

# O REGIME DA ÁGUA DO SOLO SOB FLORESTAS DE PINHEIROS TROPICAIS E SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO

**WALTER DE PAULA LIMA**

Professor Assistente - Doutor  
Departamento de Silvicultura  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Universidade de São Paulo

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Livre Docente.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Setembro, 1979

# O REGIME DA ÁGUA DO SOLO SOB FLORESTAS DE PINHEIROS TROPICAIS E SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO

**WALTER DE PAULA LIMA**

Professor Assistente - Doutor  
Departamento de Silvicultura  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Universidade de São Paulo

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Livre Docente.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Setembro, 1979

A

Paula Lima

## AGRADECIMENTOS

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE), pelo apoio financeiro ao trabalho experimental, através do projeto "Pesquisa Tecnológica para Melhoria da Qualidade do Pinho", Programa de Desenvolvimento Tecnológico - FUNTEC nº 305/76.

À Companhia Agro-Forestal Monte Alegre (CAFMA), na pessoa de seu Diretor, Dr. Francisco Bertolani, pelo apoio físico dado à pesquisa. Particular agradecimentos aos Engenheiros Florestais Norival Nicolielo e João Batista Garnica, também da CAFMA, pelo auxílio valioso prestado durante os dois anos de coleta de dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de pesquisa, Processo CNPq nº 1111.0135/78.

Aos colegas Décio Barbin, Hilton Thadeu Zarate do Couto, Paulo Y. Kageyama, Klaus Reichardt, Paulo Libardi e Fabio Poggiani, pela colaboração.

Ao Silas Zem, pela boa vontade e dedicação aos trabalhos de campo e de laboratório.

## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO . . . . .	1
2. REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	4
3. MATERIAL E MÉTODOS . . . . .	14
3.1. A Área Experimental . . . . .	14
3.1.1. Localização . . . . .	14
3.1.2. Clima . . . . .	16
3.1.3. Solo . . . . .	16
3.1.4. Vegetação . . . . .	21
3.2. Métodos . . . . .	26
4. RESULTADOS . . . . .	28
5. DISCUSSÃO . . . . .	40
6. CONCLUSÕES . . . . .	60
7. RESUMO . . . . .	63
8. SUMMARY . . . . .	65
9. LITERATURA CITADA . . . . .	67
10. APÊNDICE . . . . .	77

LISTA DE TABELAS

Pág.

1	Análise Mecânica e Classe Textural da Unidade de Solo onde se acham localizadas as Parcelas Experimentais . . . . .	21
2	Valores do DAP médio, altura média, área basal, volume de madeira, e número de árvores antes e depois dos desbastes nos povoamentos de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> . . . . .	25
3	Totais de água armazenada no perfil de 200 centímetros de solo (S) durante o período de estudo nas parcelas de pinheiros tropicais e na de cerrado, juntamente com os valores da precipitação mensal... . . . . .	29
4	Valores médios de densidade aparente (Da) e de retenção de umidade ( $\theta$ ) para as parcelas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (PH ), <i>Pinus oocarpa</i> (PO), e Cerrado (C). . . . .	30
5	Análise de variância para os valores mensais médios de conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a floresta de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . . . . .	49
6	Análise de variância para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a floresta de <i>Pinus oocarpa</i> . . . . .	50
7	Análise de variância para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a parcela de cerrado . . . . .	50
8	Análise de variância conjunta para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo das diferentes vegetações estudadas . . . . .	51

	Pág.
9 Desdobramento dos graus de liberdade da interação (E x D) da análise conjunta de variância . . . . .	53
10 Desdobramento dos graus de liberdade da interação (D x E) da análise conjunta de variância . . . . .	53
11 Densidade da madeira em g/cm <sup>3</sup> para as amostras de árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> em Agudos . . . . .	58

LISTA DAS FIGURAS

1	Localização do Município de Agudos em Relação ao Estado de São Paulo e das Parcelas Experimentais dentro da Área da CAFMA . . . . .	15
2	Detalhe da trincheira aberta em uma das parcelas de pinheiros . . . . .	19
3.	Outro aspecto da trincheira aberta nas parcelas de pinheiros tropicais . . . . .	19
4	Detalhe da trincheira de 2 metros de profundidades aberta na parcela de cerrado . . . . .	20
5	Vista da localização da floresta de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e da reserva de cerrado, adjacentes . . . . .	22
6	Vista Interna de um dos Povoamentos de Pinheiros . . . . .	23
7	Vista Interna da Reserva de Cerrado . . . . .	23
8.	Variação Mensal do conteúdo de Umidade Médio ( $\theta$ ) para o perfil de 2 metros nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerrado, e distribuição mensal da precipitação . . . . .	31
9.	Variação mensal do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades . . . . .	33
10	Regime médio anual da água do solo para os dois metros de perfil (S) nas parcelas de cerrado e nas de pinheiros tropicais, e valores da precipitação mensal. . . . .	34
11	Variação máxima do conteúdo de água no solo para os 200 centímetros de perfil, durante o período de estudo . . . . .	36
12	Distribuição da água no perfil do solo para os 200 centímetros de profundidade em duas ocasiões: (A) leitura mínima de teor de umidade verificada durante o período experimental, realizada em 31/08/77; (B) leitura máxima verificada em 02/01/79 . . . . .	37



	Pág.
13 Conteúdo médio de unidade no perfil de 2 metros de solo. (A) média do período seco (abril a setembro), 1977 a 1979; (B) média do período chuvoso (outubro a março), 1977 a 1979 . . . . .	39
14 Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 centímetros de solo (S) entre o cerrado ( $S_C$ ) e a floresta de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> ( $S_H$ ) . . . . .	45
15 Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 centímetros de solo (S) entre o cerrado ( $S_C$ ) e a floresta de <i>Pinus oocarpa</i> ( $S_O$ ) . . . . .	46
16 Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 centímetros de solo (S) entre as florestas de <i>Pinus oocar-</i> <i>pa</i> ( $S_O$ ) e de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> ( $S_H$ ) . . . . .	47

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores do meio, a água do solo é um dos de maior importância para o crescimento e desenvolvimento da floresta.

As informações já disponíveis na literatura, desde que corretamente entendidas e aplicadas, podem, sem dúvida, proporcionar resultados práticos imediatos, mas ainda há muitos aspectos da umidade do solo e do manejo da água do solo em ecossistemas florestais carentes de um conhecimento mais profundo (STONE, 1978).

Nas condições tropicais e de solos profundos do Brasil, poucas são as pesquisas a respeito da água do solo em florestas. Há, por exemplo, os trabalhos de FERRI (1961) e de CERVellini et alii (1972) em áreas de cerrado, e o de LIMA e REICHARDT (1977) em plantações homogêneas de eucaliptos e de pinheiros.

As consequências desta escassez de informações nas condições locais podem ser analisadas sobre dois aspectos: primeiro, o lado prático, que resulta de uma eventual sub-utilização das potencialidades do "site", ou seja, os reflexos negativos estariam relacionados com a

própria produtividade da floresta. Em segundo lugar, o lado político, que resulta da pletora de especulações a respeito de efeitos adversos do reflorestamento sobre o meio, no caso particular, dos efeitos adversos sobre a água do solo (REYNOLDS e WOOD, 1977).

Evidentemente o aspecto relacionado com o conhecimento mais adequado do regime da água do solo com o objetivo de melhorar a produtividade florestal seria, por si, suficiente para justificar as pesquisas nesta área de estudo. Com a crescente preocupação para com os aspectos ambientais, por outro lado, o enfoque político se reveste de igual importância. Após rever e analisar criticamente as informações disponíveis, PEREIRA (1973) afirma:

*"...it is clear that forests should neither be felled nor planted on a large scale without a study of the potential hydrological changes which may be expected... There is good sense, both practically and scientifically, in early initiation of pilot schemes to provide measurements. The reduction in guesswork can save very large sums of money."*

De fato, quando se leva em conta a importância econômica que a formação de florestas homogêneas de rápido crescimento já adquiriu no Brasil, assim como as projeções de aumento da área a ser reflorestada, a continuação deste programa florestal deve cada vez mais estar baseada em políticas sadias de uso do solo; estas, por sua vez, devem ser elaboradas com base em informações científicas adquiridas através de ensaios experimentais.

No presente trabalho procurou-se estudar o regime da água do solo em florestas de pinheiros tropicais. Das espécies do gê-

nero *Pinus*, aquelas de origem tropical (pinheiros tropicais) são as de maior importância para os programas de reflorestamento nas condições locais. Na região onde foi conduzido o presente estudo, o reflorestamento foi feito em área de cerrado, utilizando várias espécies de pinheiros tropicais. Desta forma, o planejamento do ensaio experimental teve por meta:

- a) estudar a variação anual, ou a marcha anual da água do solo em diferentes espécies de pinheiros tropicais;
- b) comparar este regime com aquele verificado em áreas revestidas com a vegetação natural de cerrado;
- c) estudar a absorção estacional da água do solo por florestas de pinheiros tropicais e por vegetação natural de cerrado;
- d) determinar a quantidade total de água retida nas diferentes épocas do ano e nas diferentes coberturas vegetais estudadas;
- e) comparar os resultados obtidos em termos das diferenças específicas de crescimento e desenvolvimento.

O trabalho foi desenvolvido no Município de Agudos, Estado de São Paulo, em florestas da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre (CAFMA). A coleta de dados prolongou-se de junho de 1977 a maio de 1979, e incluiu medições da precipitação e da umidade do solo sob florestas de *Pinus oocarpa* Schiede e de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, ambas com 12 anos de idade, e em uma área adjacente contendo vegetação natural de cerrado.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Discussões detalhadas a respeito da dinâmica da água do solo em florestas podem ser encontradas em vários textos básicos, como os de WILDE (1958), PRITCHETT (1979), BORMAN e LIKENS (1979), etc, assim como em vários trabalhos publicados, destacando-se SCHULTZ e HEWLETT (1978) e ZAHNER (1967).

De modo geral, desde que as condições do solo permitam, as raízes das árvores tendem a penetrar a grandes profundidades, embora a maior proporção do sistema radicular tende a concentrar-se nas camadas superficiais do solo. Portanto, mesmo que ocorra deficit de água na parte superficial do solo, é bem possível que a árvore, como um todo, consiga sobreviver a períodos secos desde que as condições do solo permitam a absorção de água por raízes profundas (SCHULTZ e HEWLETT, 1978). Em solos arenosos bem drenados, todavia, os problemas de deficit de água no solo podem ser mais acentuados e frequentes.

A água do solo é absorvida de locais onde ela está mais facilmente disponível, e é removida mais rapidamente das zonas de grandes concentrações de raízes. A distribuição vertical de raízes em flo-

restas é inversamente proporcional à profundidade do solo, mesmo em solos profundos e bem drenados (ZAHNER, 1967). Desta forma, a absorção de água pelas árvores é inversamente proporcional à profundidade do solo. À medida que o solo seca, de tal sorte que o perfil todo do solo encontra-se uniformemente perdendo água por absorção pelas raízes, cada camada, então, perde água proporcionalmente à concentração de raízes.

Medições periódicas da água do solo em um perfil de seis metros de profundidade, nos Estados Unidos, mostraram que a variação, ou a marcha anual da água do solo à profundidade de cinquenta centímetros segue uma curva muito relacionada com o balanço de energia da superfície. Abaixo de quatro metros de profundidade, todavia, a variação do conteúdo de umidade no solo é enormemente defasada, com o pico ocorrendo cerca de cinco meses após a estação chuvosa (SCHULTZ e HEWLETT, 1978).

Neste resumo teórico seria interessante, ainda, relembrar que no caso de florestas, pelo fato de que o limite inferior de ação das raízes não é conhecido, e pela própria complexidade da dinâmica da água do solo no perfil relativamente mais profundo, o relacionamento da disponibilidade de água no solo em termos de expressões clássicas como "capacidade de campo" e "ponto de murchamento permanente" não faz muito sentido (REICHARDT, 1977), (SCHULTZ e HEWLETT, 1978). Mesmo levando em conta esta complexidade, pode-se entender o solo como um reservatório de água, que armazena a água da chuva e a libera para as plantas, e o conceito de água disponível serve para dar uma idéia a respeito da capacidade de armazenamento de água dos diferentes solos (BLACK, 1968).

Desta forma, a determinação periódica da umidade do solo sob florestas pode proporcionar uma visualização bastante eficaz das

condições de umidade no perfil, da variação desta umidade ao longo do período, e a análise destes dados tem sido relacionada com diferentes aspectos hidrológicos e de crescimento das florestas nas mais variadas condições. De fato, inúmeros trabalhos têm mostrado correlação significativa entre o conteúdo de água disponível e o crescimento da floresta. McCLURKIN (1958), ZIMMERMAN et alii (1977) e MADER (1978) verificaram que o crescimento das árvores em diâmetro está relacionado com a umidade disponível. FRALISH et alii (1978) também encontraram correlação positiva entre a área basal e a capacidade de armazenamento de água do solo. A níveis baixos de capacidade de armazenamento, um pequeno aumento nesta resultava em grande aumento na área basal. Acima de um determinado limite de capacidade de armazenamento as diferenças de produtividade dos diferentes "sites" eram pequenas. ZAHNER (1968) verificou, por outro lado, que o crescimento em área basal cessa a partir do instante em que a metade da água disponível no solo seja gasta. Ainda ZAHNER (1968a) cita que em uma plantação de pinheiros o crescimento em área basal e em volume foi quase totalmente governado ( $r = 0,99$ ) pelo número de dias em que a água do solo encontrava-se em disponibilidade acima de aproximadamente  $2/3$  da capacidade total.

FEDERER (1970) e WARD (1971), por outro lado, atestam que o balanço hídrico do solo é um dos poucos métodos que podem dar resultados satisfatórios para a medição da evapotranspiração em florestas. Vários estudos têm sido realizados para o melhor conhecimento desta metodologia (BURROUGHS, Jr. e SCHULTZ, 1964), (HEWLETT et alii, 1964), (FERRAZ, 1972), (STAMMERS et alii, 1973), (PECK et alii, 1977).

Ainda com relação à medição da evapotranspiração, há ,

obviamente, necessidade de determinar-se previamente o sistema no qual as medições vão ser realizadas, ou seja é preciso estabelecer-se os limites do perfil do solo. Como já mencionado, no caso de florestas a profundidade não pode ser pouca, por causa da penetração das raízes, mas também não pode ser muita, pelas limitações do método. PECK et alii (1977) mostram que a variabilidade espacial das condições de água no solo não teve muita influência nos valores da evapotranspiração. HARR e PRICE (1972), estimando a evapotranspiração através da medição simultânea das flutuações do lençol freático, das variações do conteúdo de umidade do solo, e da precipitação, verificaram que a maior proporção da evapotranspiração determinada foi resultante da retirada da água do solo. Através da medição do deflúvio em uma bacia hidrográfica pequena, PARLANGE e AYLOR (1975) mostraram o mesmo fenômeno. LUXMOORE et alii (1977) citam trabalho no qual a participação das raízes situadas abaixo de 180 centímetros na evapotranspiração medida foi de 26 %; em outras palavras, a variação da umidade do solo nos 180 centímetros superficiais do solo foi responsável pela maior parte da evapotranspiração medida. SWIFT, Jr. et alii (1975), usando simulações com modelo fenomenológico para a descrição dos fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera, verificaram que cerca de 50% da evapotranspiração em florestas foi proveniente dos 30 centímetros superficiais do solo. ZAHNER (1967), KNOERR (1967), BLACK (1979) e TAJCHMAN et alii (1979), por outro lado, mostram que a evapotranspiração tende a diminuir à medida que a água disponível do solo diminui.

As espécies florestais atuam diferentemente sobre a água do solo, resultando em diferentes taxas de evapotranspiração, em função



de diferenças específicas quanto ao sistema radicular, à fisiologia, resistência à difusão de vapor pelos estômatos, etc. Inúmeros trabalhos têm, realmente, mostrado tais diferenças no consumo de água por diferentes florestas e outras comunidades vegetais, quer pela computação das taxas de evapotranspiração (JOHNSTON et alii, 1969), (JOHNSTON, 1970), (FEDERER e LASH, 1978), ou pela análise do regime da água do solo (DREIBELBIS, 1962), (HELVEY e HEWLETT, 1962), (DREIBELBIS, 1963), (FLETCHER e LULL, 1963), (BYRNES, 1967), (MIKHOVICH et alii, 1970), (BROWN, Jr. e BOURN, 1973).

Em contraste, COSTIN (1961), na Austrália, e AUSSENAC (1972), na França, não encontraram diferenças no consumo de água por diferentes associações florestais. GINDEL (1964), por sua vez, trabalhando em condições desérticas e semi-desérticas em Israel, encontrou maior conteúdo de umidade no solo sob vegetação do que em parcelas de solo nũ, isto é, solo desprovido de vegetação.

A manipulação da vegetação, como por exemplo o corte da floresta, é responsável por modificação do regime da água do solo. TROENDLE (1970), SARTZ (1972) e PATRIC (1973) mostraram que a depleção da água do solo, ou as variações do conteúdo de umidade ao longo do perfil foram significativamente maiores sob florestas do que em parcelas onde as árvores haviam sido cortadas.

A irrigação e a adubação nitrogenada da vegetação natural em região de pradarias nos Estados Unidos resultaram em uma taxa média de 578 milímetros de evapotranspiração anual, enquanto que a parcela testemunha apresentou evapotranspiração anual média de 226 milímetros. Os autores (LAUENROTH e SIMS, 1976) afirmam que a evapotranspiração na

parcela tratada foi semelhante a evapotranspiração potencial calculada pela fórmula de Penman.

Seria interessante, neste apanhado bibliográfico, comentar separadamente sobre estes aspectos hidrológicos de água do solo em florestas de pinheiros. JAYNES (1978) verificou através de análises de simulação que florestas de coníferas consomem maior quantidade de água do que florestas de folhosas. De fato, resultados experimentais em bacias hidrográficas experimentais em Coweeta, nos Estados Unidos, mostraram que a substituição de florestas de folhosas mistas por floresta homogênea de *Pinus strobus* reduziu em 20% o deflúvio anual da bacia após o 25º ano da substituição (SWANK e DOUGLAS, 1974).

FRITSCHEN et alii (1977) relatam o resultado da medição da evapotranspiração de uma árvore de *Pseudotsuga sp.* de 28 metros de altura, 38 centímetros de DAP, e com aproximadamente 50 anos de idade, sob a qual foi construído um lisímetro de 3,7 metros de diâmetro por 1,2 metros de profundidade. Para este volume de solo, o consumo médio da árvore durante 3 anos foi de 60 litros de água por dia, equivalente a 2 milímetros por dia. Verificaram, também, que a evapotranspiração medida correspondia a 55% do total da precipitação e que as perdas por interceptação alcançaram, em média, a 30% da evapotranspiração.

KITCHING (1967) mediu também o consumo de água por florestas de pinheiros em diferentes locais, através do balanço hídrico do solo. Para o período de um verão, a média de evapotranspiração nos vários locais foi de 247 milímetros, para uma precipitação média de 306 milímetros no mesmo período.

Comparando o regime da água do solo até a profundidade de 10 metros entre uma parcela com vegetação referida localmente como "maqui" (semelhante a cerrado), uma plantação de pinheiros (*Pinus halepensis*), uma parcela com vegetação herbácea, e uma parcela desprovida de vegetação, SHACHORI et alii (1967) notaram que a vegetação "maqui" absorvia água de até 7 metros de profundidade, enquanto que a floresta de pinheiros a absorção chegou até aproximadamente 4 metros, e na vegetação herbácea a até cerca de 1,8 metros. Observaram ainda que até a profundidade de 1 metro não houve diferença no regime da água do solo entre os três tipos de vegetação. Em termos de evapotranspiração, determinaram que o consumo médio anual de água pelas parcelas vegetadas e pelo solo descoberto foi como segue: 452 milímetros, 410 milímetros, 327 milímetros e 265 milímetros, respectivamente para "maqui", pinheiros, vegetação herbácea e solo nũ.

BREWER e LINHARTZ (1978) mediram a água do solo em florestas de *Pinus taeda* semanalmente durante 5 anos, notando que as maiores variações do conteúdo de umidade ocorreram nos 120 centímetros superficiais do solo, e que abaixo de 210 centímetros a variação foi muito pouca.

Comparando plantações de pinheiros com vegetação herbácea em Israel, COHEN et alii (1966) verificaram que o solo sob vegetação herbácea esteve sempre mais úmido do que o solo sob floresta. Resultado semelhante pode ser inferido do trabalho de THOMPSON (1974), que mediu a evapotranspiração através da medição do balanço de energia em florestas de pinheiros e em vegetação herbácea. Já HERRING (1970) não notou diferença no regime da água do solo entre povoamento de Pi-

*mus ponderosa* e vegetação herbácea.

ORR (1968) e REPNEVSKAJA (1969) determinaram uma maior quantidade de água no solo após o desbaste e o corte em florestas de pinheiros. LAMBERT et alii (1971) verificaram, por outro lado, que a eliminação do sub-bosque em plantações de *Pinus resinosa* de 7 anos de idade resultou em aumento na disponibilidade de água do solo, que por sua vez resultou em expressivo aumento no crescimento da floresta.

BUBLINEC (1972) após estudar o regime da água do solo em plantações de pinheiros chegou à conclusão de que estes não causaram nenhum efeito adverso sobre o regime da água do solo.

BELL e GATENBY (1969) mediram o balanço hídrico em bacias hidrográficas pequenas contendo florestas de eucaliptos e de pinheiros (*Pinus radiata*), verificando que tanto o consumo da água do solo, quanto o rendimento hídrico da bacia foram praticamente idênticos nos dois casos.

No Brasil, LIMA e REICHARDT (1977) também não observaram diferenças marcantes no regime da água do solo entre plantações de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, ambas com 6 anos de idade.

Estudos semelhantes no país são poucos. Citam-se os de FERRI (1961), ASKEW et alii (1971) e CERVellini et alii (1972), todos desenvolvidos em cerrado. FERRI observou que as plantas do cerrado transpiram igualmente o ano todo. ASKEW et alii mediram gravimetricamente a água do solo às profundidades de 4-8, 45-55 e 95-105 centímetros, em diferentes tipos vegetacionais no Mato Grosso. Observaram que

em geral o teor de umidade aumenta com a profundidade, exceto logo após chuvas. Afirmam ainda que o teor de umidade no solo apenas não foi o único fator responsável pela ocorrência dos diferentes tipos de vegetação estudados. CERVELLINI et alii verificaram, medindo a água do solo até a profundidade de 3 metros em uma área de cerrado e em outra adjacente onde a vegetação havia sido eliminada, que sempre houve água disponível no solo em ambas as situações.

Em outras regiões tropicais também não são muitos os trabalhos já realizados. BALDY et alii (1970), na Tunísia, mediram a água do solo em plantações de eucaliptos e de pinheiros, em solos diferentes, com idade ao redor de 10 anos, e verificaram que as plantações de eucaliptos apresentaram, em geral, demanda de água do solo maior do que as de pinheiros.

HILL (1972) estudou o regime da água do solo em diferentes tipos de solos com cobertura florestal natural e, pela comparação dos resultados com idênticos estudos já conduzidos, concluiu que o conteúdo de umidade do solo foi usualmente maior sob florestas do que sob outros tipos de vegetação.

Na Nigéria, BABALOLA e SAMIE (1972) estudaram o regime da água do solo em vegetação natural tipo cerrado e em plantações de eucaliptos com 10 anos de idade, através da técnica de moderação de neutrons, em leituras semanais, até a profundidade de 5 metros. Verificaram que não houve alteração da recarga do total de água armazenada no solo abaixo de 210 centímetros, no caso do cerrado, e abaixo de 190 centímetros, no caso do eucalipto. Na estação seca em ambas as parce-

las o solo até aproximadamente 250 centímetros de profundidade apresentava-se com conteúdo de umidade próximo ao ponto de murchamento permanente. Observaram, ainda, que a amplitude máxima de variação do armazenamento de água no solo foi maior para a vegetação natural do que para a plantação de eucalipto, concluindo que esta estaria fazendo melhor aproveitamento da água do solo.

Pode-se, portanto, concluir que os trabalhos realizados apresentam resultados aproximadamente semelhantes em vários aspectos, mas que em algumas situações resultados contrastantes têm sido observados. A metodologia pode, sem dúvida, proporcionar uma visualização abrangente da hidrologia do solo sob diferentes tipos de vegetação. A água do solo, por outro lado, mostra-se como fator essencial para o crescimento da floresta. Pelos inúmeros resultados comparados nas mais diversas situações, não é possível inferir efeitos adversos ao regime da água do solo decorrentes da alteração ou da substituição de vegetação natural por florestas homogêneas. Finalmente, a revisão da literatura mostra que são poucos os trabalhos realizados em condições tropicais e menos ainda nas condições locais.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. A Área Experimental

##### 3.1.1. Localização

O presente trabalho foi desenvolvido nas florestas da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre (CAFMA), no Município de Agudos, Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas de 22° 25' de latitude sul, e 48° 50' de longitude a oeste de Greenwich, numa altitude aproximada de 600 metros.

A localização do Município de Agudos em relação ao Estado de São Paulo, e das parcelas experimentais dentro da fazenda da CAFMA podem ser observadas na Figura 1.

O relevo na região é, em geral, suavemente ondulado, mas as parcelas experimentais foram localizadas em áreas praticamente planas.



Mapa parcial da CAFMA

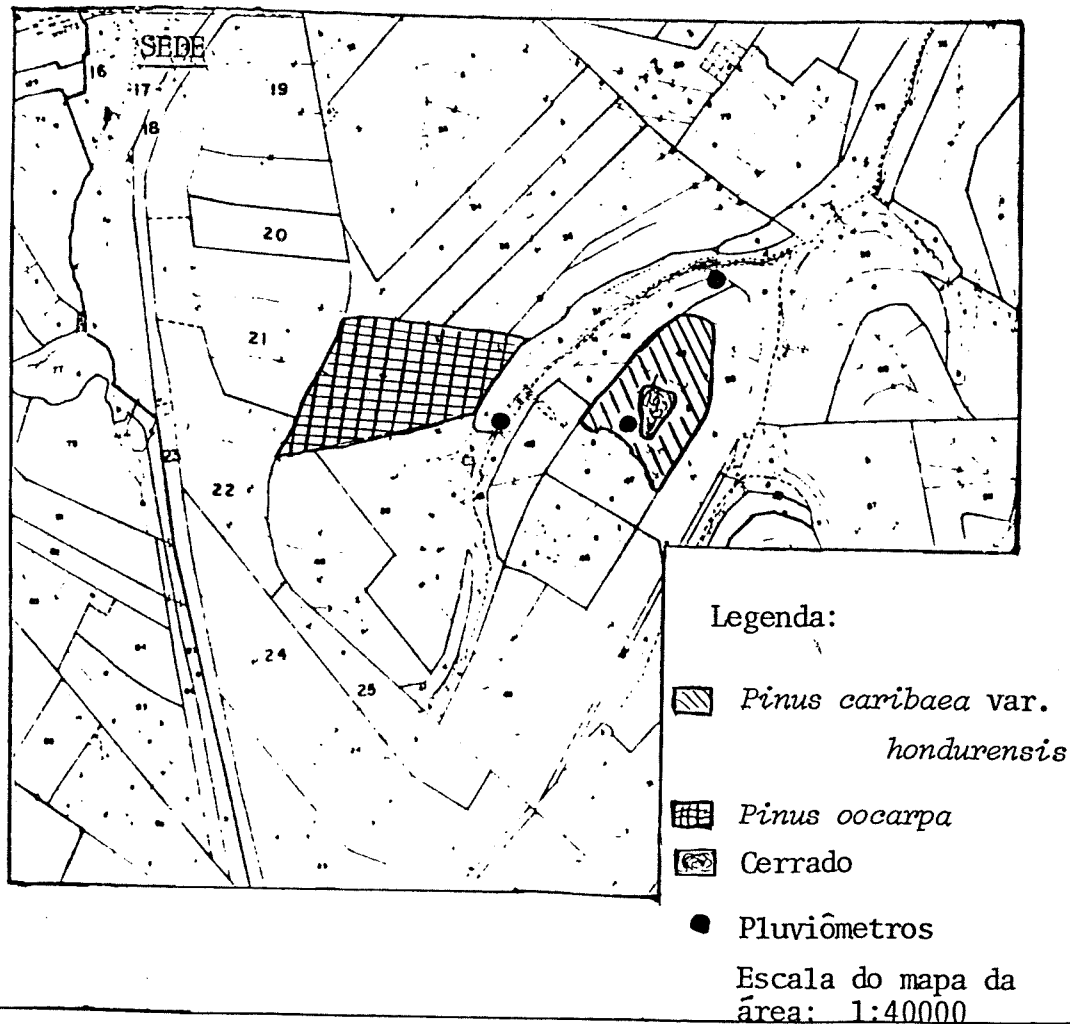


Figura 1: Localização do Município de Agudos em Relação ao Estado de São Paulo, e das Parcelas Experimentais dentro da área da CAFMA.



### 3.1.2. Clima

O clima é do tipo Cwa, segundo Koeppen, com temperatura média anual de 21,1°C, e precipitação média anual de 1300 milímetros, sendo que cerca de 1000 mm deste total caem durante a estação chuvosa, que vai de outubro a março. A Tabela 3 contém os dados mensais da precipitação medida durante o período experimental.

A temperatura média de inverno gira ao redor de 18,6 °C, e a do verão, de 23,3 °C. No mês mais frio, a temperatura média varia de 16 a 18 °C. De acordo com CAMARGO et alii (1977), a região pode apresentar deficiência hídrica anual de até 50 mm, e um excedente hídrico anual variando de 300 a 600 mm, o que resulta em um Índice Hídrico de 20 a 60, definindo um tipo climático semi-úmido, segundo a classificação de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948).

### 3.1.3. Solo

De modo geral predomina na região o Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa. RANZANI (1971) apresenta detalhes das unidades de solos levantadas na área da CAFMA, segundo o qual a descrição morfológica da unidade onde estão localizadas as parcelas experimentais é a seguinte:

<u>Horizonte</u>	<u>Prof. (cm)</u>	<u>Descrição</u>
Ap	0-15	ardo avermelhado, vermelho ferrugem (2,5 YR 4/4; 2,5 YR 3/2); areia barrenta fina; composta, granular, média, fraca e blocos subangulares pequenos a médio, muito fra-

<u>Horizonte</u>	<u>Prof. (cm)</u>	<u>Descrição</u>
		cos; macio, muito friável, não plástico, não pegajoso; com eflorescências de areia lavada; raízes finas e médias (15-20%); galerias pequenas, comuns; limite plano e abrupto.
A <sub>3</sub>	15-43	composta pardo avermelhado, pardo avermelhado escuro (2,5 YR 5/4; 2,5 YR 3/4) com 40% de marchetamento pardo avermelhado (2,5 YR 4/4) muito pequeno, fraco e distinto, esférico e alongado, claro; areia barrenta fina; maciço; macio a ligeiramente duro, friável, não plástico, não pegajoso; raízes médias, comuns; galerias pequenas esparsas; limite suave, gradual;
B <sub>1</sub>	43-73	pardo avermelhado; pardo avermelhado escuro (2,5 YR 4/4; 2,5 YR 3/4); areia barrenta fina; maciço rompendo-se em blocos médios, fracos; ligeiramente duro, muito friável, não plástico, não pegajoso; raízes finas, pouco; limite suave, gradual:
B <sub>21</sub>	73-120	vermelho escuro (2,5 YR 3/6); barro arenoso fino; maciço que se rompe em blocos subangulares pequenos e médios, fracos; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, não pegajoso; eflorescências de areia lavada; raízes médias e finas, pouco; limite suave, gradual;
B <sub>22</sub>	120-165	vermelho escuro (2,5 YR 3/5); barro arenoso fino; maciço que se rompe em blocos subangulares médios a grandes, muito fraco; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes pou-

<u>Horizonte</u>	<u>Prof. (cm)</u>	<u>Descrição</u>
		<i>co, médias;</i>
<i>B<sub>3</sub></i>	<i>165-205</i>	<i>vermelho escuro (2,5 YR 3/6); barro arenoso fino; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso;</i>
<i>C</i>	<i>205-300+</i>	<i>vermelho escuro (2,5 YR 3/6); barro arenoso fino; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.</i>

Trata-se de solo típico de cerrado, que normalmente são profundos, uniformes, porosos, submetidos a profundo intemperismo, ácidos, pobres em bases trocáveis e ricos em óxidos de ferro e alumínio (GOODLAND e FERRI, 1979).

As Figuras 2, 3 e 4 mostram detalhes do perfil do solo nas duas parcelas de pinheiros (Figuras 2 e 3), e na de cerrado (Figura 4), obtidas nas trincheiras abertas para a coleta de amostras utilizadas na caracterização hidrológica do solo.

A Tabela 1 apresenta resultados da análise mecânica do solo, de acordo com o levantamento realizado por RANZANI (1971).

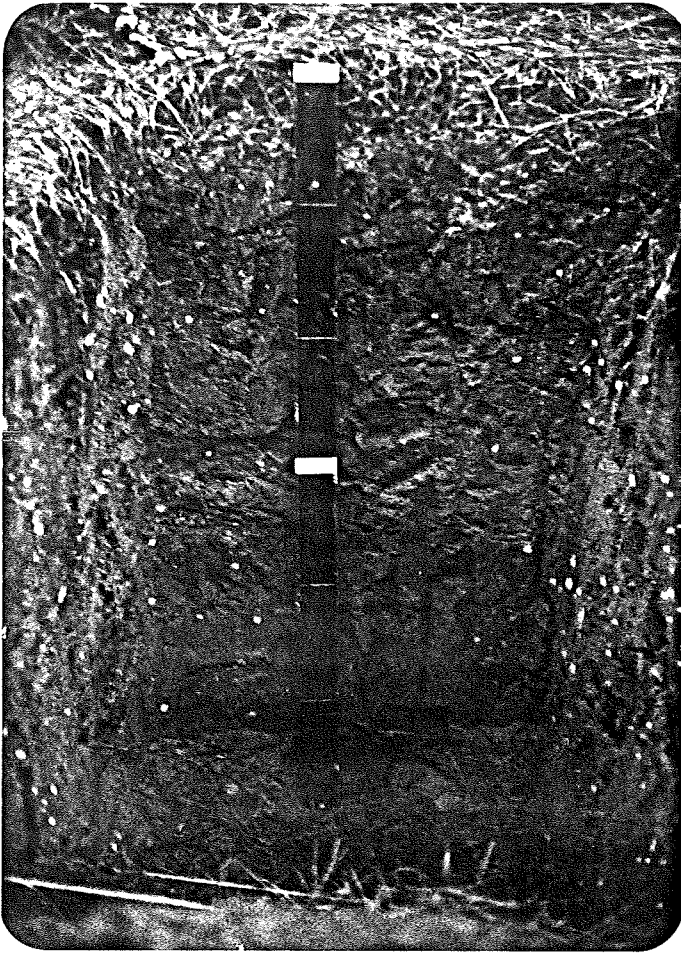


Figura 2: Detalhe da trincheira aberta em uma das parcelas de pinheiros. Profundidade: 2 metros.



Figura 3: Outro aspecto da trincheira aberta nas parcelas de pinheiros tropicais.

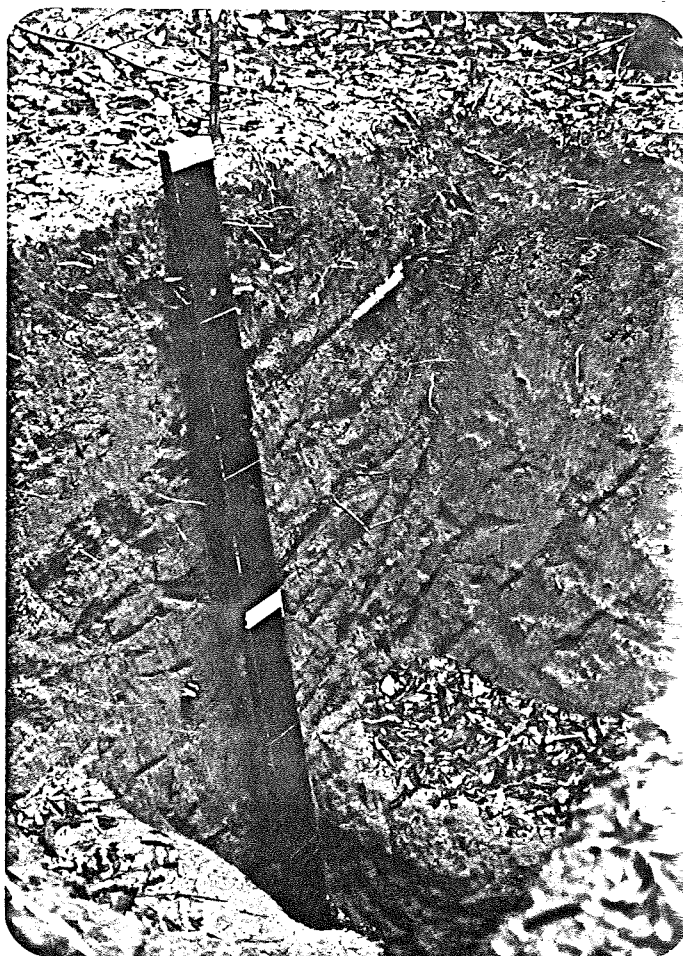


Figura 4: Detalhe da trincheira de 2 metros de profundidade aberta na parcela de cerrado.

Tabela 1: Análise Mecânica e Classe Textural da Unidade de Solo Onde se Achrom Localizadas as Parcelas Experimentais (modificada a partir de RANZANI, 1971).

Horiz.	Prof. (cm)	Análise Mecânica (%)			Classe Textural
		Areia	Limo	Argila	
A <sub>p</sub>	0 - 15	87,1	2,4	10,5	abf
A <sub>3</sub>	15 - 43	86,4	2,7	10,9	abf
B <sub>1</sub>	43 - 73	83,8	3,3	12,9	abf
B <sub>21</sub>	73 -120	80,1	5,8	14,1	baf
B <sub>22</sub>	120-165	81,5	3,2	15,3	baf
B <sub>3</sub>	165-205	80,5	3,8	15,7	baf
C	205-300	80,7	2,9	16,4	baf

Outras características físicas do solo podem ser observadas na Tabela 4.

#### 3.1.4. Vegetação

As medições foram realizadas em três parcelas diferentes: um talhão de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, um talhão de *Pinus oocarpa* Schiede, e uma área de cerrado que foi deixada como reser-

va pela CAFMA. O talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* circunda a reserva de cerrado, e o talhão de *Pinus oocarpa* situa-se a uma distância de aproximadamente 800 metros (Figura 1).

A Figura 5 mostra a localização do talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e da reserva de cerrado, ambos adjacentes. A Figura 6 mostra detalhe interno de um dos talhões de pinheiros. E a Figura 7 é uma vista interna da reserva de cerrado, em um dos pontos de medição da umidade do solo.



Figura 5: Vista da localização da floresta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e da reserva de cerrado, um adjacente ao outro.

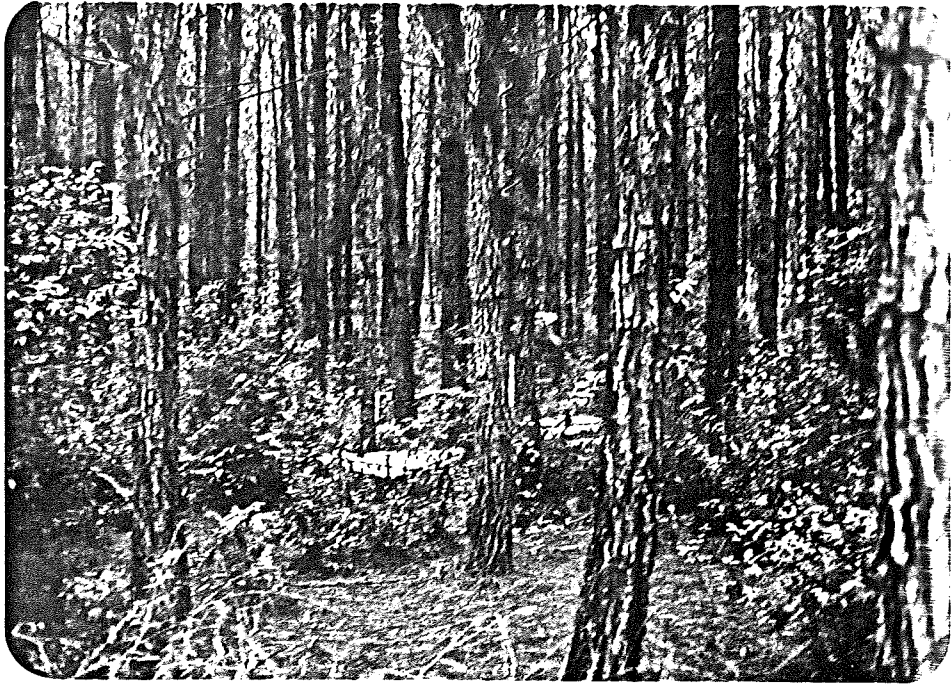


Figura 6: Vista Interna de um dos Povoamentos de Pinheiros



Figura 7: Vista Interna da Reserva de Cerrado.



O povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* perfaz uma área de 28,7 hectares e foi plantado em outubro de 1966, em espaçamento de 2,5 x 2,0 metros. Trata-se, assim como a espécie de *Pinus oocarpa*, de espécie originária da América Central (MIROV, 1967), (LAMB, 1973).

O talhão de *Pinus oocarpa*, com área de 53,0 hectares, foi plantado em novembro de 1966, também em espaçamento de 2,5 x 2,0 metros.

Ambos os talhões já sofreram 3 desbastes, e os dados dendrométricos desde o primeiro desbaste em cada um deles são dados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores do DAP médio, altura média, área basal, volume de madeira, e número de árvores antes e depois dos desbastes nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Pinus oocarpa* (dados de acordo com o arquivo da CAFMA).

Espécie	Data	DAP Médio (cm)	Altura Média (m)	Número de árvores/ha retiradas após desbaste no desb.	Árvores remansc. após desbaste	% de desbaste	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) antes do desbaste	Área Basal depois do desbaste	Volume de madeira retirada do no desbaste (m <sup>3</sup> s/c /ha)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	08/1974 (1º desbaste)	15,7	14,2	746	-	37,6	38,3	28,5	45,9
	06/1976 (2º desbaste)	19,4	18,1	128	993	6,4	35,2	31,2	16,0
	07/1978 (3º desbaste)	22,0	20,1	306	700	30,5	38,4	28,6	56,6
<i>Pinus oocarpa</i>	06/1974 (1º desbaste)	14,8	13,7	577	-	31,4	33,4	27,2	26,2
	10/1976 (2º desbaste)	18,2	16,7	193	1040	16,5	34,5	28,3	18,5
	09/1978 (3º desbaste)	20,1	19,9	296	700	29,7	32,9	24,9	40,2

### 3.2. Métodos

A precipitação foi medida através de três pluviômetros tipo "Ville de Paris" instalados em locais abertos próximos às parcelas experimentais (Figura 1).

A leitura nos pluviômetros era feita semanalmente, e a precipitação média semanal para a área experimental foi calculada pela média aritmética dos três pluviômetros.

A medição da água do solo foi feita por gravimetria (REYNOLDS, 1970). Em cada uma das parcelas, as amostras do solo foram coletadas com três repetições, isto é, em três pontos diferentes. Em cada um destes pontos, as amostras foram coletadas por meio de trado tipo "orchard" nas seguintes profundidades: 0, 50, 100, 150 e 200 centímetros. A amostra da profundidade de 0 cm era coletada raspando-se a camada superficial e coletando-se o solo a cerca de 2 a 3 centímetros de profundidade. As amostras das demais profundidades eram, então, retiradas pelo trado.

Uma vez coletadas, as amostras eram acondicionadas em latas de alumínio, as quais eram vedadas com fita plástica e trazidas para o laboratório, quando eram imediatamente pesadas e colocadas em estufa a 105 °C para secar. Após um mínimo de 30 horas de secagem, as amostras secas eram novamente pesadas, para posterior cálculo do conteúdo de umidade.

A coleta das amostras foi feita mensalmente, no início de cada mês.

Por ocasião do encerramento do período de coleta de amostras, foram abertas trincheiras nas parcelas experimentais, com 2 metros de profundidade (Figuras 2, 3 e 4), com o objetivo de determinação da densidade aparente e dos valores de retenção de umidade em cada uma das camadas mencionadas.

Para a determinação da densidade foram tomadas amostras indeformadas com três repetições em cada profundidade através de cilindros de alumínio (monolitos), em cada uma das parcelas. Para a determinação dos valores de retenção de umidade a  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas de pressão, as amostras foram coletadas através de pequenos cilindros de alumínio (4 cm de diâmetro e 2 cm de altura) com bordos cortantes, em cada uma das parcelas, também com três repetições por profundidade.

Os dados de densidade aparente permitiram a transformação dos valores de porcentagem de umidade com base em peso seco em porcentagem de umidade com base em volume. Levando em conta a profundidade das camadas, estes valores puderam, então, ser transformados em altura (mm) de água armazenada no perfil, e a integração das áreas compreendidas entre os conteúdos de umidade de duas camadas consecutivas possibilitou o cálculo do total de água armazenada no perfil de 2 metros de solo estudado.

#### 4. RESULTADOS

Os dados de precipitação mensal e dos totais de água armazenada no perfil de dois metros em cada uma das parcelas estudadas são apresentados na Tabela 3. As datas da primeira coluna nesta tabela referem-se às épocas em que foram coletadas as amostras de solo para a determinação gravimétrica da umidade.

Tabela 3: Totais de água armazenada no perfil de 200 centímetros de solo (S) durante o período de estudo nas parcelas de pinheiros tropicais e na de cerrado , juntamente com os valores da precipitação mensal.

Data	S (mm)			Precipitação mensal (mm)
	<i>P. caribaea</i>	<i>p. oocarpa</i>	Cerrado	
30/06/77	182,9	217,1	245,0	93,0
28/07/77	161,8	188,4	216,8	21,0
31/08/77	157,4	168,3	192,2	8,8
30/09/77	185,6	204,3	216,0	86,7
31/10/77	197,5	216,4	202,0	70,4
01/12/77	182,8	205,0	202,5	74,6
03/01/78	252,5	271,7	283,3	198,5
31/01/78	220,6	234,9	248,3	106,4
28/02/78	187,4	198,8	201,1	52,5
03/04/78	222,3	265,6	275,0	231,1
02/05/78	149,4	181,4	189,5	12,0
01/06/78	264,0	278,1	300,5	170,4
03/07/78	202,9	218,3	227,2	21,9
04/08/78	208,7	249,4	254,8	129,3
06/09/78	198,9	257,1	263,0	0,0
03/10/78	159,9	172,8	203,5	91,0
30/10/78	181,3	205,9	238,0	96,2
04/12/78	181,8	212,6	219,5	145,3
02/01/79	269,6	285,8	310,1	200,0
30/01/79	189,6	244,8	248,7	97,7
01/03/79	187,4	198,6	226,7	79,2
02/04/79	158,1	179,3	175,8	114,9
08/05/79	231,3	285,8	295,7	50,5
01/06/79	205,6	232,7	242,0	120,3

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da determinação da densidade aparente e dos valores médios de retenção de umidade das amostras do solo submetidas aos potenciais de  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas, para as diferentes profundidades do perfil.

Tabela 4: Valores Médios de Densidade Aparente ( $D_a$ ) e da Retenção de Umidade ( $\theta$ ) para as Parcelas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PH), *Pinus oocarpa* (PO), e de Cerrado (C). Valores representam médias de 3 repetições.

Prof. (cm)	$-1/3$ atm ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )			$-15$ atm ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )			$D_a$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		
	PH	PO	C	PH	PO	C	PH	PO	C
0	0,118	0,116	0,134	0,093	0,087	0,092	1,44	1,45	1,40
50	0,114	0,123	0,147	0,084	0,081	0,095	1,52	1,50	1,56
100	0,119	0,116	0,137	0,090	0,085	0,093	1,54	1,58	1,55
150	0,139	0,130	0,159	0,081	0,089	0,095	1,50	1,54	1,54
200	0,109	0,123	0,141	0,078	0,090	0,088	1,55	1,48	1,53

A Figura 8 mostra as variações mensais do conteúdo médio de água ( $\theta$ ) para todo o perfil de dois metros de solo, bem como os valores médios de retenção de umidade às pressões de  $-1/3$  e de  $-15$  atmosferas, e a distribuição mensal da precipitação medida durante os 24 meses compreendidos pelo período experimental.

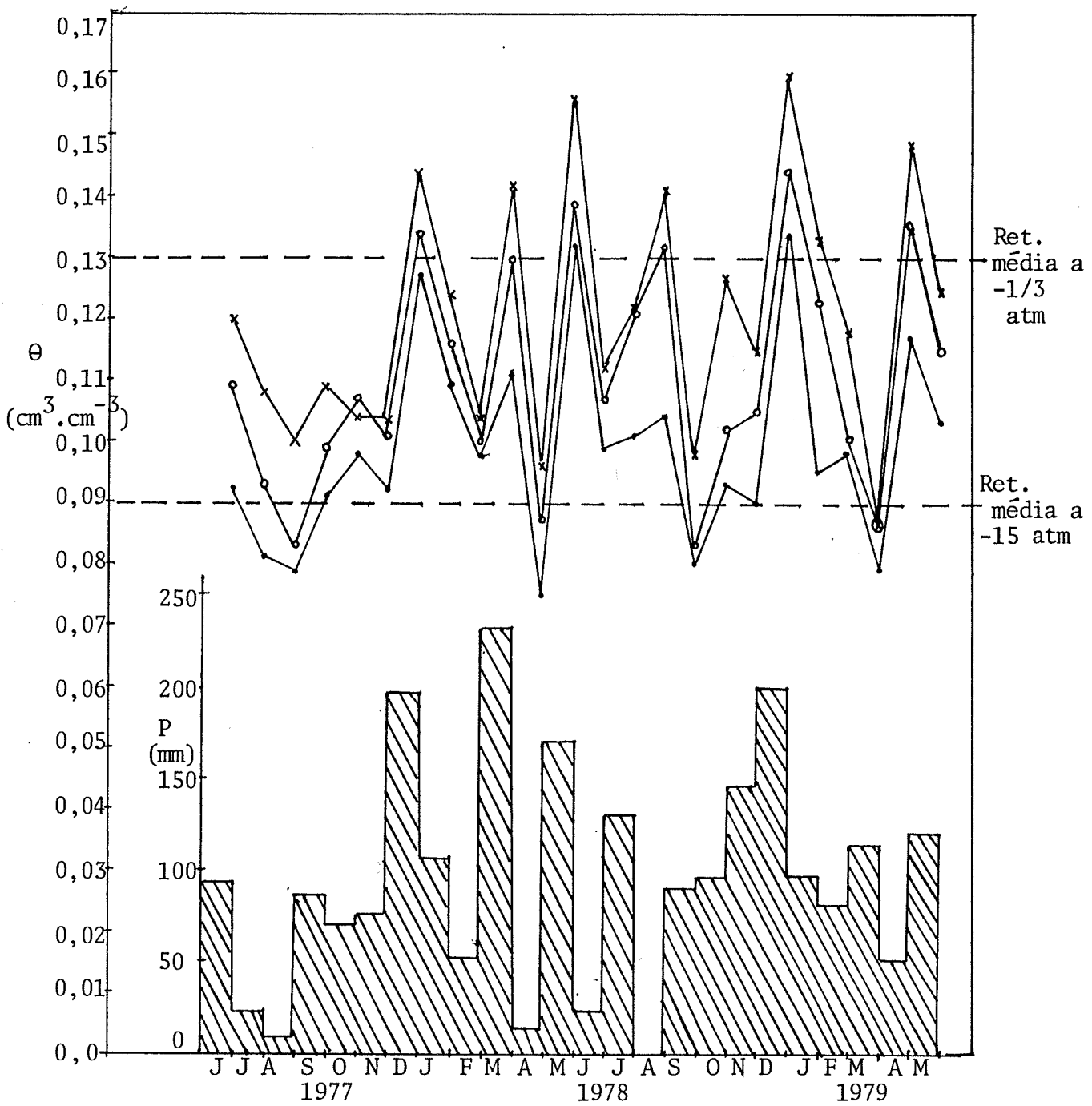


Figura 8: Variação Mensal do Conteúdo de Umidade Médio ( $\theta$ ) para o Perfil de 2 metros nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerrado, e distribuição mensal da precipitação (P).

×—× Cerrado      o—o *Pinus caribaea*      ●—● *Pinus oocarpa*



A visualização de como estas variações mensais do conteúdo médio de umidade ocorreram em cada profundidade estudada é apresentada na Figura 9, que também indica os respectivos valores médios de retenção de umidade a  $-1/3$  e a  $-15$  atmosferas de pressão, assim como a distribuição mensal da precipitação.

Na Figura 10, por outro lado, procurou-se mostrar a variação média, ou o regime médio anual da água do solo em termos do total de água armazenada no perfil de 2 metros de solo em milímetros de altura de água (S), como média para os dois anos do período experimental. As curvas médias para os dois anos já suavizam parcialmente as grandes variações mês após mês observadas na Figura 8, bem como diminuem as influências das anormalidades mensais da precipitação verificadas em cada ano. A Figura 10 inclui, também, os valores de água armazenada correspondentes aos valores médios de retenção de umidade aos potenciais de  $-1/3$  e de  $-15$  atmosferas, além dos valores da precipitação média mensal para o período considerado.

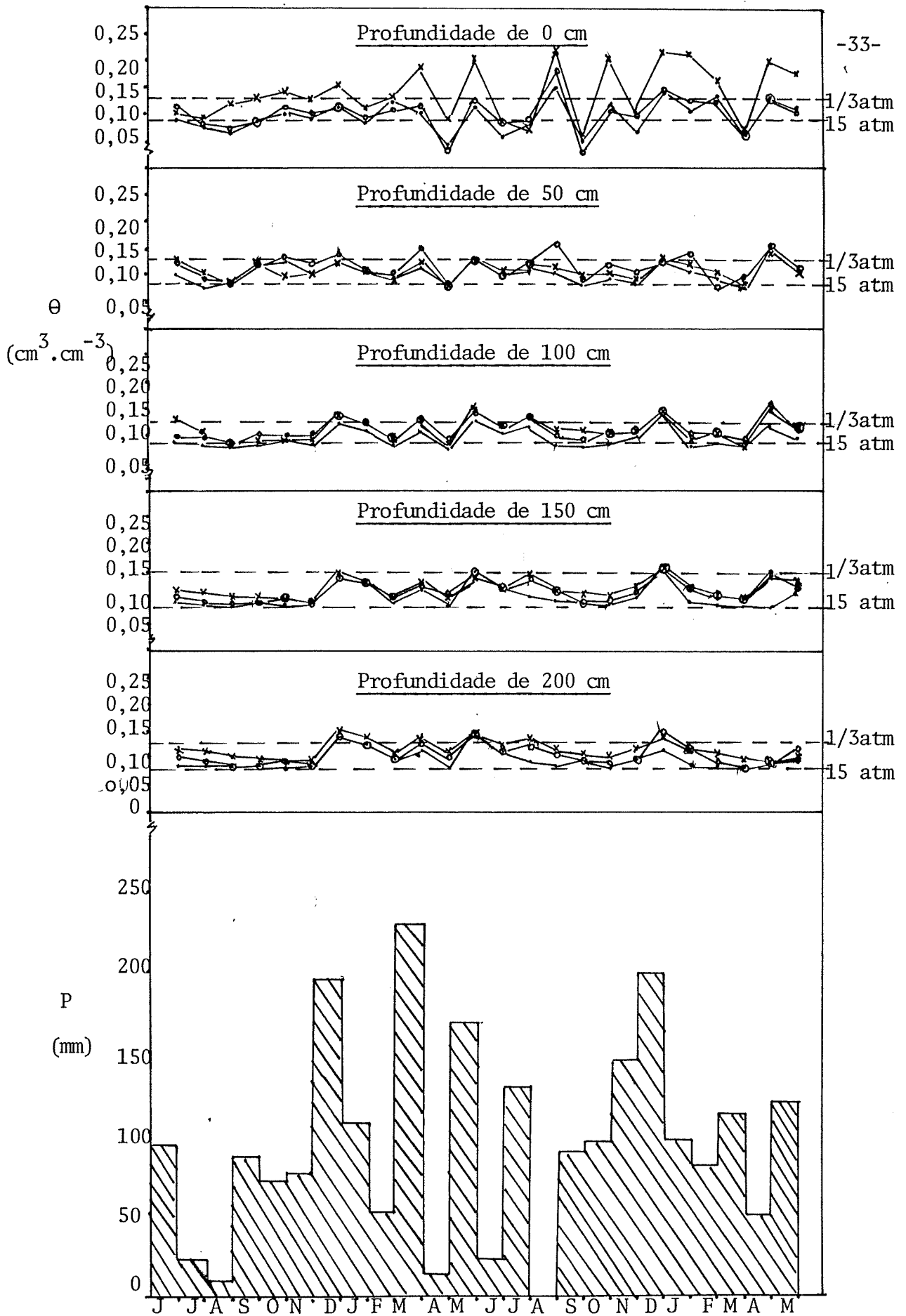


Figura 9: Variação mensal do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades.

×—× Cerrado    o—o *Pinus oocarpa*    •—• *Pinus caribaea*

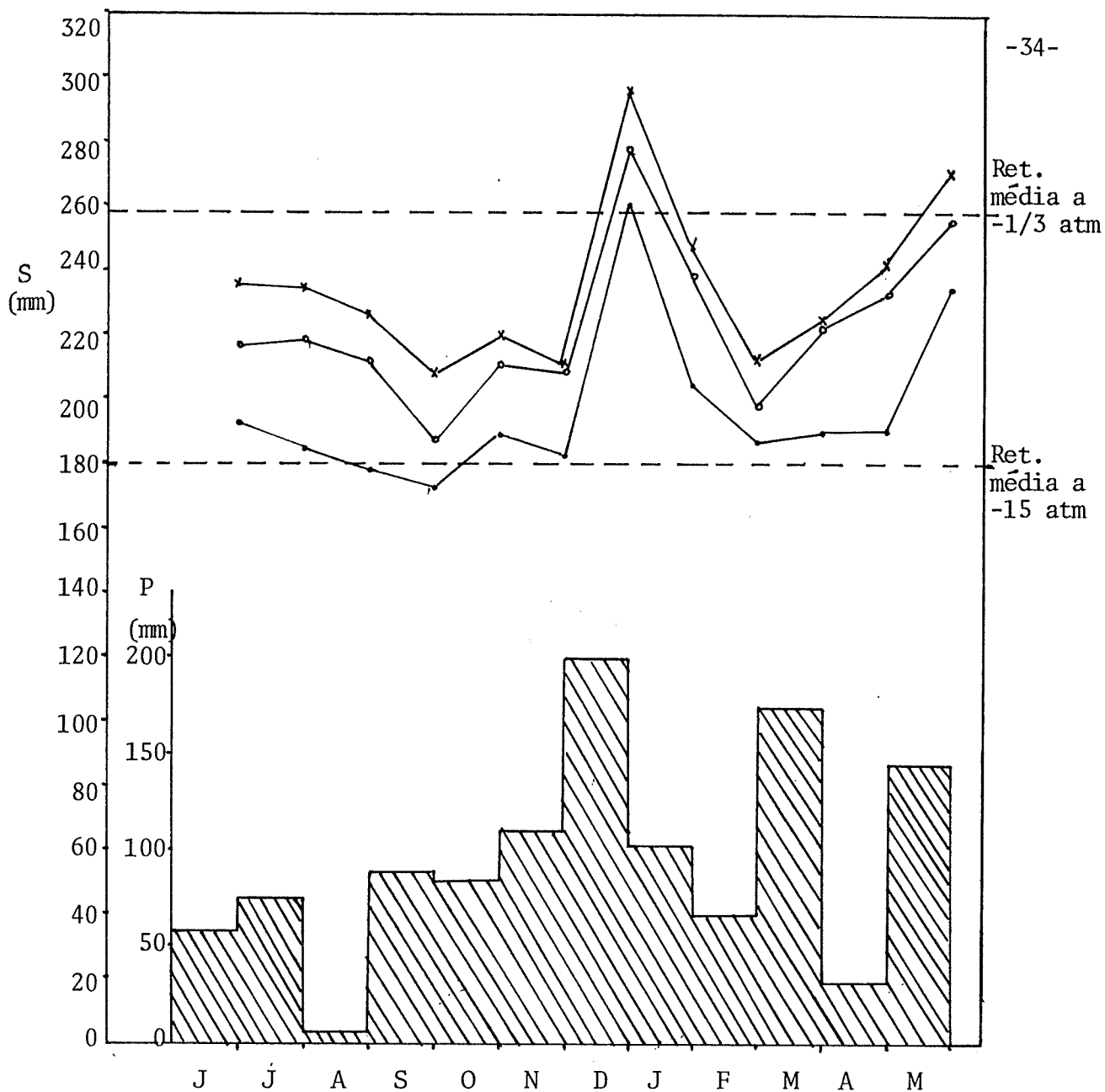


Figura 10: Regime médio anual da água do solo para os 2 metros de perfil (S) nas parcelas de Cerrado e nas de pinheiros tropicais, e valores da precipitação média mensal. Média para 2 anos de medições.

Legenda      x—x Cerrado  
                  o—o *Pinus oocarpa*  
                  •—• *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A Figura 11 foi construída com o objetivo de mostrar a amplitude máxima de variação da umidade do solo durante o período considerado em cada parcela. Os gráficos foram construídos da seguinte forma: todos os valores individuais de umidade do solo em cada um dos três pontos de coleta, em cada parcela, em cada profundidade, e durante os 24 meses foram analisados, e o valor máximo encontrado em cada profundidade foi usado no gráfico. Os valores mínimos foram selecionados identicamente.

Já na Figura 12 os valores máximos e mínimos de umidade no perfil do solo correspondem a determinações individuais de umidade, diferindo da figura anterior portanto. Na Figura 12 a determinação de umidade realizada em 31/08/77 foi a que deu os resultados mais baixos de conteúdo de água no solo nas três parcelas estudadas. Os resultados desta determinação é que estão contidos no lado "A" da Figura 12, onde aparece também a curva dos valores médios de retenção de umidade a  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas em cada profundidade do perfil. No lado "B" da Figura 12, as curvas representam os resultados da determinação de umidade do solo realizada em 02/01/79, a qual apresentou os resultados mais altos de conteúdo de umidade em todo o período. Neste lado "B" foi colocado apenas o valor médio de retenção de umidade a  $-1/3$  atmosfera, por conveniência da escala do gráfico.

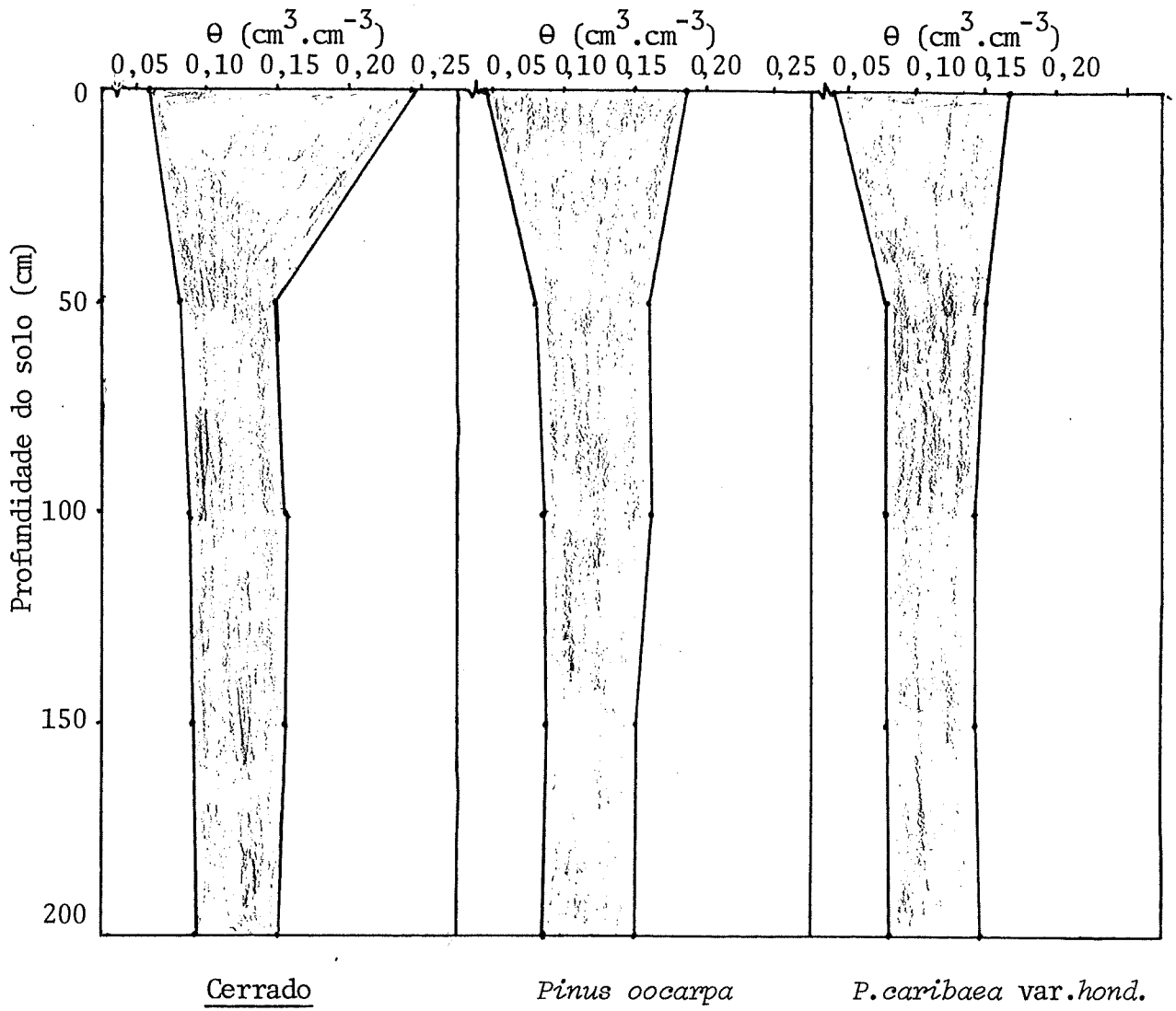


Figura 11: Variação máxima do conteúdo de água no solo para os 200 centímetros de perfil, durante o período de estudo (2 anos).

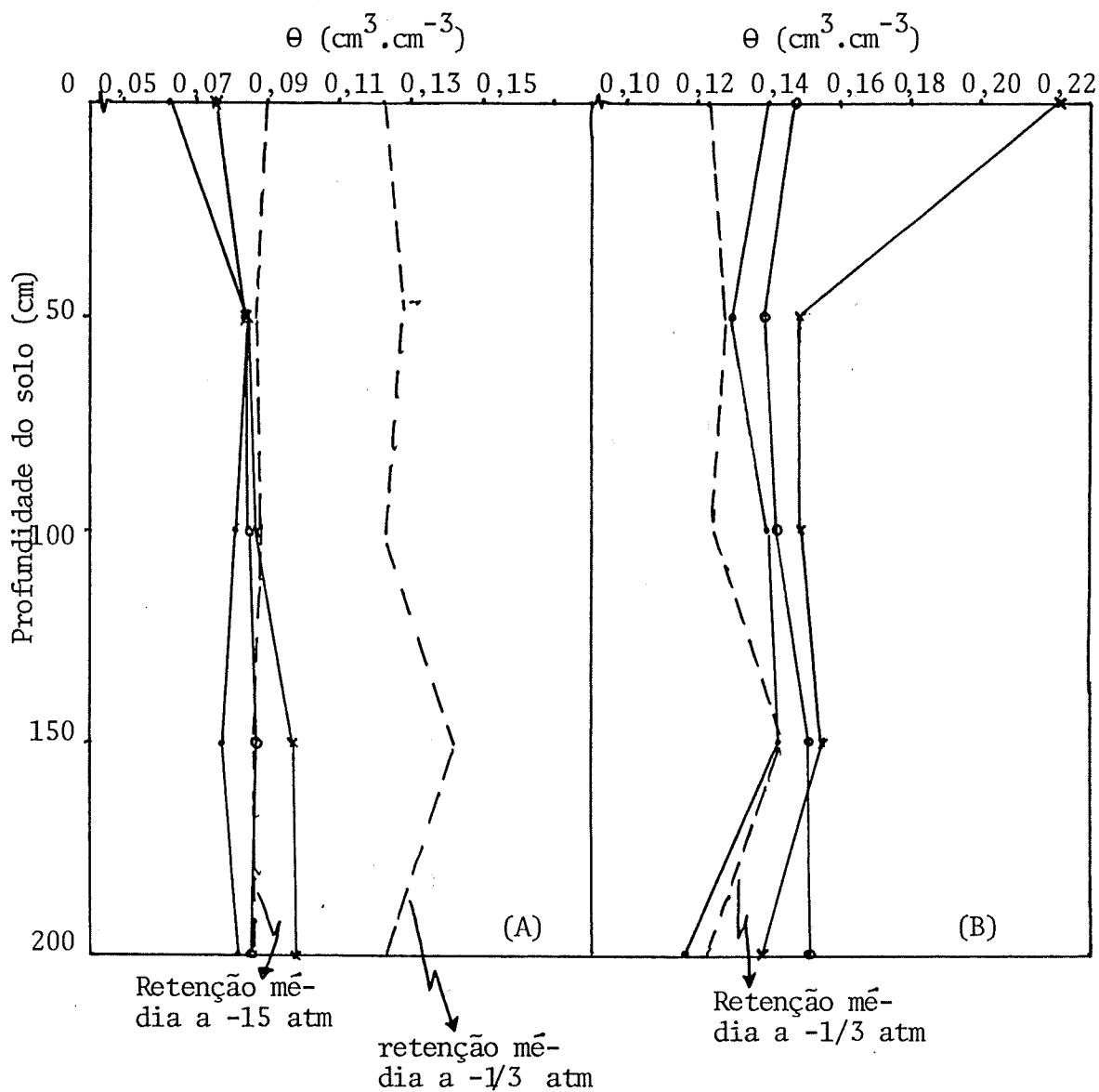


Figura 12: Distribuição da água no perfil do solo para os 200 cm de profundidade, em duas ocasiões: (A) leitura mínima de teor de umidade verificada durante o período experimental, realizada em 31/08/77; (B) leitura máxima verificada em 02/01/79.

— Cerrado      — *P. oocarpa*      — *P. caribaea*

A figura 13, finalmente, tem por objetivo mostrar a distribuição do conteúdo médio de água no solo durante o período chuvoso (outubro a março) e durante o período seco (abril a setembro) do ano. As curvas do lado "A" da Figura 13 representam as médias de 12 meses dos períodos secos dos dois anos do período experimental, para cada uma das parcelas. O lado "B" , por sua vez, mostra as curvas médias dos 12 meses dos períodos chuvosos. Em ambos os lados são, também, mostrados os valores médios de retenção de umidade a  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas de pressão, para cada profundidade no perfil.

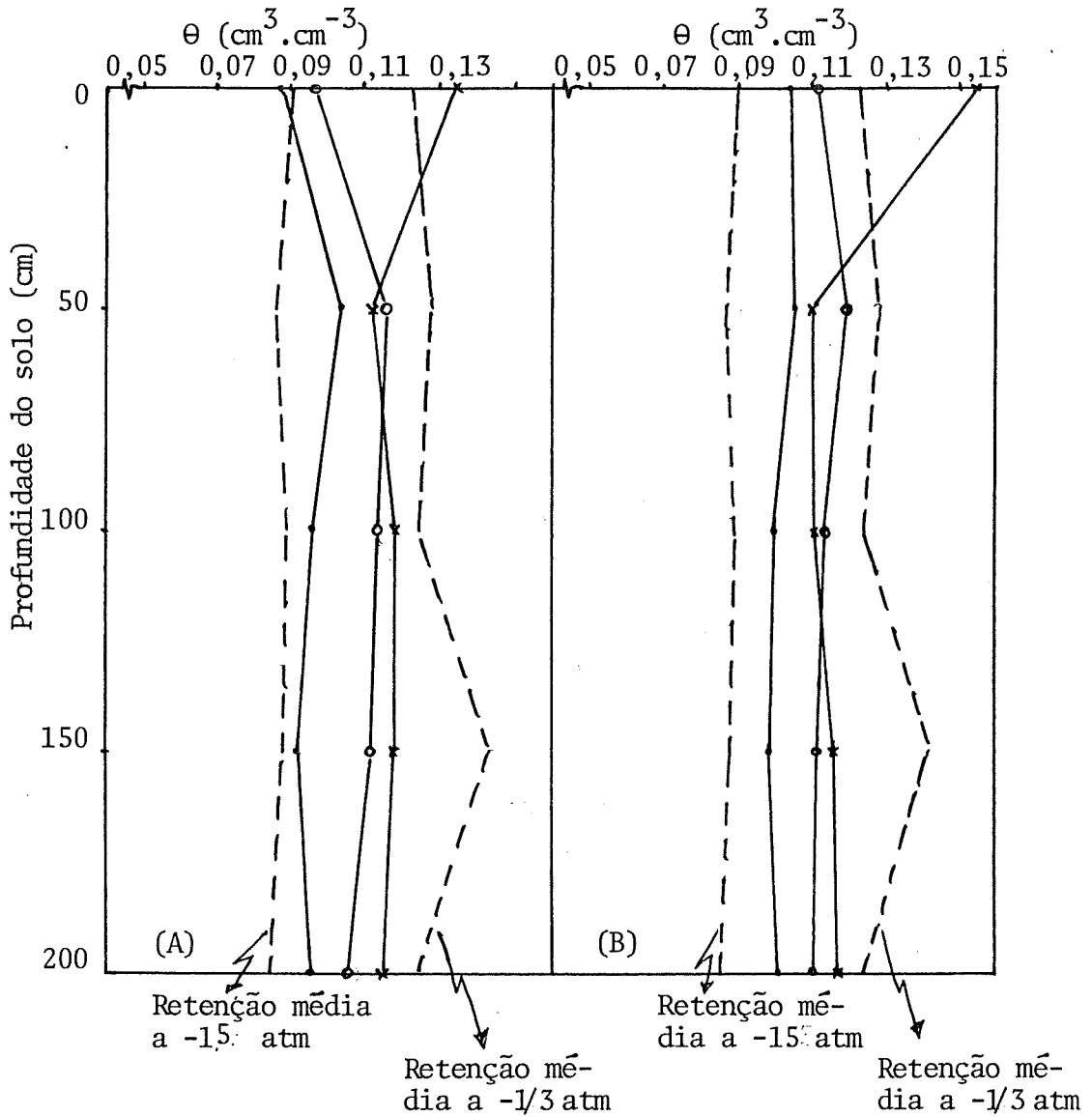


Figura 13: Conteúdo médio de umidade no perfil de 2 metros de solo. (A) média do período seco (abril a setembro), 1977 a 1979; (B) média do período chuvoso (outubro a março) 1977 a 1979.

x—x Cerrado    o—o *P. oocarpa*    •—• *P. caribaea*



## 5. DISCUSSÃO

Na Tabela 3 e na Figura 8 pode-se observar a distribuição mensal da precipitação que forneceu, durante o período experimental, a água que influenciou o regime da água do solo nas florestas de pinheiros tropicais e no cerrado. Embora, em termos médios (Figura 10) a precipitação medida durante o experimento segue uma distribuição mensal e estacional semelhante ao regime pluviométrico normal para a região (BLANCO e GODOY, 1967), algumas diferenças em relação a esta média ocorreram nos dados de precipitação medidos durante o período. O mês de agosto, por exemplo, foi praticamente sem chuva em 1977 e completamente seco em 1978. O mês de maio, por outro lado, foi mais chuvoso do que a média tanto em 1978 como em 1979. O mês de julho de 1978 apresentou, também, precipitação bem acima da média normal para o mês.

Estas considerações são importantes em estudos do regime da água do solo em períodos relativamente curtos, pois as discrepâncias que normalmente ocorrem ano a ano na precipitação mensal em um dado local podem induzir a generalizações errôneas. Durante o período de

estudo, por exemplo, não se observa, no regime da água do solo mostrado na Figura 10, um período característico de recarga, nem um período característico de depleção, ou de esgotamento, da água do solo para as condições da área experimental. Semelhantemente, o regime pluviométrico verificado no período foi tal que não resultou em diferença marcante nos conteúdos médios de água armazenada no solo entre o período seco e o período úmido do ano (Figura 13).

Os resultados de retenção de umidade e de densidade aparente mostrados na Tabela 4 estão, em geral, de acordo com outros resultados encontrados para solos de cerrados. No que diz respeito à capacidade de armazenamento de água, verifica-se que o solo da área estudada apresenta um valor médio baixo de capacidade de retenção de água, o que é, em geral, característico dos solos do cerrado (RANZANI, 1971a), (REICHARDT, 1977).

Os resultados da determinação da retenção de umidade do solo a  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas de pressão devem ser considerados com as reservas já discutidas na revisão da literatura. Longe de representarem os limites fixos de água disponível no solo em questão, estes valores médios de umidade a  $-1/3$  e  $-15$  atmosferas devem fornecer apenas alguma indicação da quantidade de água disponível. No caso de florestas, o limite inferior pode variar e atingir valores muito maiores do que  $-15$  atm (FRALISH e alii, 1978). E o conceito de  $-1/3$  atm como limite superior também é discutível. FERNANDES et alii (1978) apresentam comparações entre o conteúdo de umidade do solo submetido a potenciais de  $-1/3$  e de  $-15$  atm, e o conteúdo de umidade à capacidade de campo obtido em colunas de solo submetidas a

saturação e subsequente drenagem durante 2 dias, e o conteúdo de umida de relativo ao ponto de murchamento permanente obtido pelo método biológico. Para solos de cerrado os valores encontrados foram os seguintes:

capacidade de campo (colunas de solo) :	$\theta = 20,8 \%$
retenção de umidade a $-1/3$ atm :	$\theta = 14,6 \%$
Ponto de murchamento permanente (biol.)	$\theta = 9,9 \%$
Retenção de umidade a $-15$ atm :	$\theta = 10,3 \%$

Observa-se que o limite inferior foi praticamente o mesmo em ambos os casos, embora a determinação do PMP pelo método biológico tenha utilizado o feijão como planta indicadora. Já o limite superior obtido pela coluna de solo foi maior do que o correspondente a  $-1/3$  atm.

As referências à água disponível nas discussões que se seguem devem ser pesadas com base nestas considerações.

As curvas da Figura 8 mostram o regime da água do solo, ou seja as variações mensais do conteúdo de umidade do solo nos três tipos de vegetação estudados. Para os 2 metros de perfil de solo, observa-se, pela análise da Figura 8, que houve grande variação mês após mês no conteúdo de água no solo. Aparentemente o conteúdo de umidade atinge valores inferiores àquele correspondente a  $-15$  atm em duas ocasiões durante o ano, quais sejam agosto-setembro e março-abril. O solo, por outro lado, responde rapidamente às precipitações ocorridas, atingindo frequentemente teores de umidade superiores àquele correspondente a  $-1/3$  atm. De modo geral, todavia, na maior parte do tempo o conteúdo

de umidade nas três parcelas situou-se entre os valores correspondentes a  $-1/3$  e  $-15$  atm, e isto pode ser melhor observado através da Figura 10.

Nota-se ainda na Figura 8 que o solo sob cerrado esteve, em geral, sempre mais úmido do que o solo sob as florestas de pinheiros tropicais. Entre as duas espécies de pinheiros, o solo esteve sempre mais úmido na parcela de *Pinus oocarpa*; o solo sob *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, portanto, foi o que esteve sempre mais seco através do período experimental.

Em termos do total de água armazenada (S) no perfil de 2 metros de solo, estas observações sobre o fato de o solo sob *Pinus caribaea* var. *hondurensis* estar sempre mais seco do que o solo sob *Pinus oocarpa* e este, por sua vez, pouco mais seco do que o solo sob cerrado podem, ainda, ser analisadas pelas curvas das Figuras 14, 15 e 16. Estas figuras mostram a comparação entre o total de água armazenada no solo de um tipo vegetal em relação ao outro, ou seja entre o cerrado e o *P. caribaea* (Figura 14), o cerrado e o *P. oocarpa* (Figura 15), e entre as duas espécies de pinheiros tropicais (Figura 16). As diferenças no regime da água do solo entre as vegetações estudadas, não tão aparentes na Figura 8, um pouco mais evidentes na Figura 10, são melhor visualizadas nestas comparações. As diferenças do conteúdo de água no solo entre o cerrado e o *P. caribaea* var. *hondurensis* foram maiores, seguidas pelas diferenças entre as duas florestas de pinheiros e, finalmente, pelas diferenças entre o cerrado e o *Pinus oocarpa*, que foram as menores. Numericamente, baseando-se nas equações desenvolvidas para as curvas das Figuras 14, 15 e 16, para um va-

lor de 210 mm de água armazenada no perfil de solo sob floresta de *P. caribaea* var. *hondurensis*, o valor correspondente no solo sob cerrado seria de 250 mm, e o valor no solo sob *P. oocarpa* seria de 238 mm. Por outro lado, para 210 mm de água armazenada no solo sob *P. oocarpa* o valor correspondente na parcela do cerrado seria de 222 mm.

A Figura 8 mostra ainda que estas diferenças aparentemente não se mantêm constantes ao longo do ano. De fato, pode ser notada ligeira tendência a uma acentuação da diferença de conteúdo de umidade no solo entre as parcelas no período mais seco do ano (junho a outubro, no caso da Figura 8), sendo que no período chuvoso as curvas tendem a estar mais próximas umas das outras, ou seja, as diferenças tendem a ser menores.

GOODLAND e FERRI (1979) afirmam que a vegetação do cerrado não é, de modo geral, decídua, mas que algumas espécies chegam realmente a perder as folhas durante a estação seca. Afirmam ainda que o estrato inferior, todavia, é mais sazonal, e que quase todas as gramíneas e muitas das ervas tornam-se secas. Os pinheiros tropicais, como as coníferas em geral, transpiram o ano todo, e estas diferenças explicam, em parte, as tendências observadas no regime da água do solo mostrado na Figura 8.

A análise dos valores médios individuais de umidade do solo para cada profundidade, em cada uma das parcelas estudadas, dá alguma indicação de que as diferenças globais (para todo o perfil) mostradas na Figura 8 (e na Figura 10 também) não deveriam manter-se ao longo das profundidades estudadas. De fato, quando se examina o regime da água do solo em cada uma das camadas ou das profundidades de

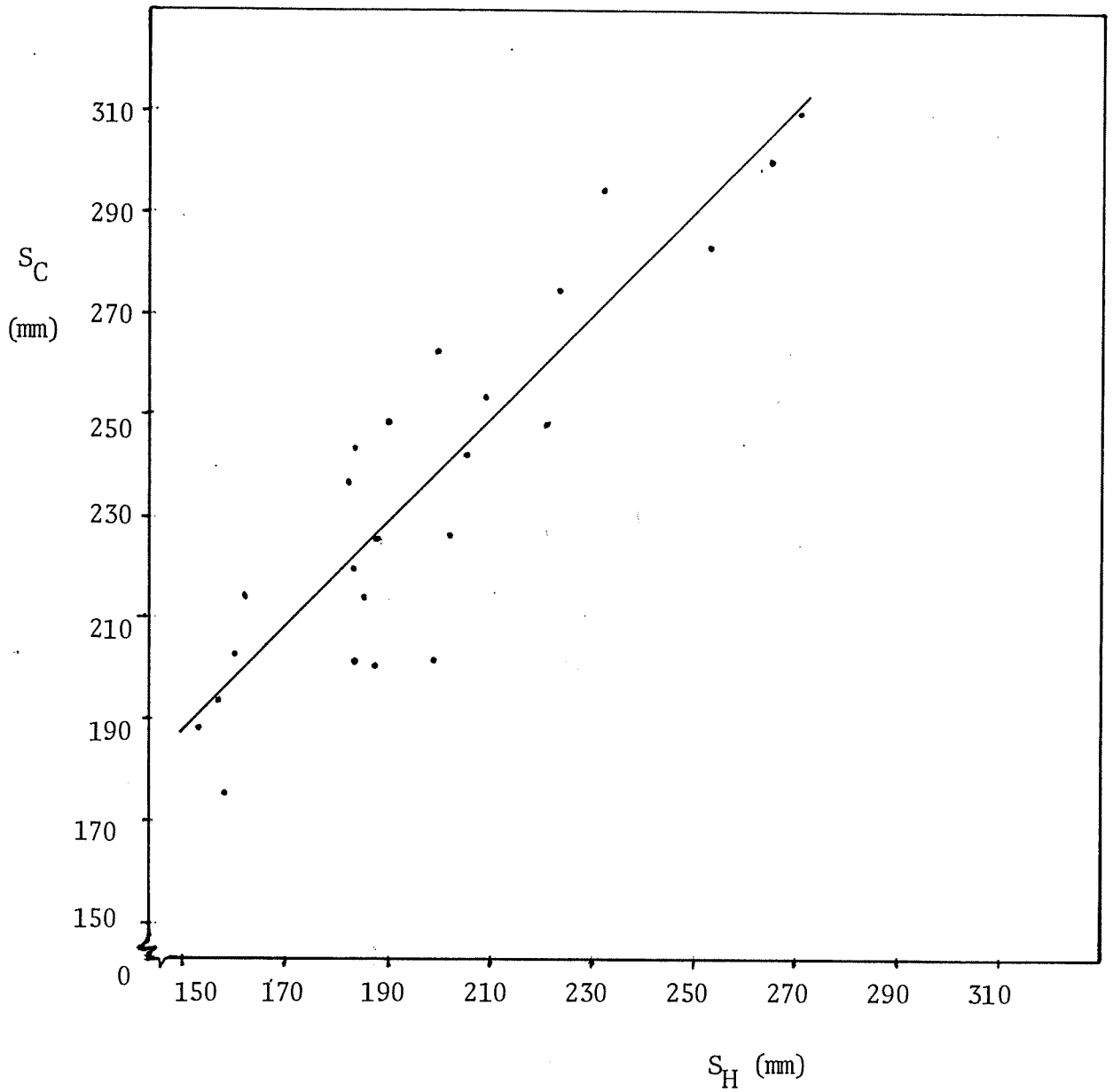


Figura 14: Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 cm de solo (S) entre o Cerrado ( $S_C$ ) e a floresta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ( $S_H$ ).

$$S_C = 33,54 + 1,03 S_H$$

$$r^2 = 0,81$$

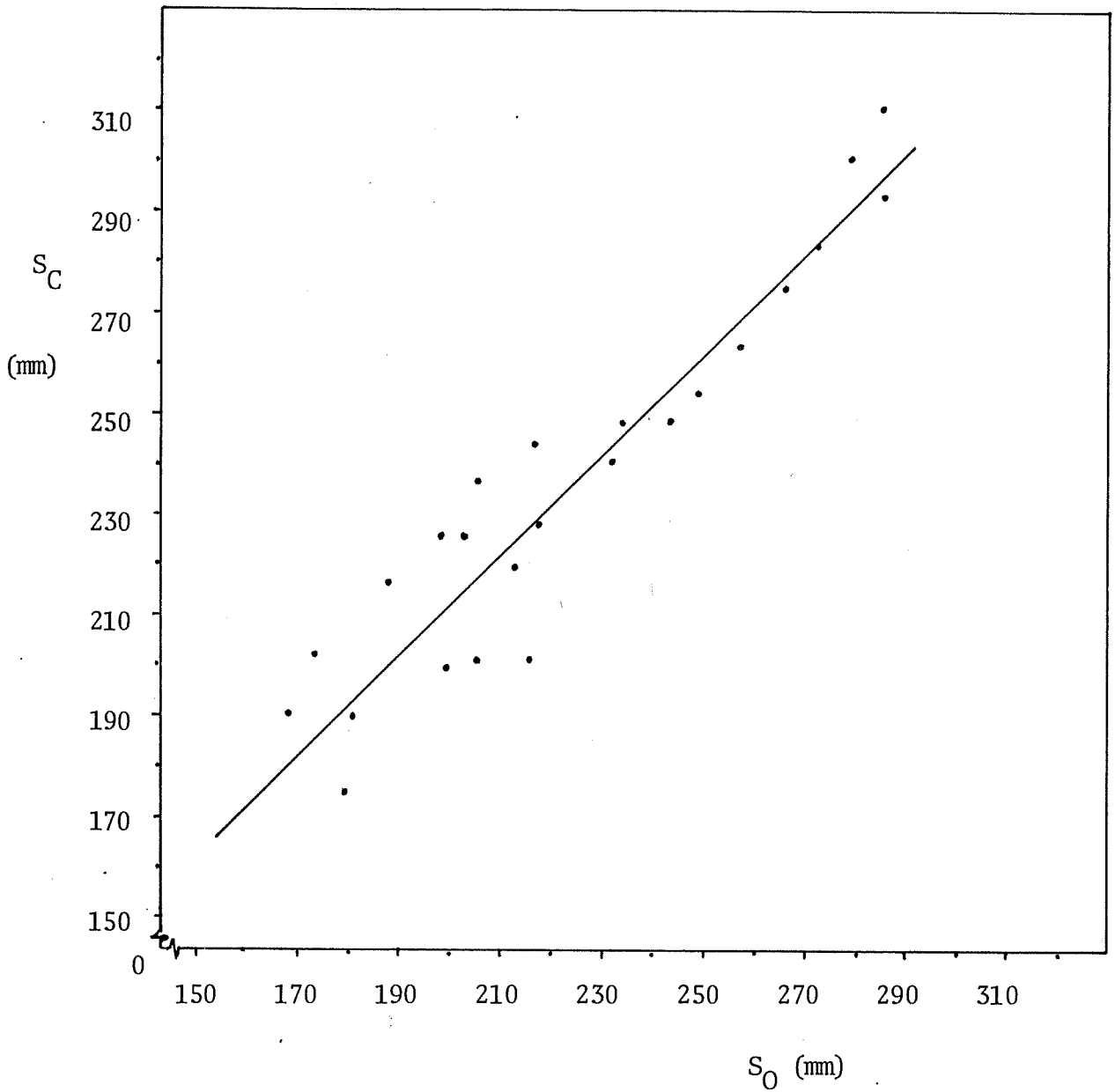


Figura 15: Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 cm (S) entre o cerrado ( $S_C$ ) e a floresta de *Pinus oocarpa* ( $S_O$ ).

$$S_C = 19,33 + 0,97 S_O$$

$$r^2 = 0,89$$

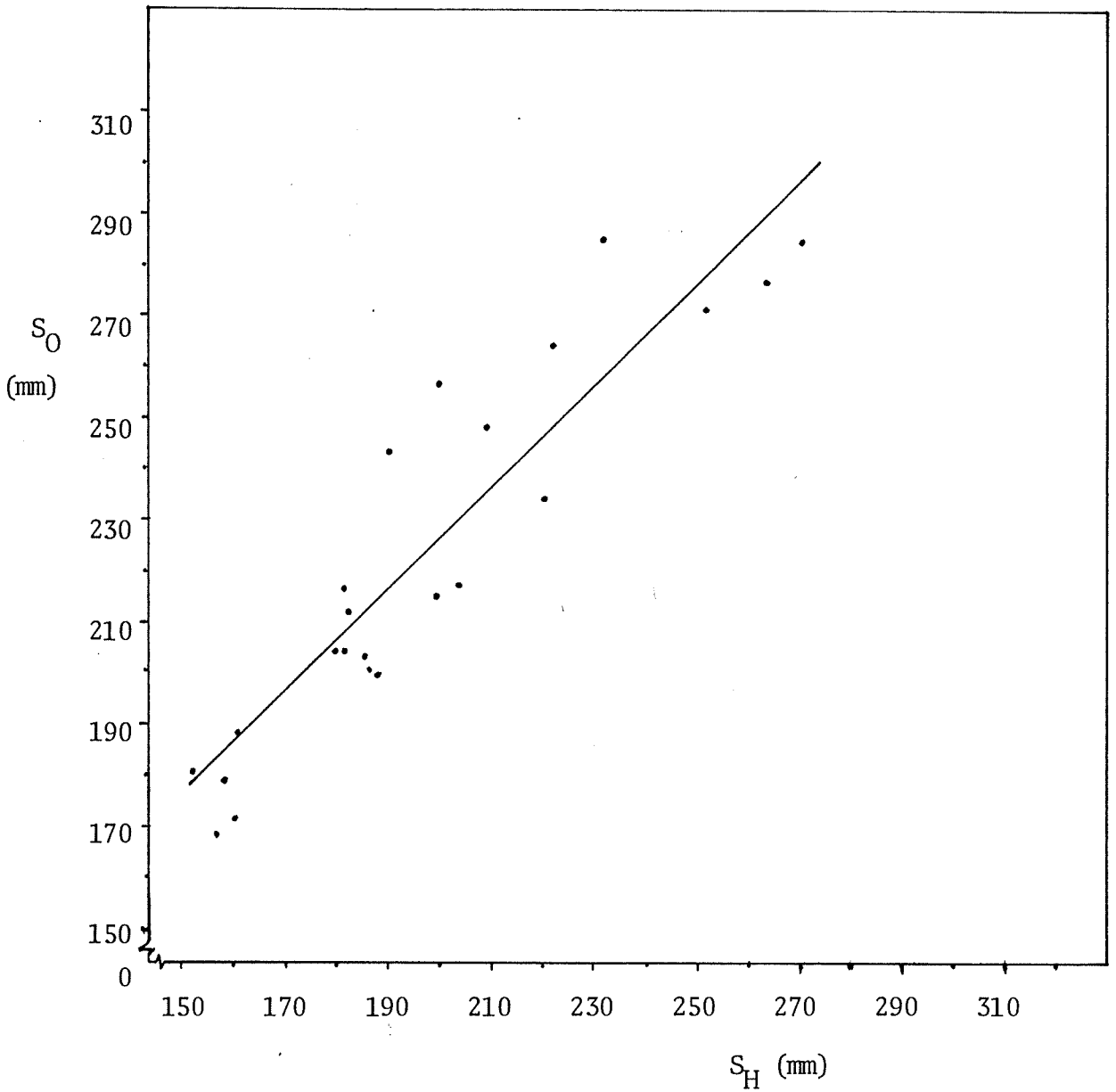


Figura 16: Comparação do total de água armazenada no perfil de 200 cm (S) entre as florestas de *Pinus oocarpa* ( $S_O$ ) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ( $S_H$ ).

$$\text{—} \hat{S}_O = 21,60 + 1,02 S_H$$

$$r^2 = 0,84$$



solo mostrado na Figura 9, pode-se observar que houve muita variação dos valores mensais de água do solo na camada superficial, além de uma diferença relativamente maior entre as parcelas nesta camada.

À profundidade de 50 cm esta variação mensal diminuiu sensivelmente, mas é ainda mais acentuada em relação às camadas mais profundas. A partir da camada de 100 cm e até a profundidade de 200 cm compreendidas pelo estudo, nota-se tendência a uma uniformização do regime, ou da variação mensal da água do solo nos três tipos de vegetação estudados.

A tendência observada de o solo sob *P.caribaea* var. *hondurensis* se mostrar mais seco, seguido do solo sob *P.oocarpa*, ligeiramente mais úmido, e do solo sob cerrado, mais úmido do que ambos, pode, também, ser notada nas diferentes profundidades. Observe-se, todavia, que estas diferenças de conteúdo de umidade começam a ficar sensivelmente menores, e mesmo desaparecendo em muitos meses durante o ano, a partir de 100 cm de profundidade.

A análise do regime da água do solo, portanto, mostra, até aqui, que foram observadas diferenças entre os valores mensais de umidade no solo, diferenças entre as espécies de pinheiros tropicais e o cerrado, assim como diferenças entre as profundidades estudadas. Com o intuito de testar a significância destas diferenças, os dados utilizados para a construção da Figura 9 (constantes do Anexo) foram submetidos a análise de variância.

Inicialmente os dados de cada parcela foram analisados em esquema de blocos casualizados, a fim de evidenciar as diferenças

entre profundidades em cada parcela individualmente, ou em cada tipo de vegetação. Os resultados destas análises constam das Tabelas 5, 6 e 7, para as parcelas de *P.caribaea* var. *hondurensis*, *P.oocarpa* e Cerrado, respectivamente. A significância para meses não constitui novidade, e os resultados para profundidades confirmam o que já foi discutido na análise da Figura 9. Não houve diferença estatística nos teores de umidade entre as profundidades no caso da floresta de *Pinus caribaea* var.*hondurensis* . Pode-se dizer, por outro lado, que para a floresta de *Pinus oocarpa* a análise estatística revela indícios de alguma diferença entre as profundidades. Já para o caso do Cerrado, as diferenças nos teores de umidade entre as profundidades foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 5: Análise de Variância para os valores mensais médios do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a floresta de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Profundidade (D)	4	16,60	4,15	1,66 n.s.
Meses (M)	23	318,20	13,83	5,53 **
Resíduo	92	229,83	2,50	
Total	119	564,63		

Tabela 6: Análise de variância para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a floresta de *P. oocarpa* .

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Profundidades (D)	4	24,72	6,18	2,52 *
Meses (M)	23	387,00	16,83	6,87 **
Resíduo	92	225,81	2,45	
Total	119	637,53		

Tabela 7: Análise de variância para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo nas diferentes profundidades para a parcela de Cerrado.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Profundidades (D)	4	182,55	45,64	7,52 **
Meses (M)	23	462,06	20,09	3,31 **
Resíduo	92	558,07	6,07	
Total	119	1 202,68		

Após esta análise preliminar, procedeu-se a uma análise de variância conjunta, cujos resultados são apresentados na Tabela 8. A análise conjunta mostra que há indícios (significância ao nível de

5% de probabilidade) de que as diferenças no regime da água do solo encontradas entre as espécies, isto é, entre as duas espécies de pinheiros tropicais e a parcela de cerrado, sejam reais. A confirmação desta suposição foi feita pela comparação das médias pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8: Análise de variância conjunta para os valores médios mensais do conteúdo de umidade no solo das diferentes vegetações estudadas.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies (E)	2	301,46	150,73	6,37 *
Profundidades (D)	4	32,80	8,20	0,35 ns
Interação (ExD)	8	189,16	23,65	2,15 *
Resíduo médio	276	1 013,71	11,02	

A comparação das médias pelo Teste de Tukey é a seguinte:

<u>Médias do Conteúdo de Umidade</u>			dms 5% = 1,79
<u>P. caribaea</u>	<u>P. oocarpa</u>	<u>Cerrado</u>	
9,83	11,07	12,07	

O Teste de Tukey mostra que apenas a floresta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* diferiu significativamente (ao nível de 5% de probabilidade) da vegetação de cerrado; em outras palavras, apenas

o solo sob a floresta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* mostrou-se significativamente mais seco do que o solo sob cerrado. Não houve diferença significativa entre as duas espécies de pinheiros tropicais, assim como não foi significativa a diferença de regime da água do solo entre a floresta de *Pinus oocarpa* e o cerrado.

A significância da interação (ExD) na análise conjunta da Tabela 8 indica, por outro lado, que as espécies atuam diferentemente nas diferentes profundidades. Desta forma, procedeu-se ao desdobramento dos graus de liberdade da interação. A Tabela 9 contém os resultados do desdobramento entre espécies e dentro de cada profundidade. Verifica-se, pelos resultados da Tabela 9, que as diferenças entre as espécies comentadas na Tabela anterior, ou seja que a diferença do regime da água do solo entre a floresta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a vegetação natural de cerrado é significativa apenas na camada superficial do solo. A confirmação deste resultado foi, então, feita pela comparação das médias através do teste de Tukey, que apresentou os seguintes resultados:

Médias do Conteúdo de Umidade na Profundidade de 0 cm

<u>P. caribaea</u>	<u>P. oocarpa</u>	<u>Cerrado</u>	dms (1%) = 2,57
9,63	10,43	14,51	

O resultado do teste de Tukey mostra que o conteúdo médio de umidade na camada superficial do solo sob cerrado foi significativamente maior do que os conteúdos medidos sob as florestas de pinheiros tropicais. Entre estas, todavia, não houve diferença significativa.

Tabela 9: Desdobramento dos graus de liberdade da interação (E x D) da análise conjunta da Tabela 8.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Entre espécies e dentro de 0	2	329,50	164,75	14,95 **
Entre espécies e dentro de 50	2	18,88	9,44	0,86 ns
Entre espécies e dentro de 100	2	41,97	20,99	1,90 ns
Entre espécies e dentro de 150	2	62,41	31,21	2,83 ns
Entre espécies e dentro de 200	2	37,86	18,93	1,72 ns
Resíduo médio	276	1 013,71	11,02	

Finalmente, restava o desdobramento da interação entre profundidades e dentro de cada espécie, cujos resultados são mostrados na Tabela 10. Verifica-se que somente o solo sob cerrado apresentou diferenças significativas de teor de umidade entre as profundidades de solo medidas.

Tabela 10: Desdobramento dos graus de liberdade da interação (D x E) da análise conjunta da Tabela 8.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Entre Prof. dentro de PH	4	14,67	3,67	0,33 ns
Entre Prof. dentro de PO	4	24,75	6,19	0,56 ns
Entre Prof. dentro de C	4	182,53	45,63	4,14 **

A comparação das médias pelo teste de Tukey é dada a seguir:

Média do conteúdo de umidade para as profundidades na parcela de cerrado

0 cm	150 cm	200 cm	100 cm	50 cm	$dms_{(1\%)} = 3,12$
14,51	11,66	11,59	11,45	11,14	

Verifica-se, portanto, que a diferença indicada pela análise de variância não foi significativa entre todas as camadas, mas apenas entre a camada superficial e a camada de 50 cm de profundidade, ou seja, o conteúdo de umidade médio na camada superficial do solo sob cerrado foi significativamente maior do que aquele da camada de 50 cm, mas não diferiu significativamente daqueles medidos nas demais profundidades.

Para as florestas de pinheiros tropicais, o regime da água do solo foi o mesmo em todas as camadas do solo estudadas.

Na Figura 11 estas diferenças de regime entre as camadas e entre as espécies podem, também, ser visualizadas. A Figura 11 é uma ilustração da amplitude máxima de variação da água do solo nas diferentes parcelas durante o período experimental. Ela dá uma indicação da amplitude de absorção de água pelas raízes dos diferentes tipos de vegetação estudados durante o período. As diferenças (significativas) de regime na camada superficial é novamente evidenciada, mas pode-se também observar a semelhança de comportamento ao longo do perfil que prevaleceu durante os dois anos de medição.

*caribaea* var. *hondurensis* (11,9%). No caso do cerrado, esta água interceptada tenderia a chegar ao solo mais lentamente, pois o processo de interceptação não ocorre apenas nas copas, como no caso das florestas de pinheiros, mas também nos estratos inferiores, que agiriam no sentido de re-interceptar a água da precipitação interna. Esta maior capacidade de retenção de umidade da serapilheira no cerrado funcionaria, então, no sentido de redistribuir mais lentamente a água (interceptada) das chuvas ao solo. Este aspecto, aliado à menor taxa de evaporação por insolação direta nas camadas superficiais do solo, seria, assim, parte das explicações para o maior conteúdo médio de umidade na camada superficial do cerrado em comparação com as florestas de pinheiros.

Finalmente, as diferenças observadas entre as duas espécies de pinheiros tropicais estudadas. Embora as diferenças quantitativas na marcha da depleção da água do solo em ambas não tenham sido estatisticamente significativas, seria interessante comentá-las levando em conta aspectos silviculturais das duas espécies. A Tabela 2 mostra algumas diferenças de desenvolvimento entre elas, sendo que a floresta de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresenta melhor crescimento do que a de *P. oocarpa*. BERTOLANI e NICOLIELO (1977) afirmam que as florestas de *P. caribaea* var. *hondurensis* em Agudos vêm apresentando desenvolvimento volumétrico considerado excelente, com incremento médio anual de  $28 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  de madeira sem casca à idade de 15 anos, apresentando, todavia, alta percentagem de árvores defeituosas. Já o *P. oocarpa*, segundo estes autores, apresenta, em geral, incremento médio anual de  $20 \text{ a } 25 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  à mesma idade, apresentando, contudo,



poucos defeitos e boa forma. Dados não publicados relativos às mesmas florestas de pinheiros tropicais em Agudos, por outro lado, mostram diferenças também no que diz respeito à densidade da madeira, conforme apresentado na Tabela 11:

Tabela 11: Densidade da madeira em  $\text{g/cm}^3$  para amostras de árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* em Agudos (dados no arquivo da CAFMA) -

Espécie	Idade (anos)	Densidade média ( $\text{g/cm}^3$ )
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	6	0,351
	12	0,408
	14	0,417
<i>Pinus oocarpa</i>	6	0,390
	12	0,413
	13	0,443

Para as parcelas onde foram tomadas as medições de água do solo para o presente estudo, os dados de inventário das árvores remanescentes somados ao volume de madeira efetivamente retirado nos desbastes já realizados resultam nos seguintes valores para o incremento médio anual:

*P. caribaea* var. *hondur.* :  $29,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  (sem casca)  
*P. oocarpa* :  $21,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  (sem casca)

Observa-se, portanto, que o *P. oocarpa* apresenta desenvolvimento menor do que o *P. caribaea* var. *hondurensis*. Esta diferença de crescimento, todavia, deve ser analisada em termos tanto da melhor forma geral das árvores e da maior densidade da madeira, assim como, do ponto de vista hidrológico, em termos dos resultados obtidos no presente estudo, isto é, da tendência observada de um menor consumo da água do solo por parte da floresta de *P. oocarpa* .

Parte das diferenças observadas deve ser também devida às diferenças de interceptação já citadas. RUTTER (1968), SINGH e SZEICZ (1979), e BORMAN e LIKENS (1979) apresentam resultados que mostram outra implicação importante do processo de interceptação em florestas. SINGH e SZEICZ (1979), por exemplo, determinaram que a evaporação da água interceptada ocorre a uma taxa cerca de 2 a 3 vezes maior que a transpiração que ocorreria se não houvesse chovido, e que cerca de 1/3 a 1/20 da água interceptada corresponde à economia da água do solo que não é gasta em consequência da redução da transpiração. Com base nestes resultados, os dados preliminares de interceptação nas parcelas experimentais representam uma explicação adicional aos regimes da água do solo apresentados pelas florestas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* , *Pinus oocarpa* , e pela vegetação de cerrado em Agudos.

## 6. CONCLUSÕES

Para as condições de clima, solo e de vegetação reinantes durante o período experimental, os resultados obtidos e as análises desenvolvidas permitem as seguintes conclusões gerais:

a) de modo geral, o solo sob cerrado mostrou-se sempre mais úmido do que os solos sob florestas de pinheiros tropicais;

b) entre as florestas de pinheiros, o solo sob *Pinus oocarpa* mostrou-se mais úmido do que o solo sob *Pinus caribaea* var. *hondurensis*;

c) do ponto de vista estatístico, apenas o cerrado apresentou uma depleção da água do solo significativamente menor do que as florestas de pinheiros tropicais. Entre estas, a marcha anual da água do solo foi semelhante;

d) levando em conta as diferentes profundidades do perfil do solo, a diferença significativa determinada para a parcela de cerrado ocorreu apenas na camada superficial, onde o solo sob cerrado foi significativamente mais úmido do que o solo em ambas as florestas de pinheiros;

e) na parcela de cerrado, este maior conteúdo de umidade da camada superficial foi significativamente diferente apenas daquele observado à profundidade de 50 cm, sendo que as demais profundidades não diferiram entre si e nem da camada superficial;

f) nas florestas de pinheiros tropicais não houve diferenças na depleção da água do solo ocorrida nas diferentes profundidades do perfil estudado;

g) tomados no conjunto, estes resultados permitem afirmar que a análise do regime ou da marcha anual da água do solo no perfil de 2 metros não revelou nenhum efeito adverso à água do solo em consequência do reflorestamento de áreas do cerrado com espécies de pinheiros tropicais;

h) dentre as espécies de pinheiros tropicais estudadas, o *Pinus oocarpa* apresentou menor depleção da água do solo do que o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. As diferenças encontradas, todavia, não foram significativas;

i) análise de dados de crescimento dos povoamentos estudados e de outros povoamentos da mesma espécie em Agudos mostram que o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresenta incremento volumétrico médio anual superior ao *Pinus oocarpa*. As florestas de *Pinus oocarpa*, todavia, apresentam melhor forma e maior densidade da madeira para a mesma idade;

j) estas diferenças de crescimento e as diferenças na taxa de interceptação obtidas através de dados medidos nas parcelas experimentais mas ainda não publicados constituem-se em possíveis explicações para

as diferenças encontradas na marcha anual da água do solo entre as espécies;

k) o *Pinus oocarpa* parece, com base nestes resultados, ser espécie mais adequada para o reflorestamento em áreas de cerrado. Aliado a um crescimento relativamente bom, o regime da água do solo foi praticamente idêntico àquele verificado no solo sob a vegetação original de cerrado.

## 7. RESUMO

Dados referentes a 24 meses de determinação da umidade do solo em florestas de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, de *Pinus oocarpa* Schiede, ambas com 12 anos de idade, e em uma reserva de cerrado foram utilizados para a caracterização do regime da água do solo nestes diferentes tipos de vegetação.

O trabalho foi desenvolvido no Município de Agudos, Estado de São Paulo, em área da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre, e constou da medição da precipitação através de 3 pluviômetros colocados em áreas abertas próximas às parcelas, e na determinação gravimétrica da umidade do solo às profundidades de 0, 50, 100, 150 e 200 cm. As amostras foram coletadas mensalmente, com três repetições em cada parcela e em cada profundidade. As parcelas experimentais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de cerrado eram adjacentes, e a parcela de *Pinus oocarpa* distava cerca de 800 metros. O solo nas parcelas era típico de cerrado, arenoso, profundo, bem drenado..

Os resultados coletivamente não mostraram nenhum efei-

to adverso ao regime da água do solo como consequência do reflorestamento de áreas de cerrado com espécies de pinheiros tropicais. O solo sob cerrado manteve-se, durante o período estudado, ligeiramente mais úmido do que o solo nas duas parcelas florestadas. Entre as espécies de pinheiros, o *Pinus oocarpa* foi o que apresentou menor depleção da água do solo, apresentando um regime muito semelhante ao verificado no cerrado. As diferenças de conteúdo de umidade não foram, todavia, significativas, a não ser na camada superficial do solo, onde o teor de umidade médio no cerrado foi significativamente maior do que os correspondentes nas parcelas de pinheiros.

## 8. SUMMARY

Soil moisture was measured during a 24-month period in 12-year old plantations of *Pinus caribæa* Morelet var. *hondurensis* and *Pinus oocarpa* Schiede, as well as in a adjacent natural reserve of cerrado vegetation, and the data were used to determine the soil water regime in these different vegetations.

The experiment was carried out in Agudos, State of São Paulo, in land of the Companhia Agro-Florestal Monte Alegre. It included the measurement of precipitation through the use of three non-recording rain-gauge installed in the open near the experimental plots, and the gravimetric determination of soil moisture at the following soil depths: 0, 50, 100, 150 and 200 centimeters. Soil samples were collected monthly, with three replications in each plot and in each depth. The *Pinus caribæa* var. *hondurensis* plot and the cerrado plot were adjacent, whereas the *Pinus oocarpa* plot was about 800 meters apart. Soil in the area was typical of cerrado soils, being sandy, very deep, and well drained.



The results in general did not show any adverse effect to the soil water regime which could be ascribed to the reforestation of cerrado soils with tropical pine species. The soil under the cerrado vegetation was in general more humid than the soil under the pine plantations throughout the study period. In regards to the pine plantations, the *Pinus oocarpa* species caused smaller depletion of the soil water, presenting an overall soil water regime which was very similar to the one determined in the cerrado. The differences in soil moisture content between the plots were not statistically significant, however. Only at the surface (0 cm depth) the soil moisture content under cerrado was statistically higher than the 0 cm moisture content under pine plantations.

## 9. LITERATURA CITADA

- ASKEW, G.P.; D.J. MOFFATT; R.F. MONTGOMERY; P.L. SEARL, 1971. Soils and Soil Moisture as Factors Influencing the Distribution of Vegetation Formations of the Serra do Roncador, Mato Grosso. In: FERRI, M.G. (Coord.) III Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Ed. Edgard Blucher e Ed. USP. p. 150-160.
- AUSSENAC, G., 1972. The Actual Evapotranspiration of four Forest Stands in the East of France. *Ann. Sci. For.*, 29(3): 369-389. Apud: Selecte Water Resources Abstracts, Washington, 7 (11):5 1974.
- BABALOLA, O. e A.G. SAMIE, 1972. The Use of a Neutron Technique in Studying Soil Moisture Profiles under Forest Vegetation in the Northern Guinea Zone of Nigeria. Tropical Science, London, 14(2): 159-168.
- BALDY, C.; H. POUPON; A. SCHOENENBERGER, 1970. Variations in Soil Moisture Content as a Function of Stand type in Northern Tunisia. *Ann. Inst. Nat. Rech. For. Tunis.*, 4(3). Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 33 (1) : 318, 1972.

- BELL, F.C. e M.T. GATENBT, 1969. Effects of Exotic Softwood Afforestation on Water Yield. Water Res. Found. of Australia, Bull. N.S.W. n° 15, 93 p. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 32:77, 1971.
- BERTOLANI, F. e N. NICOLIELO, 1977. Performance and Tree Improvement Programme of Tropical Pines in the region of Agudos, São Paulo, Brasil. In: Workshop on Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. p.808-818.
- BLACK, C.A., 1968. Soil-Plant Relationships. New York, John-Wiley & Sons, Inc.. 792 p. Chapter 2: Soil Water, p. 70-152.
- BLACK, T.A., 1979. Evapotranspiration from Douglas Fir Stands Exposed to Soil Water Deficits. Water Resources Research, Washington, 15 (1): 164-170.
- BLANCO, H.G. e H. GODOY, 1967. Carta de Chuvas do Estado de São Paulo. São Paulo, Instituto Agrônômico.
- BORMAN, F.H. e G.E. LIKENS, 1979. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. New York, Springer-Verlag. 253 p.
- BREWER, C.W. e N.E. LINNARTZ, 1978. Soil Moisture Utilization by Mature Loblolly Pine Stands in the Coastal Plain of Southeastern Louisiana. In: Soil Moisture-Site Productivity Symposium. Myrtle Beach, S.C., Nov. 1977. USDA Forest Service. p. 296-306.
- BROWN, Jr., J.H. e T.G. BOURN, 1973. Patterns of Soil Moisture Depletion in a Mixed Oak Stand. Forest Science, Washington, 19 (1): 23-30.
- BUBLINEC, E., 1972. Influence of Pine Monocultures on Momentary Soil Moisture. Acta Inst. Forestalis Zvolen., 3:125-160. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 35 (7): 3470, 1974.

- BURROUCHS, Jr., E.R. e J.D. SCHULTZ, 1964. Evapotranspiration and Soil Moisture Depletion. Society of American Foresters, Proc., Denver, 98-101.
- BYRNES, W.R., 1967. Limiting Site Factors in the Development of Forest Watershed Plantations. In: International Symposium on Forest Hydrology, New York, Pergamon Press. p. 629-637.
- CAMARGO, A.P., 1971. Clima do Cerrado. In: FERRI, M.G.(Coord.), Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Ed. Edgard Blucher e Ed. da Universidade de São Paulo. p. 75-95.
- CAMARGO, A.P.; R.R ALFONSI; H.S. PINTO; J.V. CHIARINI, 1977. Zoneamento da Aptidão Climática para Culturas Comerciais em Áreas de Cerrado. In: FERRI, M.G. (Coord.), IV Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo e Livraria Itatiaia Editora. p. 89-120.
- CERVELLINI, A.; K. REICHARDT; E. SALATI; B. ZUR, 1972. Preliminary Studies on the Water Economy in "Cerrados". Piracicaba, CENA Boletim Científico BC-008. 18 p.
- COHEN, O.P.; J. KAPLAN; N. SHARABANI, 1966. Water Balance Under Pine Plantations and Natural Herbaceous Vegetation in the Judean Foothills. In: 6th. World Forestry Congress. Madrid. p.3811-3814.
- COSTIN, A.B., 1961. Forest Hydrology of Australian Subalpine Catchments. In: 2nd. World Eucalyptus Conference. São Paulo, FAO, p. 883-895.
- DREIBELBIS, F.R., 1962. Some Aspects of Watershed Hydrology as Determined from Soil Moisture Data. Journal of Geophysical Research, Washington, 67 (9): 3425-3435.

- DREIBELBIS, F.R., 1963. Land Use and Soil Types Effects on the Soil Moisture Regimen in Lysimeters and Small Watersheds. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 27 (4): 455-460.
- FEDERER, C.A., 1970. Measuring Forest Evapotranspiration - Theory and Problems. USDA Forest Service Research Paper NE-165. 25 p.
- FEDERER, C.A. e D. LASH, 1978. Simulated Streamflow Response to Possible Differences in Transpiration Among Species of Hardwood Trees. Water Resources Research, Washington, 14 (6): 1089-1097.
- FERNANDES, B.; M. RESENDE; S.B. REZENDE, 1978. Caracterização de Alguns Solos sob Cerrado e Disponibilidade d'água para Culturas. Experientiae, Viçosa, 24 (9): 209-260.
- FERRAZ, E.S.B., 1972. Estudo da Evapotranspiração Real Através da Medida da Umidade do Solo por Moderação de Neutrons. Boletim Científico BC-005, Piracicaba, CENA. 40p.
- FERRI, M.G., 1961. Aspects of the Soil-Water-Plant Relationships in Connexion with some Brazilian Types of Vegetation. In: Tropical Soils and Vegetation Proc., Abidjan Symposium. Unesco. 103-109.
- FLETCHER, P.W. e H.W. LULL, 1963. Soil Moisture Depletion by a Hardwood Forest During Drouth Years. Soil Science Society of America Proceedings, Denver, 27 (1): 94-97.
- FRALISH, J.S.; S.M. JONES; R.K. O'DELL; J.L. CHAMBERS, 1978. The Effect of Soil Moisture on Site Productivity and Forest Composition in the Shawnee Hills of Southern Illinois. In: Proc. Soil Moisture-Site Productivity Symposium. Myrtle Beach, S.C.. USDA Forest Service.
- FRITSCHEN, L.J.; J. HSIA; P. DORAISWAMI, 1977. Evapotranspiration of a Douglas-Fir Determined with a Weighing Lysimeter. Water Resources Research, Washington, 13 (1): 145-148.

- GINDEL, I., 1964. Seasonal fluctuations in Soil moisture under the canopy of xerophytes and in open areas. *Commonw. For. Rev.*, Oxford, 43 (3): 219-234.
- GOODLAND, R. e M.G. FERRI, 1979. Ecologia do Cerrado. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo e Livraria Itatiaia Editora.
- HARR, R.D. e K.R. PRICE, 1972. Evapotranspiration from a Greasewood-Cheatgrass Community. Water Resources Research, Washington, 8 (5): 1199-1203.
- HELVEY, J.D. e J.D. HEWLETT, 1962. The annual range of soil moisture under high rainfall in the southern Appalachians. Journal of Forestry, Washington, 60 (7): 485-486.
- HERRING, H.G., 1970. Soil Moisture trends under three different cover conditions. U.S. Forest Service Research Note PNW 114. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford: 32:29, 1971.
- HEWLETT, J.D.; J.E. DOUGLAS; J.L. CLUTTER, 1964. Instrumental and Soil Moisture Variance Using the Neutron Scattering Method. Soil Science, Baltimore, 97: 19-24.
- HILL, R.D., 1972. Soil Moisture Under Forest, Bukit Timah Nature Reserve, Singapore. *Gard. Bull.*, 26(1): 85-93. Apud: Selected Water Resources Abstracts, Washington, 7 (11): 9, 1974.
- JAYNES, R.A., 1978. A Hydrologic Model of Aspen-Conifer Sucession in the Western United States. USDA Forest Service Research Paper INT-213. 17 p.
- JOHNSTON, R.S., 1970. Evapotranspiration from Bare, Herbaceous, and Aspen Plots. A Check on a Former Study. Water Resources Research, Washington, 6 (1) : 324-327.

- JOHNSTON, R.S. ; R.K. TEW; R.D. DOTY, 1969. Soil Moisture Depletion and Estimated Evapotranspiration on Utah Mountain Watersheds. USDA Forest Service Research Paper INT-67. 13 p.
- KITCHING, R., 1967. Water Use by Tree Plantations. Journal of Hydrology Amsterdam, 5: 206-213.
- KNOERR, D.R., 1967. Exponential Depletion of Soil Moisture by Evapotranspiration at Forest Sites in the Sierra Nevada, as Related to Available Soil Moisture and Vapor Pressure Deficit. Dissertation Abstract., 27-B(10):3364. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 29 (11): 62, 1968.
- LAMB, A.F.A., 1973. Pinus caribaea. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics, nº 6. University of Oxford. 254 p.
- LAMBERT, J.L.; W.R. GARDNER; J.R. BOYLE, 1971. Hydrologic Response of a Young Pine Plantation to Weed Removal. Water Resources Research, Washington, 7 (4): 1013-1019.
- LAUENROTH, W.K. e P.L. SIMONS, 1976. Evapotranspiration from a Short-grass Prairie Subjected to Water and Nitrogen Treatments. Water Resources Research, Washington, 12 (3): 437-442.
- LIMA, W.P. e K. REICHARDT, 1977. Regime da Água do Solo sob Florestas Homogêneas de Eucaliptos e de Pinheiros. CENA, Boletim Científico BC-043, Piracicaba. 31 p.
- LUXMOORE, R.J.; D.J. Van ROOYEN; F.D. HOLE; J.B. MANKIN; R.A. GOLDSTEIN, 1977. Field Water Balance and Simulated Water Relations of Prairie and Oak-Hickory Vegetation on Deciduous Forest. Soil Science, Baltimore, 123 (2): 77-84.
- MADER, D.L., 1978. The Role of Soil Moisture in Forest Site Productivity in Massachusetts. In: Soil Moisture-Site Productivity Symposium. Mirtle Beach, S.C., USDA Forest Service.

- MCCLURKIN, D.C., 1958. Soil Moisture Content and Shortleaf Pine Radial Growth in North Mississippi. Forest Science, Washington, 4 (3) : 232-238.
- MIKHOVICH, A.I.; Y.K. ZARUDNY; V.E. POPOVA, 1970. Moisture Expenditure by Forest and Fields in the Protective Afforestation Regions. Les. Agroles. Resp. Meghved Temat Nuchn Sb (20):113-119. Apuf: Select Water Resources Abstracts, Washington, 7(2):30,1974.
- MIROV, N.T., 1967. The Genus Pinus. New York, The Ronald Press Co. 602 p.
- ORR, H.K., 1968. Soil-Moisture Trends after Thinning and Clearcutting in a Second-Growth Ponderosa Pine Stand in the Black Hills. U.S. Forest Service Research Note RM-99. 8 pp.
- PARLANGE, J.Y. e D.E. AYLOR, 1975. Response of an Unsaturated Soil to Forest Evapotranspiration. Water Resources Research, Washington, 11 (2): 319-323.
- PATRIC, J.H., 1973. Deforestation Effects on Soil Moisture, Streamflow, and Water Balance in the Central Appalachians. USDA Forest Service Research Paper n° NE-259. 12 p.
- PECK, A.J.; R.J. LUXMOORE; J.L. STOLZY, 1977. Effects of Spatial Variability of Soil Hydraulic Properties in Water Budget Modeling. Water Resources Research, Washington, 13 (2): 348-354.
- PEREIRA, H.C., 1973. Land Use and Water Resources in Temperate and Tropical Climates. London, Cambridge University Press. 246 p.
- PRITCHETT, W.L., 1979. Properties and Management of Forest Soils. New York, John-Wiley Sons, Inc. 500 p.



- RANZANI, G., 1971. Carta de Solos da Agro-Florestal Monte Alegre. Centro de Estudos de Solos, Piracicaba. ESALQ. 81 p.
- RANZANI, G., 1971a. Solos do Cerrado no Brasil. In: FERRI, M.G. (Coord.). III Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Ed. Edgard Blucher e Ed. da Universidade de São Paulo. p. 26-43.
- REICHARDT, K., 1977. Sugestões para Pesquisas sobre Deficiência Hídrica em Solos de Cerrado. In: FERRI, M.G. (Coord.), IV Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo e Livraria Itatiaia Ed. p. 247-253.
- REPNEVSKAJA, M.A., 1969. Soil Moisture Regime in the Scots Pine Forests of the Kola Peninsula. *Lesove.*, Moskva, 3:78-82. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 31 (2): 2143, 1970.
- REYNOLDS, S.G., 1970. The Gravimetric Method of Soil Moisture Determination. Part I: A Study of Equipment and Methodological Problems. Journal of Hydrology Amsterdam, 11:258-273.
- REYNOLDS, E.R.C. e P.J. WOOD, 1977. Natural Versus Man-Made Forests as Buffers Against Environmental Deterioration. Forest Ecology and Management, (1): 83-96.
- RUTTER, A.J., 1968. Water Consumption by Forests. In: Kozlowski, T.T. (Ed.) Water Deficits and Plant Growth, New York, Academic Press. p. 23-84.
- SARTZ, R.S., 1972. Soil Water Depletion by a Hardwood Forest in Southwestern Wisconsin. Soil Science Society of America Proc., Madison, 36 (6): 961-964.
- SCHULTZ, R.C. e J.D. HEWLETT, 1978. Soil Moisture as a Part of the Hydrologic Cycle. In: Soil Moisture-Site Productivity Symposium. USDA Forest Service, Mirtle Beach, S.C.. p. 7-21.

- SHACHORI, A.; D. ROSENZWEIG; A. POLJAKOFF-MAYBER, 1967. Effect of Mediterranean Vegetation on the Moisture Regime. In: SOPPER, W.E e H.W.LULL (Ed.), International Symposium on Forest Hydrology . New York, Pergamon Press. p 291-311.
- SINGH, B. e G. SZEICZ, 1979. The Effect of Intercepted Rainfall on the Water Balance of a Hardwood Forest. Water Resources Research, Washington, 15 (1): 131-138.
- STAMMERS, W.N.; O.C. IGWE; H.R. WHITELEY, 1973. Calculation of Evaporation from Measurements of Soil Water and the Soil Water Characteristics. Canadian Agricultural Engineering, 15 (1) 2-5.
- STONE, E.L., 1978. A Critique of Soil Moisture Site Productivity Relationships. In: Soil Moisture-Site Productivity Symposium Mirtle Beach, S.C., USADA Forest Service. p. 377-387.
- SWANK, W.T. e J.E. DOUGLAS, 1974. Streamflow Greatly Reduced by Converting Deciduous Hardwood Stands to Pine. Science, London, 185: 857-859.
- SWIFT, Jr., L.W.; W.T. SWANK; J.B. MANKIN; R.J. LUXMOORE; R.A. GOLDSTEIN, 1975. Simulation of Evapotranspiration and Drainage from Mature and Clear-cut Deciduous Forests and Young Pine Plantations. Water Resources Research, Washington, 11 (5): 667-673.
- TAJCHMAN, S.; F. HADRICH; R. LEE, 1979. Energy Budget Evaluation of the Transpiration-pF Relationship in a Young Pine Stand. Water Resources Research, Washington, 15 (1): 159-163.
- THOMPSON, J.R., 1974. Energy Budget Measurements Over Three Cover Types in Eastern Arizona. Water Resources Research, Washington, 10 (5): 1045-1048.

- THORNTON, C.W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, New York, 38: 54-94.
- TROENDLE, C.A., 1970. A Comparison of Soil-Moisture Loss from Forested and Clearcut Areas in West Virginia. USDA Forest Service Research Note NE-120. 8p.
- WARD, R.C., 1971. Measuring Evapotranspiration: a Review. Journal of Hydrology, Amsterdam, 13: 1-21.
- WILDE, S.A., 1958. Forest Soils. New York, The Ronald Press, Co. 537p.
- ZAHNER, R., 1967. Refinement of Empirical Functions for Realistic Soil Moisture Regimes Under Forest Cover. In: SOPPER, W.E. e H. W. LULL (Ed.) International Symposium on Forest Hydrology, New York, Pergamon Press, p. 261-274.
- ZAHNER, R., 1968. Water Deficits and Growth of Trees. In: Kozlowski, T.T. (Ed.) Water Deficits and Plant Growth, New York, Academic Press. p. 191-254.
- ZAHNER, R., 1968a. Means and Effects of Manipulating Soil Water in Managed Forests. In: Symposium of Forest Fertilization: Theory and Practice. Gainesville, TVA. p. 10-14.
- ZIMMERMAN, R.W.; G.L. ROLFE; L.E. ARNOLD, 1977. Soil Moisture and Radial Tree Growth on a Southern Illinois Oak-Hickory Watershed. University of Illinois Forestry Research Report n° 77, 2p.

10. APÊNDICE

Teores médios de umidade para as profundidades de 0, 50, 100, 150 e 200 cm, e para os 24 meses do período junho de 1977 a maio de 1979.

Umidade percentual com base em volume.

<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>					
Mês	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
J	8,8	10,1	9,0	8,6	8,9
J	7,6	7,8	8,3	8,1	8,7
A	6,3	8,4	8,1	7,7	8,2
S	8,9	11,6	8,4	8,3	8,7
O	10,1	12,5	9,5	8,1	8,7
N	9,3	10,9	8,5	8,3	8,4
D	11,5	12,3	12,5	12,9	14,1
J	8,5	10,4	11,3	11,9	12,5
F	12,4	9,5	8,5	8,4	9,7
M	10,2	11,6	11,1	10,9	11,5
A	4,0	8,1	7,8	7,9	8,1
M	11,4	12,8	13,2	13,8	14,6
J	5,8	10,3	10,9	10,8	11,3
J	8,1	11,4	11,9	9,6	9,5
A	15,4	10,8	8,3	8,6	8,7
S	4,6	8,5	8,0	8,4	9,5
O	11,8	9,3	8,5	8,3	8,5
N	6,6	8,8	10,0	9,3	9,9
D	14,0	12,9	14,0	14,2	11,6
J	10,8	10,9	8,2	8,6	8,8
F	13,1	9,6	8,6	8,3	8,8
M	5,9	7,9	8,2	8,1	8,5
A	14,8	14,9	11,9	7,7	8,7
M	11,2	10,5	9,7	10,5	9,6

Teores médios de umidade para as profundidades de 0, 50, 100, 150 e 200 cm, e para os 24 meses do período de junho de 1977 a maio de 1979. Umidade percentual com base em volume.

<i>Pinus oocarpa</i>					
Mês	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
J	11,4	12,3	10,1	10,0	10,6
J	8,4	9,8	9,9	9,0	9,5
A	7,6	8,4	8,5	8,7	8,5
S	8,4	12,7	10,5	9,1	8,7
O	11,2	13,3	10,2	9,5	9,3
N	10,3	12,3	10,3	8,9	8,7
D	11,6	13,7	14,0	13,7	14,2
J	9,6	10,7	12,4	12,7	12,7
F	10,7	10,4	9,4	9,6	10,0
M	11,9	15,1	13,4	12,2	12,9
A	4,7	8,7	9,6	10,5	10,2
M	13,1	12,8	14,5	14,5	14,5
J	8,4	10,4	11,5	11,7	11,7
J	9,0	12,3	13,6	13,4	12,1
A	18,6	15,9	10,1	10,9	10,4
S	4,6	9,3	9,3	8,9	9,5
O	10,5	12,0	10,3	9,1	9,0
N	10,3	10,7	10,6	11,1	9,9
D	14,8	12,9	14,2	15,1	15,1
J	12,9	14,1	10,7	11,7	12,0
F	12,8	8,0	10,7	10,0	9,2
M	6,6	9,2	9,6	9,4	8,7
A	12,3	15,5	16,1	14,8	9,2
M	10,5	11,4	11,9	12,2	11,5

Teores médios de umidade para as profundidades de 0, 50, 100, 150 e 200 cm, e para os 24 meses do período de junho de 1977 a maio de 1979. Umidade percentual com base em volume.

Cerrado					
Mês	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
J	10,6	13,0	13,3	11,7	11,4
J	9,7	10,5	10,9	11,3	11,6
A	12,2	8,4	8,7	9,9	10,7
S	13,1	12,4	9,4	9,9	9,9
O	14,3	9,8	9,4	9,4	9,3
N	13,1	10,7	9,4	9,0	9,7
D	16,0	12,6	14,0	14,6	14,9
J	11,2	11,2	12,7	13,2	13,9
F	13,3	9,3	9,1	10,0	10,3
M	19,0	12,8	12,9	13,2	13,2
A	9,4	8,1	9,1	10,5	11,0
M	21,2	13,2	14,9	14,0	14,8
J	8,7	10,8	11,9	12,2	12,4
J	7,4	12,4	13,9	14,2	13,5
A	24,4	11,7	11,5	11,4	11,6
S	5,9	10,2	11,0	10,9	11,3
O	21,4	10,5	10,5	10,6	10,6
N	10,5	9,5	11,2	12,0	11,9
D	22,1	13,7	14,9	15,4	13,9
J	21,9	12,2	9,3	11,4	11,8
F	16,8	10,9	10,4	10,3	10,7
M	6,9	8,5	8,8	9,5	9,8
A	20,9	14,8	15,5	13,6	9,6
M	18,3	10,2	12,2	11,7	10,3