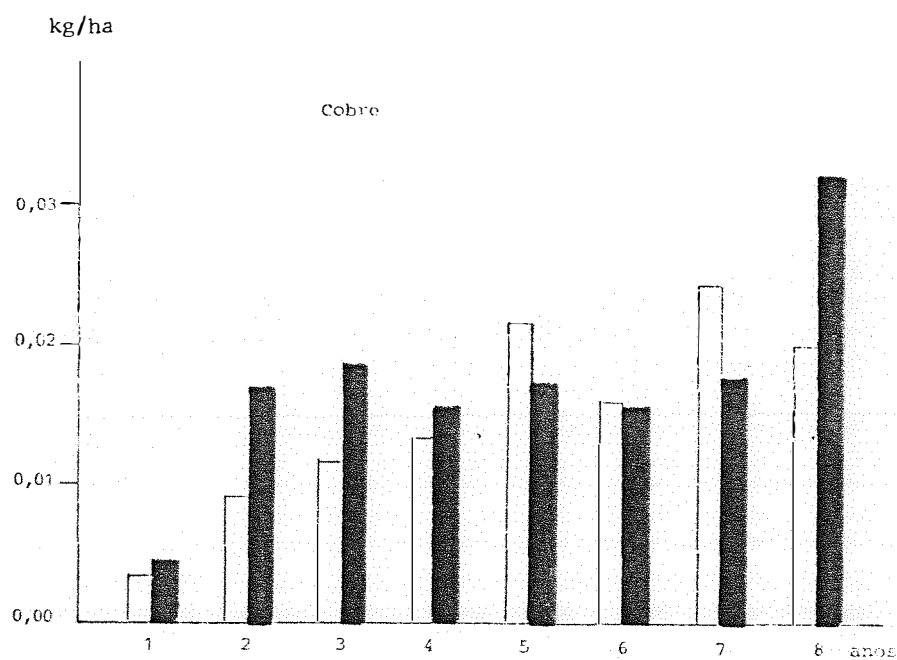


FIGURA 46. Valores obtidos para as extrações anuais de cobre no lenho em em kg/ha.

## 5. CONCLUSÕES

A variedade *hondurensis*, com uma produtividade média de 5,30 t/ha.ano ou 12,0 m<sup>3</sup>/ha.ano, apresenta-se como melhor opção para aquela região, onde predominam solos com baixa disponibilidade de nutrientes. A sua massa específica média de 0,449 g/cm<sup>3</sup>, embora levemente inferior àquela do *caribaea* que é de 0,476 g/cm<sup>3</sup>, cresce com a idade a uma taxa superior, 6,44% contra 6,03%. Isso significa que, para idades superiores a 8 anos, a massa específica média da *hondurensis* poderá superar a da *caribaea*.

A relação entre a matéria seca produzida e o consumo de nutrientes foi superior para a variedade *hondurensis*, com exceção do manganês, indicando ser essa variedade menos exigente do ponto de vista nutricional.

A produtividade da variedade *caribaea* foi inferior da *hondurensis* com valores de 4,1 t/ha.ano ou 9,1 m<sup>3</sup>/

ha.ano. A diferença percentual foi de 22,4% com relação à massa seca e de 24,6% com relação ao volume seco.

De uma maneira geral, para as duas variedades de *Pinus*, verificou-se uma concentração de nutrientes no lenho decrescente com a idade das árvores e as análises das acículas indicaram deficiência acentuada dos principais nutrientes.

No 5º ano de vida das árvores, aconteceu uma retirada maior de nutrientes do solo para os elementos Ca, Mg, P, N, Fe e Zn. Isto devido ao alto incremento anual de massa associado à alta concentração de nutrientes existente neste ano. Outros elementos como o B e Cu tiveram uma taxa de extração maior no 8º ano.

A concentração de nutrientes encontrada no lenho das árvores, de uma maneira geral, apresentou um decréscimo com o aumento dos incrementos anuais de massa, ou seja, a concentração de nutrientes obtida no lenho é inversamente proporcional à taxa de crescimento das árvores. Essa característica mostrou-se mais significativa para os elementos P e Mg.

A metodologia de análise dos anéis de crescimento mostrou-se prática, funcional e com vantagens em relação aos outros métodos, em face ao pequeno número de amostras necessárias, maior rapidez e a não utilização de árvores de diferentes idades.

Para as duas variedades de pinus, houve um decrêscimo da massa específica com a altura das árvores no sentido base-topo e um acrêscimo na direção radial no sentido medula-casca, até a idade de 8 anos.

Como resultado suplementar ao objetivo principal, encontrou-se uma forma de se obter matematicamente qualquer relação entre massa e volume da madeira, em função da sua umidade. Os resultados são gerais e valem para qualquer espécie. As equações permitem obter valores para densidade básica indiretamente a partir de dados de massa e volume a qualquer teor de umidade, evitando-se com isso as dificuldades que se tem quando se procura trabalhar com amostras completamente saturadas em água.

## 6. LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, W.V.; YOE, H.H.; TOBELEM, R.M.; PINTO, E.P.S.

Manual de laboratório de física. São Paulo, Mc Graw Hill, 1980. p. 129-130.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Método de ensaio para a determinação do poder calorífico em produtos líquidos de petróleo. Método da bomba calorimétrica. Rio de Janeiro, ABNT, 1968. p-MB-454.

BALLONI, E.A. O uso intensivo da floresta e seus reflexos na fertilidade do solo. Circular Técnica nº 45. IPEF, 17 p. 1979.



- BALLONI, E.A. Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Grisseb) Barret e Golfari em solo de cerrado do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 110 p. 1984. (Dissertação de Mestrado).
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. Correlação entre teor de lenho tardio e densidade básica para espécies do gênero *Pinus*. Piracicaba, 6 p. Circular Técnica do IPEF, 30, 1977.
- BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade. Piracicaba, ESALQ/USP, 129 p. 1980. (Dissertação de Mestrado).
- BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. & OLIVEIRA, G.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade. IPEF. Piracicaba, 20: 1-23. 1980.
- BRASIL, M.A.M.; MONTAGNA; COELHO, L.C.C. & VEIGA, R.A.R. 1982. Densidade básica da madeira de *Pinus elliotti* var. *elliotti*, em três regiões do Estado de São Paulo. Boletim Técnico IF, São Paulo, 36: 9-17.

- BRASIL Sobrinho et alii. Competição entre diferentes tipos de localização no plantio de *Eucalyptus saligna*. In: Conferência Mundial do Eucalipto, 2, São Paulo 1961. Relatório e documentos. São Paulo 1961. V 2. p. 919-32.
- BRITO, J.O. Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. Piracicaba, ESALQ/USP, 113 p. 1985. (Tese de doutoramento).
- BRITO, J.O.; FERRAZ, E.S.B.; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T. Z. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. IPEF, Piracicaba (32), Abril de 1986.
- BROWN, C.L. Physiology of wood formation in conifers. Wood Science, Madison, 3(1): 8-22. 1970.
- CASTRO, C.F.A.; POGGIANI, F & NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus occarpa* com diferentes idades. IPEF. Piracicaba, 20: 61-74.
- ELLIOT, G.K. Wood density in conifers. Oxford Commonwealth Agricultural Bureaux. IPEF, 1970. 44 p.
- FERRAZ, E.S.B. Determinação da densidade da madeira por atenuação da radiação gama de baixa energia. Boletim IPEF, Piracicaba, 12: 61-68. 1976.

- FERRAZ, E.S.B. & FONSECA, S.M. Estudo do padrão de crescimento dos anéis usando radiação gama. Circular Técnica IPEF, Piracicaba (113): 1-7, 1980.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, ESALQ/USP. 72 p. 1968. (Tese de Doutorado).
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, ESALQ/USP. 62 p. 1970. (Tese de Livre-Docência).
- FIELDING, J.M. The influence of silvicultural practices on wood properties. Review of Forestry Research. New York, Academic Press. 316 p. 1967.
- FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A.; DIAS, C.; SILVA, R.M.R.; SCHIMIDT, C. & FEZ, J.B.V. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. Silvicultura, São Paulo, 1983. 8: 782-791.
- HAAG, H.P. et alii. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus* e *raucaria* e *Gmelina* no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 101 p.
- HARRIS, J.M.. The use of beta rays in determining wood properties - Part 2 - Measuring earlywood and latewood. New Zealand Journal of Sciences, New Zeland, 12(2): 409-418. 1969.

- IPEF, 1976. Curso de treinamento e atualização em experimentação. Circular IPEF, Piracicaba (23): 26-30.
- KOLLMANN, F.F.P. & COTÉ Jr. W.A. Principles of wood science and technology. New York, Springer-Verlag. v. 1. 1968.
- LADRACH, W.E. Calidade de madeira de Pinus. Cali, Patula Scht. et Cham. Calli Celulosa y Papel de Colômbia, 1984. 16 p. (Informe de Investigacion 92).
- LARSON, P.R. Effect of environments on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. Yale University School of Forestry Bulletin, 63: 1-89.
- LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliotti* var. *elliotti* em um Latossolo Vermelho Escuro na região de Agudos, SP. IPEF, Piracicaba, 27: 41-47, 1984.
- MACEDO, H. Dicionário de física. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1976. 367 p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MELLO, H. do A. Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo com *Eucalyptus saligna*. Piracicaba, ESALQ/USP, 180 p. 1968. (Tese-Cátedra).

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. Aptidão agrícola das terras da Bahia. Brasília, BINAGRI, 1979. 140 p.
- NICHOLLS, J.W.P. The effect of environmental factors on wood characteristics. Silvaea Genetica, Frankfurt, 20 (3): 67-73. 1971.
- ORMAN, H.R. & WILL, C.M., 1960. The nutrient content of Pinus radiata trees. N.Z.J. Sci, 3: 510-522.
- PANSHIN, A.J. & DE ZEEW, C. Textbook of wood technology. New York, Mc Graw-Hill, 1970. 105 p.
- POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações silviculturais. Piracicaba, ESALQ/USP, 211 p. 1985. (Tese de Livre-docência).
- REZENDE, M.A. Uso de técnica de atenuação da radiação gama no estudo da biomassa de Eucalyptus grandis. Piracicaba, ESALQ/USP, 1984. 75 p. (Dissertação de Mestrado).
- REZENDE, M.A. & FERRAZ, E.S.B. Densidade anual da madeira de Eucalyptus grandis. IPEF, Piracicaba, 30: 37.41, 1985.
- SIMÕES, J.W. et alii. Adubação acelera o desenvolvimento inicial de plantações de Pinus caribaea var. hondurensis. IPEF. Piracicaba 1: 59-80, 1970.

SIMÕES, J.W. et alii. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília, IBDF, 1981, 131 p.

SOUZA, R.V.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. IPEF, Piracicaba, 1986, 33: 65-72.

SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Maintenance of productivity under short rotations. In: FAO-IUFRO International Symp. Forest Fertilization. Paris, 1973. p. 365-389.

TROVATTI, L.R. & FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. IPEF, Piracicaba (26): 31-36, 1984.

VAN GOOR, C.P. Reflorestamento com coníferas no Brasil. Aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*. Ministério da Agricultura, D.R.N.R., Div. Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais, Bol. nº 9. 1965.

VAN GOOR, C.P. Crescimento de *Pinus* - unidades ecológicas florestais e pesquisa florestal. Bol. Téc. IF. São Paulo, 1975. 14: 1-50.

WILLIAMS, R.F. & HAMILTON, J.R. The effect of fertilization on four wood properties of slash pine. J. Forestry, 59 (9): 662-5. Apurado do Forestry abstr. 23: 2728-1962.

ZAGATO, E.A.G. et alii. Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção em fluxo. Piracicaba, CENA-USP, 1981. 45 p.

APÉNDICE I



### EA1.1 - Relação entre densidade a 0% e densidade básica

A densidade a 0% e a densidade básica são definidas pelas relações:

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \dots \dots \dots (1)$$

$$\rho_b = \frac{m_o}{V_v} \dots \dots \dots (2)$$

sendo  $\rho_o$  = densidade a 0%

$m_o, v_o$  = massa e volume de madeira seca em estufa a  $103 \pm 5^\circ\text{C}$

$\rho_b$  = densidade básica

$V_v$  = volume de madeira saturada em água

Nas equações (1) e (2), geralmente o denominador aparece multiplicado por  $\rho_w$  que é a densidade da água pura ( $1,0 \text{ g/cm}^3$ ) a  $4^\circ\text{C}$  tornando  $\rho_o$  e  $\rho_b$  grandezas adimensionais. Para facilitar o desenvolvimento das equações neste trabalho o símbolo  $\rho_w$  foi omitido, já que não alteraria os valores numéricos.

O volume  $V_o$  pode ser dado por:

$$V_o = V_v - \Delta V \dots \dots \dots (3)$$

Sendo  $\Delta V$  a variação volumétrica total desde a amostra perfeitamente saturada até sua secagem completa.

A retratibilidade volumétrica total é dada pela relação:

$$R_v = \frac{V_v - V_o}{V_v} \cdot 100 \dots \dots \dots (4)$$

Sendo:  $R_v$  = retratibilidade volumétrica total

De (3) e (4):

$$R_v = \frac{\Delta V}{V_v} \cdot 100 \dots \dots \dots (5)$$

ou

$$\Delta V = \frac{R_v \cdot V_v}{100} \dots \dots \dots (6)$$

Substituindo (6) em (3):

$$V_o = \frac{R_v \cdot V_v}{100} \dots \dots \dots (7)$$

ou

$$V_O = V_V \left(1 - \frac{R_V}{100}\right) \dots \dots \dots (8)$$

Substituindo (8) em (1):

$$\rho_O = \frac{m_O}{V_V \left(1 - \frac{R_V}{100}\right)} \dots \dots \dots (9)$$

e como:

$$\frac{m_O}{V_V} = \rho_b$$

tem-se que:  $\rho_O = \frac{\rho_b}{1 - \frac{R_V}{100}} \dots \dots \dots (10)$

A equação (10) relaciona densidade a 0% com a densidade básica através da retratividade total  $R_V$ .

Newlin (1919) citado por KOLLMAN & COTÉ (1968) encontrou uma equação experimental relacionando a retratibilidade volumétrica com a densidade básica, independente da espécie de madeira. Esta equação é a seguinte:

$$R_V = 28 \rho_b \dots \dots \dots (11)$$

Substituindo-se (11) em (10) obtêm-se

$$\rho_o = \frac{\rho_o}{1 - 0,28 \rho_o} \dots \dots \dots (12)$$

$$\rho_o = \frac{\rho_o}{1 + 0,28 \rho_o} \dots \dots \dots (13)$$

As equações (12) e (13) relacionam densidade a 0% com a densidade básica e vice-versa. Deve-se observar que estas foram obtidas a partir de uma relação experimental, e a precisão dos resultados obtidos dependem exclusivamente desta relação empírica.

A1.2- Relação entre densidade a 0% e densidade aparente para umidades inferiores a 25%

A massa seca, obtida para U = 0 pode ser dada por:

$$m_o = m_{ap} - m_a \dots \dots \dots (14)$$

sendo:

$m_o$  = massa seca em estufa

$m_{ap}$  = massa aparente (madeira + água) obtida a uma certa umidade (U).

$m_a$  = massa de água na madeira.

A umidade é definida por:

$$U = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 = \frac{m_a}{m_o} \cdot 100 \dots \dots (15)$$

sendo:  $m_u$  a massa de madeira a uma dada umidade U.

Explicitando  $m_a$  na equação (15) tem-se:

$$m_a = \frac{U \cdot m_o}{100} \dots \dots \dots (16)$$

Substituindo-se 16 na equação 14 obtem-se:

$$m_o = m_{ap} - U \frac{m_o}{100} \dots \dots \dots (17)$$

ou

$$m_{ap} = \frac{U \cdot m_o}{100} + m_o \dots \dots \dots (18)$$

Explicitando  $m_o$  tem-se que:

$$m_o = \frac{m_{ap}}{\frac{U}{100} + 1} \dots \dots \dots (19)$$

Esta equação transforma massa a uma determinada unidade U em massa seca (estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) e é bastante comum na literatura.

Para a transformação de volume a uma unidade ( $V_{ap}$ ) em volume de matéria seca, deve-se levar em conta a retratibilidade volumétrica. De acordo com as figuras A1 e A2, a curva de retratibilidade pode ser considerada de forma linear para umidades abaixo de 25%. No entanto, até 25%, tem-se somente uma porcentagem de 75% da retratibilidade volumétrica total. Portanto, esta correção também deve ser feita. Dessa forma, pode-se escrever:

$$R_{25} = R_V \cdot 0,75 \dots \dots \dots (20)$$

sendo  $R_{25\%}$  = retratibilidade volumétrica encontrada a (25) a zero de umidade;

$R_V$  = retratibilidade volumétrica total.

Deve-se ressaltar que a equação (20) foi obtida experimentalmente através das figuras A1 e A2. Entretanto este mesmo resultado foi apresentado por Morath (1932) citado por KOLLMANN (1968), considerando o processo inverso correspondente à expansão volumétrica. Para efeito prático o processo pode ser considerado reversível e a histerese pode

ser considerada neste caso, desprezível.

O volume  $V_o$  pode ser dado pela relação:

$$V_o = V_{ap} - \frac{R_{25}}{100} \frac{U \cdot V_{ap}}{100} \dots \dots \dots (21)$$

Sendo:  $V_{ap}$  = volume aparente (madeira + água + ar)

$V_o$  = volume de madeira seca em estufa a  $100 \pm 3^\circ C$

Substituindo (20) em (21)

$$V_o = V_{ap} - \frac{R_v \cdot 0,75}{25} \cdot \frac{U \cdot V_{ap}}{100} \dots \dots \dots (22)$$

ou

$$V_o = V_{ap} (1 - 3R_v \cdot U \times 10^{-4}) \dots \dots \dots (23)$$

Substituindo (19) e (23) na equação 1

$$\rho_o = \frac{m_{ap}}{V_{ap} \left( \frac{U}{100} + 1 \right) (1 - 3R_v U \times 10^{-4})} \dots \dots (24)$$

A densidade aparente é dada por:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ap}}{V_{ap}} \dots \dots \dots (25)$$

Substituindo (11) e (25) e (13) em (24):

$$\rho_o = \frac{\rho_{ap}}{\left(\frac{U}{100} + 1\right) \left(1 - 3 \cdot 0,28 \cdot U \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\rho_o}{(1 + 0,28 \rho_o)}\right)} \quad (26)$$

$$\rho_{ap} = \rho_o \cdot \left(\frac{U}{100} + 1\right) \left| 1 - \frac{3 \cdot 0,28 \cdot U \cdot 10^{-2} \cdot \rho_o}{(1 + 0,28 \rho_o)} \right| \quad (27)$$

Ou ainda:

$$\rho_{ap} = \rho_o (0,01U + 1) \left| 1 - \frac{8,4 \times 10^{-3} \cdot U \cdot \rho_o}{1 + 0,28 \rho_o} \right| \quad (28)$$

A equação (28) relaciona a densidade aparente com a densidade a 0% para umidades variando de 0 a 25%.

### A1.3- Relação entre: densidade a 0% e densidade aparente para umidade variando de 25 a 90%

De acordo com a curva experimental da retratibilidade em função da umidade, pode-se considerar duas retas: uma até 25% de umidade e outra de 25% a 90%.

No intervalo de 25% a 90% de umidade, o volume



de madeira seca em estufa ( $U = 0$ ), pode ser dado por:

$$V_o = v_{ap} - \left| \frac{0,75R}{100} + \frac{0,25R}{(90-25)} + \frac{(U-25)}{100} \right| v_{ap} \dots \dots \dots (29)$$

Substituindo (11) na equação (29):

$$V_o = v_{ap} - \left| \frac{0,75 \cdot 28 \rho_b}{100} + \frac{0,25 \cdot 28 \rho_b}{65} + \frac{(U-25)}{100} \right| v_{ap} \dots \dots \dots (30)$$

$$V_o = v_{ap} \left| 1 - 0,21 \rho_b + 1,08 \times 10^{-5} \rho_b (U - 25) \right| \dots \dots \dots (31)$$

ou

$$v_{ap} = \frac{V_o}{1 - \rho_b \left| 0,21 + 1,08 \times 10^{-5} (U - 25) \right|} \dots \dots \dots (32)$$

Substituindo (13) em (32) obtêm-se

$$v_{ap} = \frac{V_o}{1 - \frac{\rho_o}{1+0,28 \rho_o} \left| 0,21 + 1,08 \times 10^{-5} (U - 25) \right|} \dots \dots \dots (33)$$

Substituindo (19) e (33) em (25)

$$\rho_{ap} = \rho_o (0,01U + 1) \left| 1 - \frac{\rho_o (0,21 + 1,08 \times 10^{-5} (U - 25))}{1 + 0,28 \rho_o} \right| \dots \dots \dots (34)$$

A equação 34 relaciona a densidade aparente com a densidade a 0% no intervalo de 25% a 90% de umidade.

**A1.4- Relação entre densidade a 0% e densidade aparente para umidade acima de 90%**

O volume de matéria seca é dado por:

$$V_o = V_v - \frac{R_v}{100} \cdot V_{ap} \dots \dots \dots (35)$$

Considerando que acima de 90% não existe nenhuma alteração no volume com a variação do teor de água, tem-se que:

$$V_{ap} = V_v \text{ (para } U > 90\%) \dots \dots \dots (36)$$

Substituindo (11) e (36) em (35)

$$V_o = V_{ap} (1 - 0,28 \rho_b) \dots \dots \dots (37)$$

Substituindo (19) e (37) na equação (1):

$$\rho_o = \frac{m_{ap}}{(0,01 U + 1) V_{ap} (1 - 0,28 \rho_b)} \dots \dots \dots (38)$$

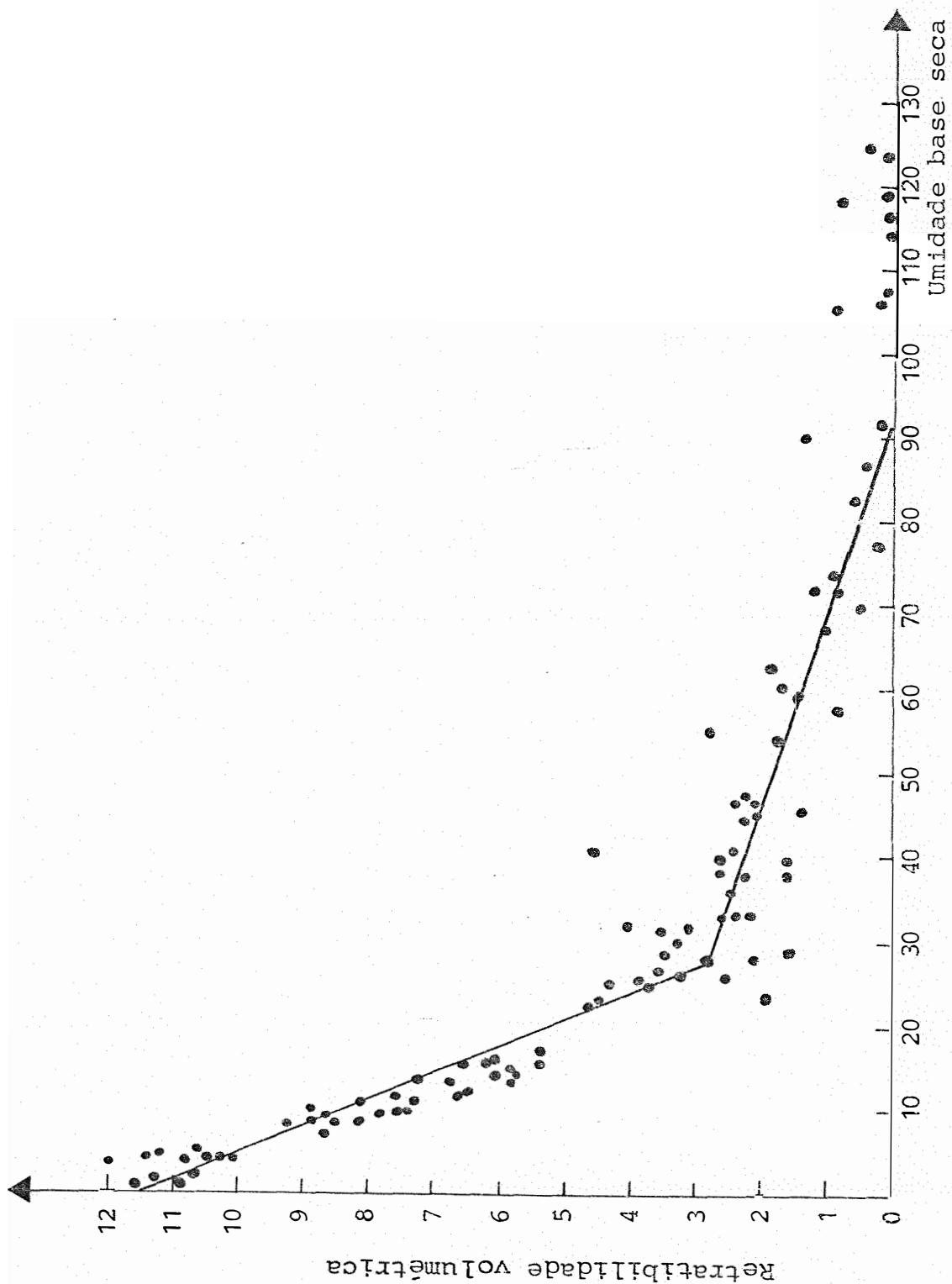
Substituindo (13) e (25) na equação (38):

$$\rho_o = \frac{\rho_{ap}}{(0,01U + 1) \left(1 - 0,28 \cdot \frac{\rho_o}{1 + 0,28 \rho_o}\right)} \dots \dots \dots (39)$$

ou

$$\rho_{ap} = \rho_o (0,01U + 1) \left(1 - \frac{0,28 \rho_o}{1 + 0,028 \rho_o}\right) \dots \dots \dots (40)$$

A equação (40) relaciona a densidade aparente com a densidade a 0% para umidades acima de 90%.



**FIGURA A1.** Curva de retratibilidade volumétrica em função da umidade da madeira, obtida experimentalmente com amostras de *Eucalyptus* (2x 2x3 cm).

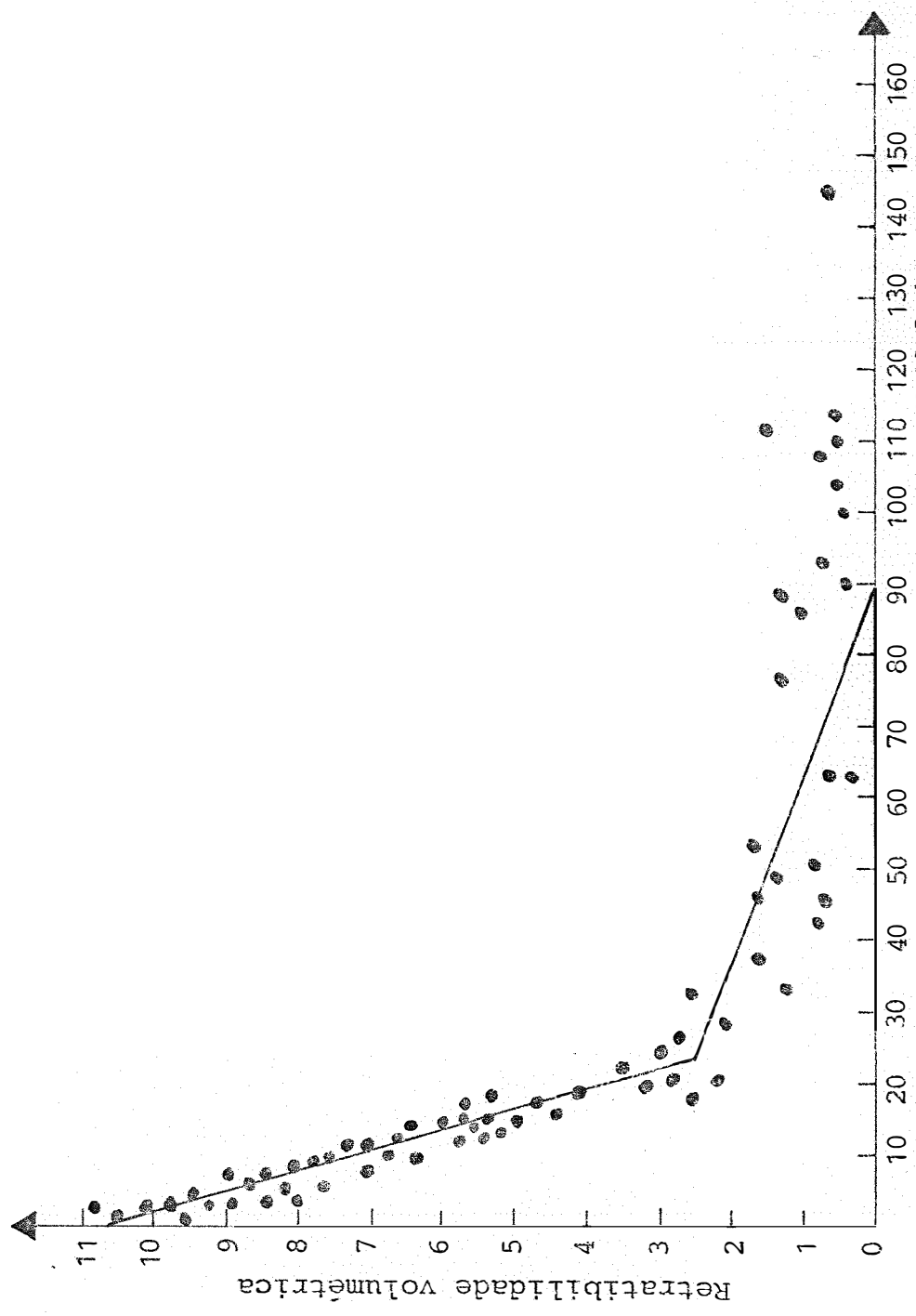
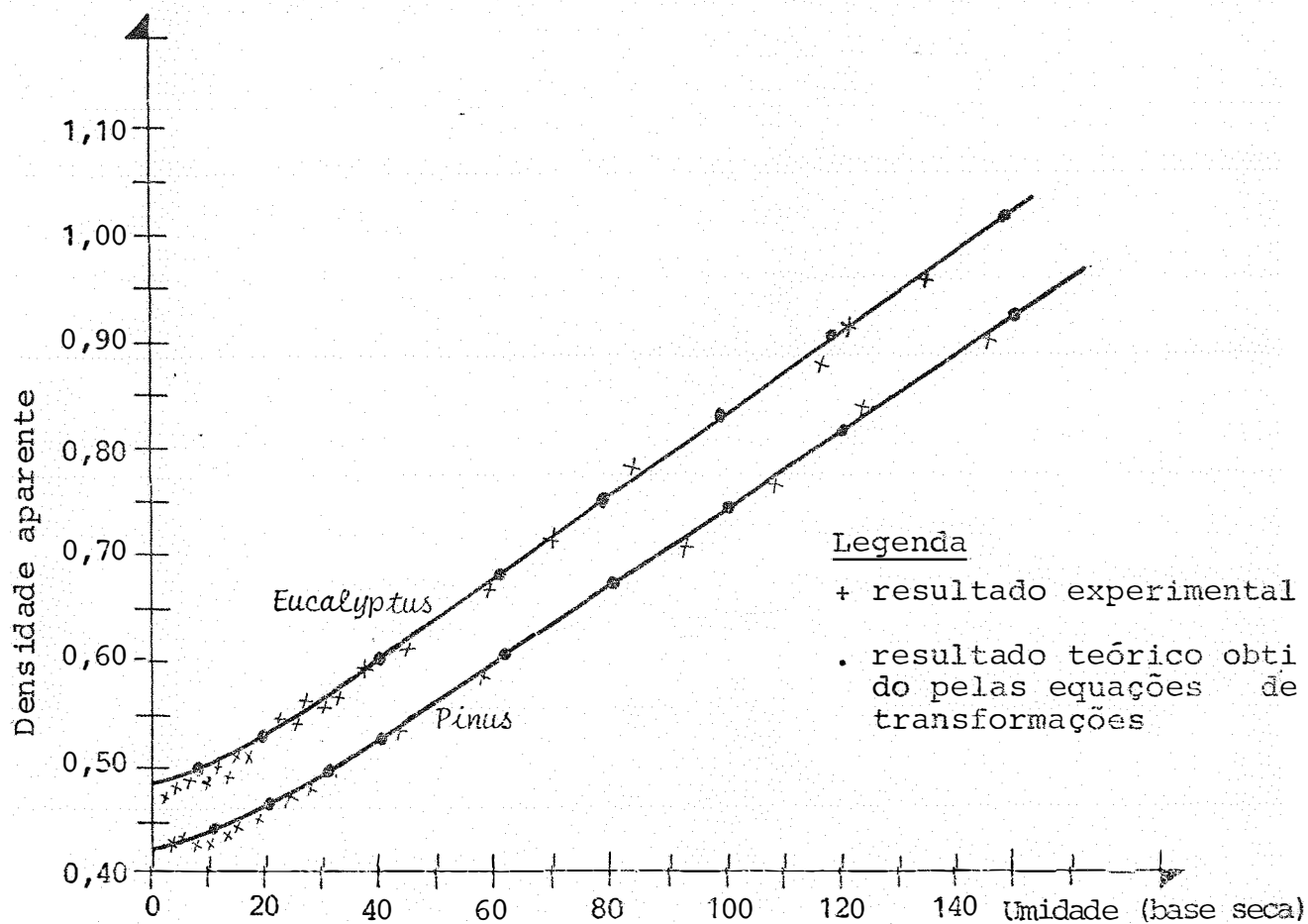
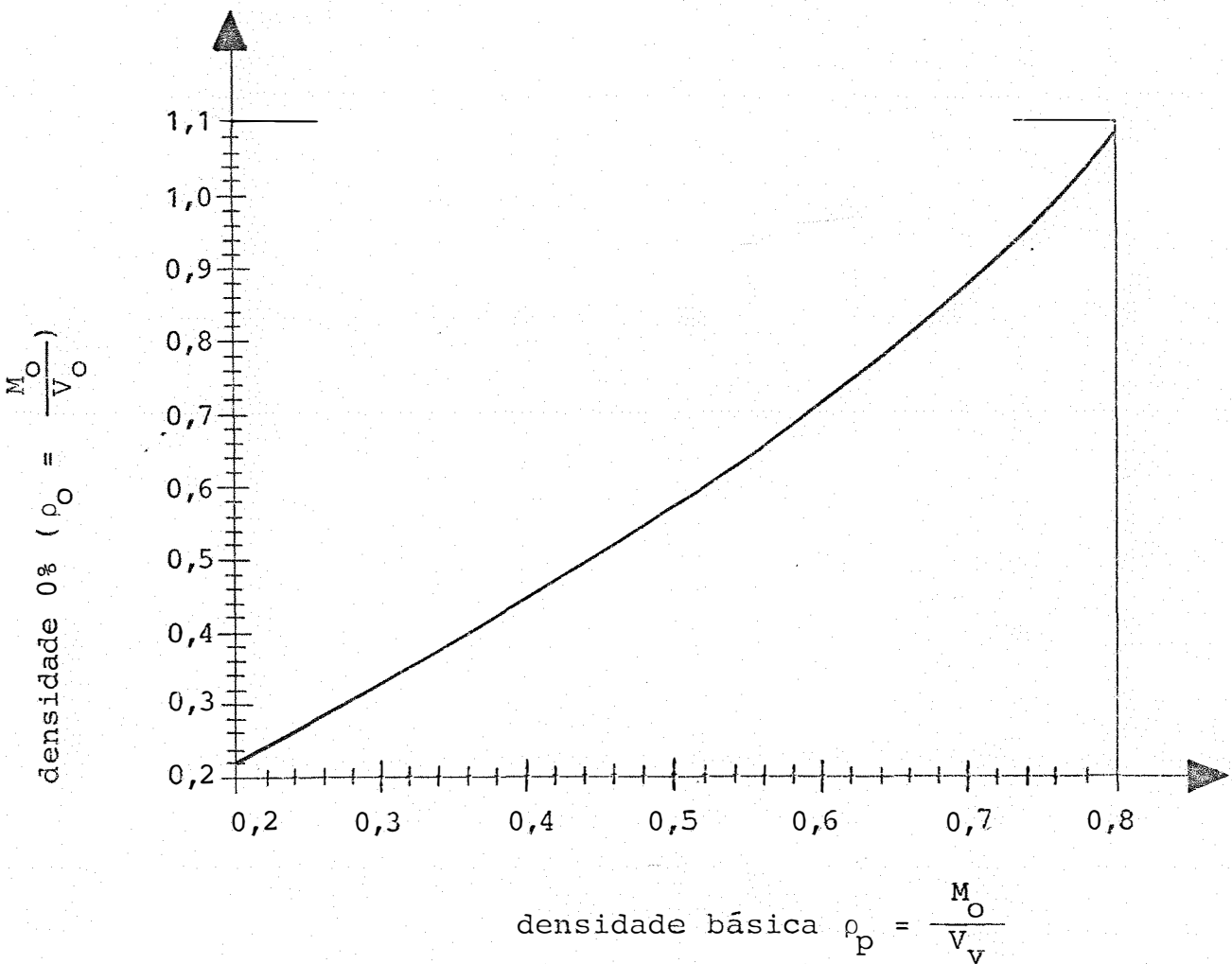


FIGURA A2. Curva de retratibilidade volumétrica em função da unidade da madeira, obtida experimentalmente em *Pinus* (2x2x3 cm).



**FIGURA A3.** Comprovação experimental dos resultados obtidos para amostras de *Pinus* e *Eucalyptus* através das equações de transformações, para densidade aparente em função da umidade.



**FIGURA A4.** Curva correspondente à conversão entre densidade básica e densidade a 0% obtidas através da equação (12 ).

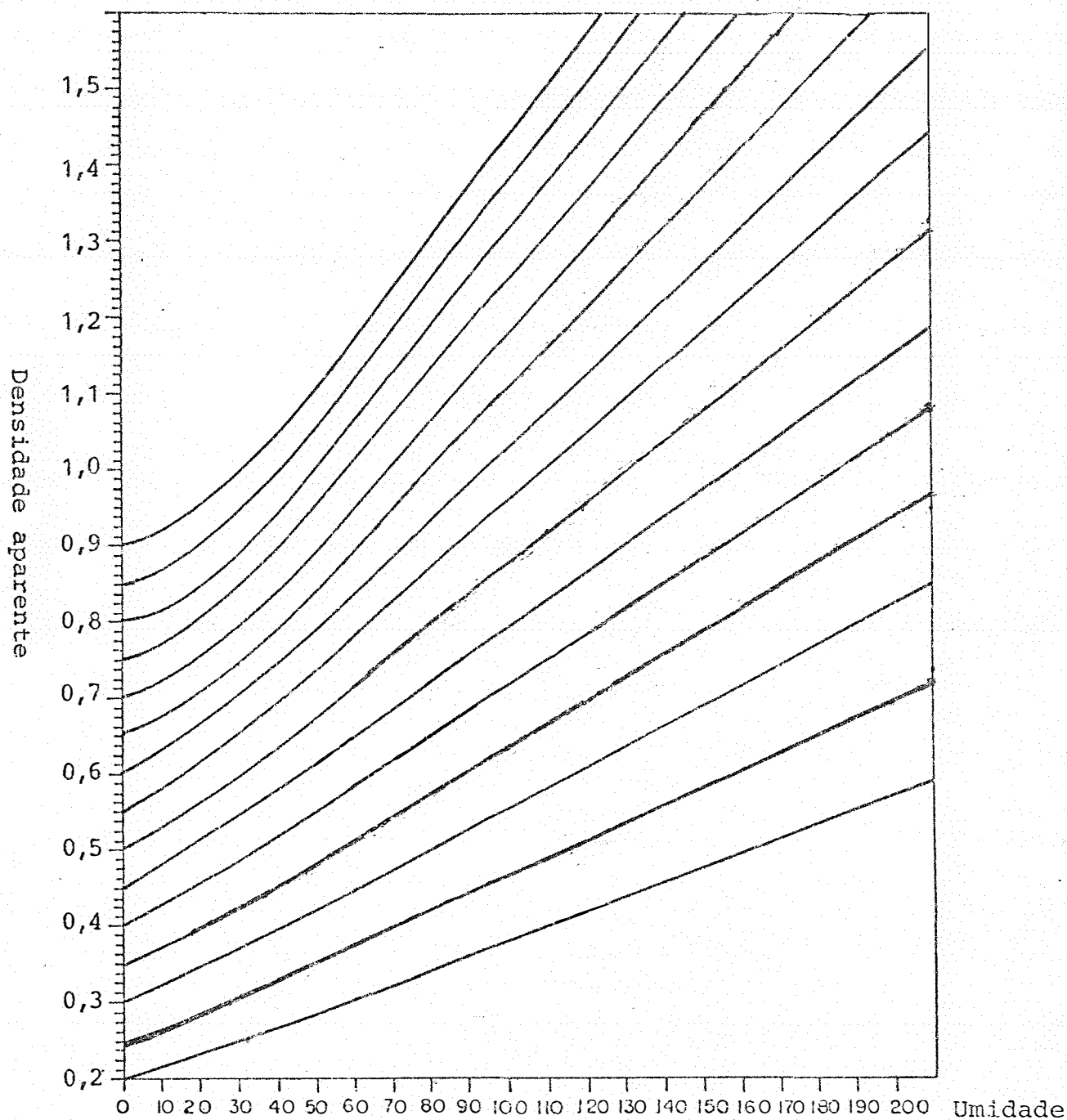
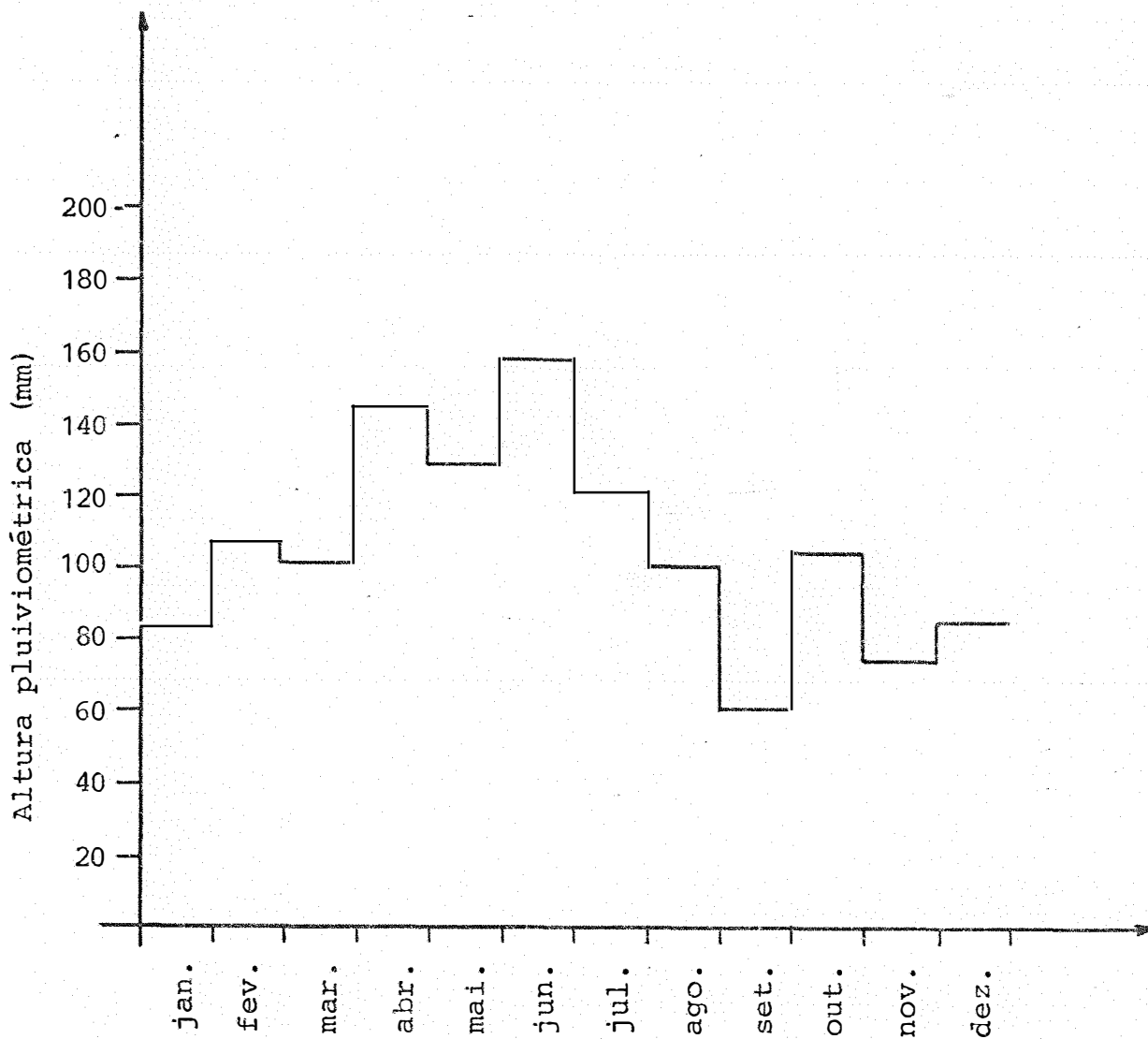


FIGURA 5. Variação da densidade aparente da madeira com a umidade (base seca). Resultados obtidos através das equações de transformações (28, 34, 40).

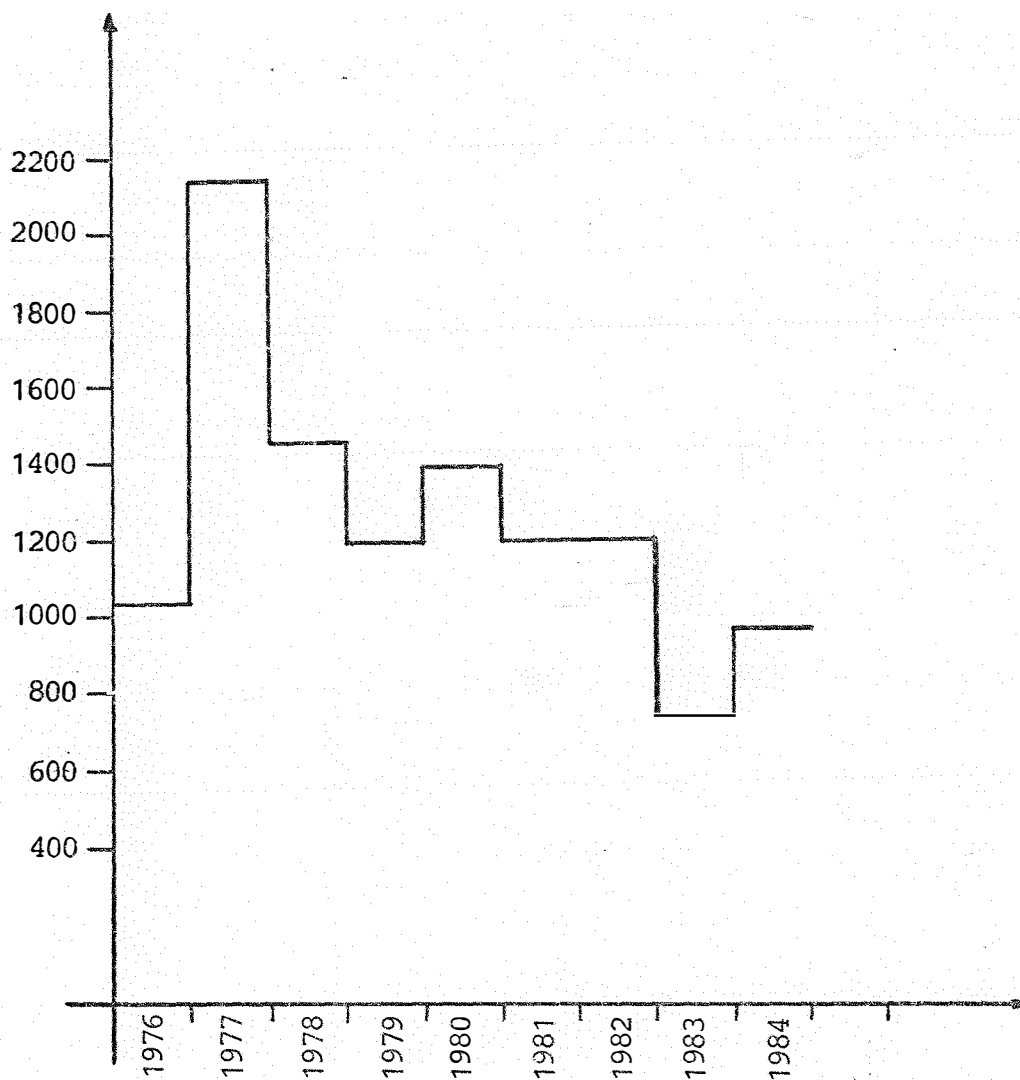


**APÉNDICE 2**

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

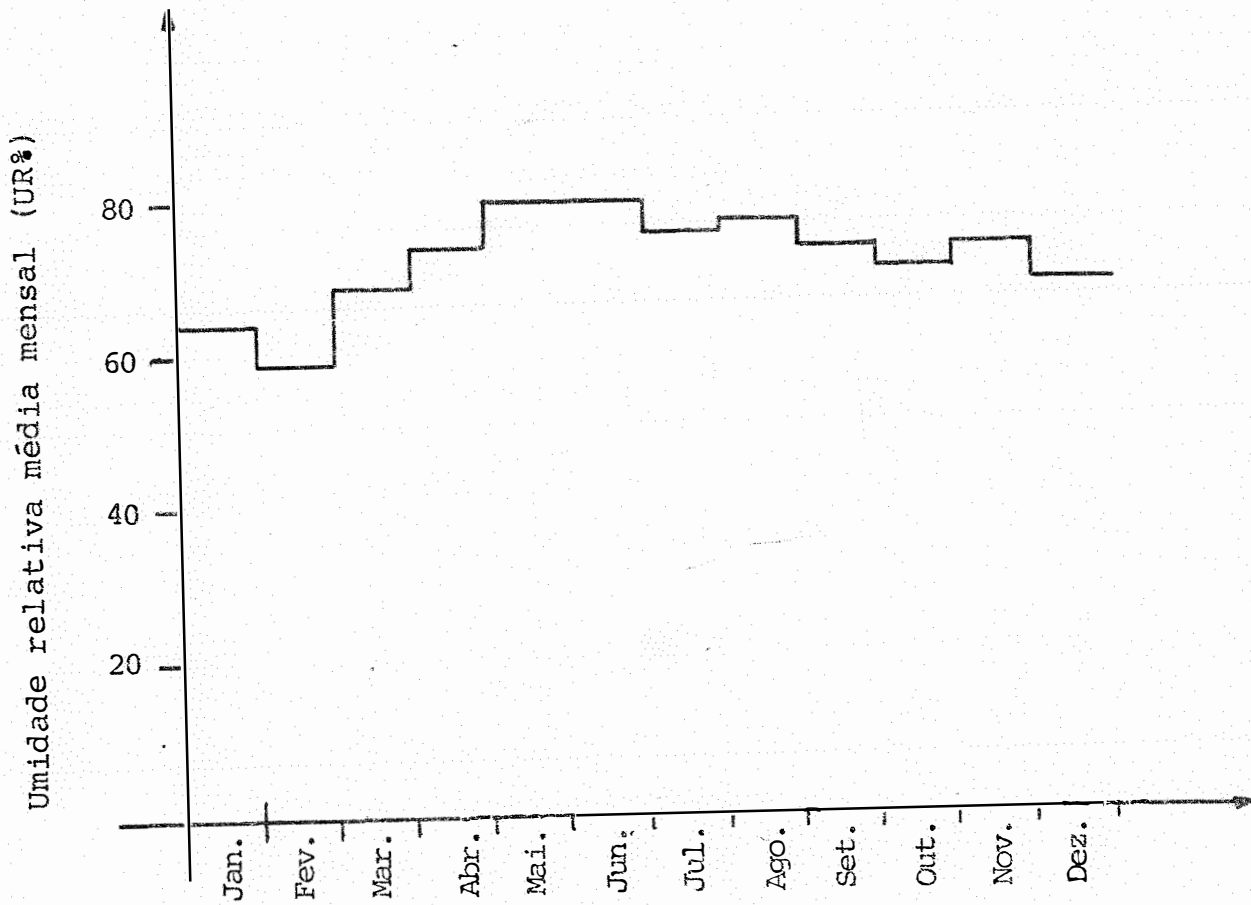


**FIGURA** A6. Precipitação média mensal 1976 a 1984 . Dados coletados na fazenda experimental de Explanada (Latitude 11°47' Sul, Longitude 48°25') Estado da Bahia.

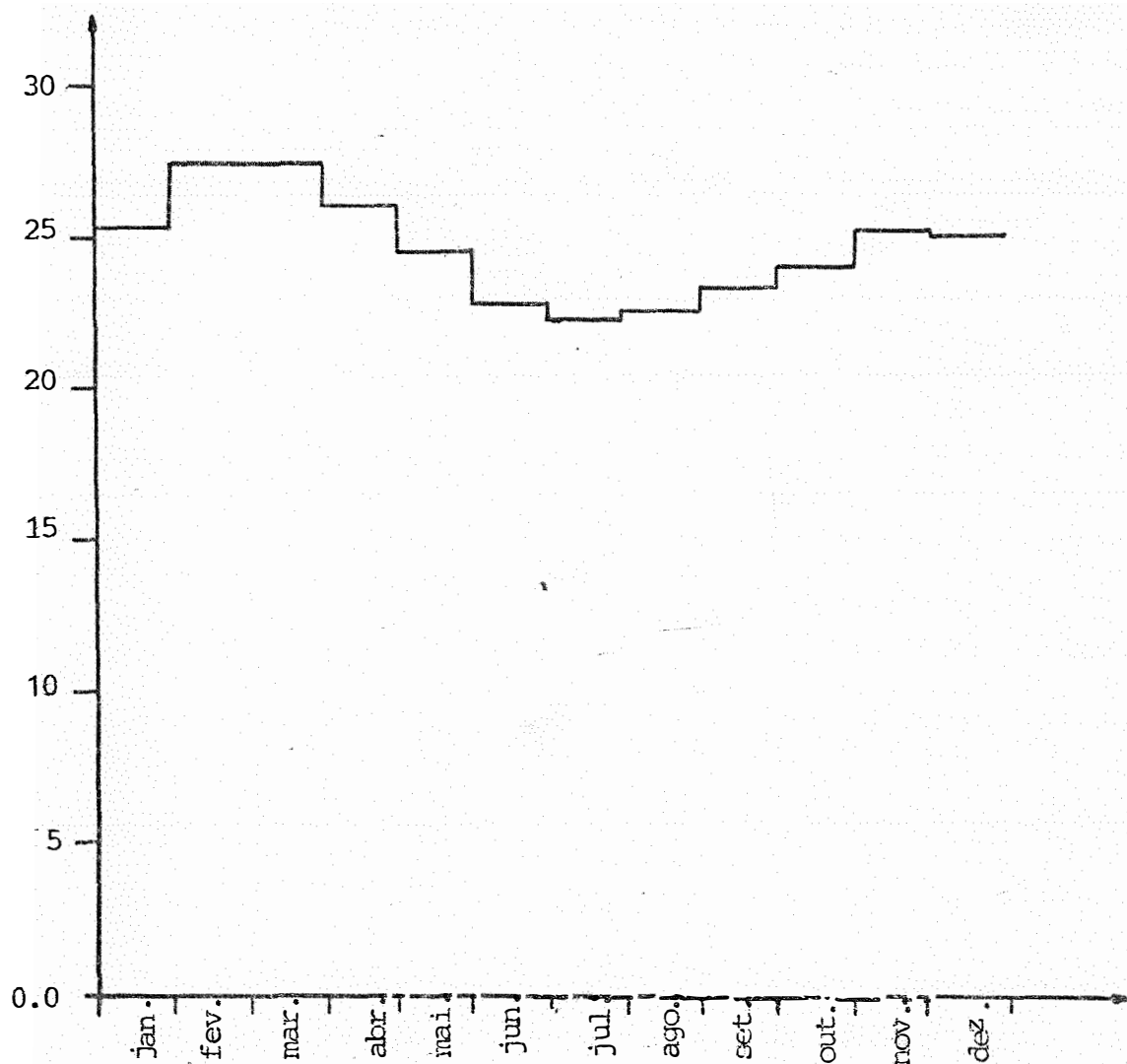


**FIGURA A7.** Precipitação média anual de 1976 a 1984, (Bahia).

Dados coletados na fazenda experimental de Explana-  
nada.



**FIGURA A8.** Umidade relativa média mensal (UR%), (Bahia). Dados coletados na fazenda experimental de Explana-da, no ano de 1984.



**FIGURA A9.** Temperatura média mensal (°C), (Bahia). Dados coletados na fazenda experimental de Explanada, no ano de 1984.