

EXPERIÊNCIA DE BALANÇO HÍDRICO DE THORNTHWAITTE EM BACIA DE DRENAGEM

SANDRA BAPTISTA DA CUNHA*

ABSTRACT A study of hidric balance using the method of Thornthwaite is presented for two distinct altimetric areas of upper Rio Grande, Rio de Janeiro State, based on data covering a period of eleven years (1967/1977). The influence of altitude over the values of temperature and precipitation in areas of the river basin is shown. The interpretation of the hydric balances is made in relation to geology, soils and vegetation cover. From the hydric point of view the region is characterized by high hydric indices and in the proximity of the watershed by high levels of excess water in soil.

INTRODUÇÃO A maneira como uma bacia de drenagem desenvolve sua função hidrológica pode ser descrita por uma seqüência de eventos que nela ocorre. Uma parte da água precipitada, ao cair, poderá ser interceptada pela cobertura vegetal, sendo devolvida à atmosfera pela evapotranspiração; pequena porção poderá evaporar-se imediatamente; outra parcela se infiltrará; e a parte restante constituirá o escoamento superficial. Uma fração da infiltração vai alimentar o lençol, atingindo o curso de água nos períodos de estiagem, e a outra retornará ao nível do solo e será perdida por evapotranspiração. O escoamento superficial representa o saldo positivo do balanço hídrico.

Por outro lado, a variação da altitude é importante fator relacionado com as diferenças de temperatura e precipitação registradas na bacia. Ela não só exerce profunda influência sobre as perdas de água por evaporação como também constitui fator importante na determinação de água disponível e de umidade do solo.

Apesar de certas limitações, o cálculo do balanço hídrico de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), que se apóia em dados de temperatura e precipitação, tem sido empregado com freqüência em estudos agrícolas. Com o uso dessa técnica, para fins de estudos ou mapeamentos, entre outros Camargo (1960), Tarifa (1970), Duarte e outros (1978) mostraram as possibilidades agrícolas de diversas áreas do Brasil. Mais recentemente, Vianello (1976), utilizando esse método, indicou mudanças das condições climáticas decorrentes de desmatamentos na Zona da Mata Mineira. Nosso trabalho visa a mostrar, de forma quantitativa, as diferenciações hídricas existentes em duas áreas altimétricas da bacia de drenagem do alto Rio Grande ao longo de onze anos (de 1967 a 1977). Essas diferenças hídricas tornam-se importantes quando associadas aos problemas de desmatamentos na área.

Essa bacia localiza-se na porção central do Estado do Rio de Janeiro (Fig. 1). Sua posição geográfica é dada pelos paralelos de 22°16' e 22°24' de latitude sul e dos meridianos 42°35' e 42°44' de longitude WGr. A área em questão corresponde a 122,5 km² (12,14%) do município de Nova Friburgo, ocupando parte do distrito de Campo do Coelho.

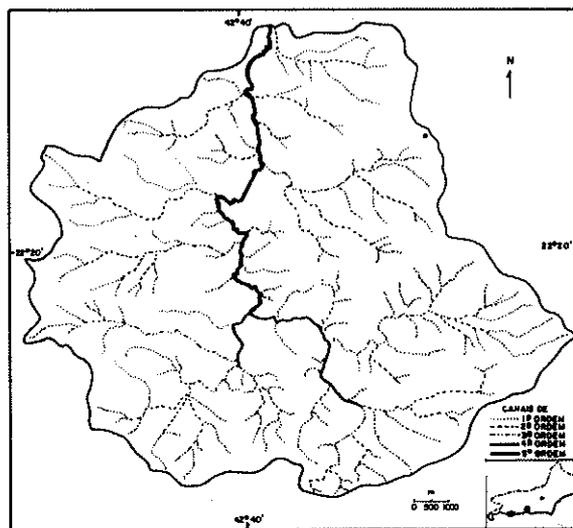


Figura 1 — Localização e distribuição espacial da drenagem na bacia do alto Rio Grande

METODOLOGIA O presente trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira, foi realizado o estudo das condições ambientais envolvendo relevo, geologia, solo, uso da terra e vegetação, rede de drenagem e clima da bacia. Na segunda etapa, foram calculados os balanços hídricos.

Como a bacia tem grande extensão e acentuados desnivelamentos (até 1.291 m), as chuvas e as temperaturas não se distribuem de maneira uniforme. Para mostrar essa variação, foram calculados balanços hídricos em duas diferentes áreas altimétricas da bacia de drenagem: uma situada próxima aos divisores e outra mais a jusante. Empregou-se o balanço hídrico apoiado no método de Thornthwaite e Mather (1955) que fornece as deficiências de umidade, os excedentes de água sujeitos à percolação; a evapotranspiração real e a umidade armazenadas nas zonas das raízes. Apesar de esse método usar informações apenas referentes à precipitação e temperatura, consideramos válido seu emprego para mostrar o grande excedente de água do solo, principalmente no alto curso, e a participação da altitude como

* CCMN/UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Bloco I, Sala 18, Cidade Universitária, CEP 21941 — Rio de Janeiro — RJ — Brasil

um fator de diferenciação entre os resultados obtidos para os balanços hídricos.

Os dados utilizados foram cedidos pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Referem-se eles às precipitações totais mensais e anuais, e às temperaturas médias mensais e anuais para duas diferentes áreas da bacia da drenagem.

Para permitir uma comparação entre as duas áreas, escolheu-se um período de anos que possuísse dados para as duas áreas e que compreendeu o período de onze anos entre 1967 e 1977. Por insuficiência de dados, não se considerou o ano de 1975 para a região do *outlet* bem como o ano de 1971 para o alto curso.

A capacidade de campo mais indicada para a região foi de 125 mm em função da profundidade de exploração média das raízes e das constantes físicas do solo.

Inicialmente, foram organizadas tabelas sintetizando os dados mensais e anuais para as duas áreas referidas. Depois de contabilizados os balanços hídricos, foi verificada sua exatidão segundo expressões matemáticas indicadas pelos autores e, com os resultados apresentados nas tabelas referidas, foi feita a representação gráfica.

Finalmente, para avaliar o grau de umidade existente nas duas áreas e distinguir o tipo climático, foi calculado o índice da umidade (I_m), conforme propõe o referido método: $I_m = (100e - 60d)/n$, em que e é o excedente anual em milímetro; d é a deficiência anual em milímetro; e n é a evapotranspiração potencial anual.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA BACIA *Relevo*

O relevo da bacia do alto Rio Grande ocupa uma área compreendendo altitudes de 1.000 m, nas proximidades do *outlet*, e ultrapassando 2.000 m nos divisores oriental e ocidental. Nela podem ser observados três nítidos domínios de formas, com topografias bem distintas: as escarpas pouco dissecadas, os diversos níveis de ombreiras e os fundos das depressões. O primeiro domínio forma os mais elevados divisores enquanto o segundo representa os interflúvios dos afluentes do Rio Grande. Seus topos convergem para a parte central da bacia diminuindo seu gradiente em direção ao fundo do vale principal. O terceiro domínio constitui-se do fundo plano ou quase plano da principal depressão, onde o vale, alargando-se, dá origem à extensa planície (Fig. 2A). Os terraços encontrados, margeando o canal principal, indicam atividade cíclica dos processos fluviais em tempos pretéritos.

Geologia Os terrenos compreendidos na bacia de drenagem pertencem a idades distintas: Pré-Cambriana e Quaternária. Esta última refere-se aos aluviões dos fundos chatos dos vales, aos terraços e aos depósitos antigos das vertentes. Várias unidades de paleossolos encontram-se intercaladas aos colúvios de idades diversas e correlacionáveis aos níveis pretéritos de degradação e agradiação.

Os terrenos pré-cambrianos são formados predominantemente por migmatitos diversos, sendo comum ocorrer diques de rochas básicas, aplitos, pegmatitos, lamprófiros e diques graníticos. A direção geral desses diques e diáclases na região é NE-SW.

Na parte nordeste e mais a jusante da bacia, assim como nos altos divisores de água, a leste e a oeste, são encontrados plutonitos ácidos (granitos) de idade Pré-Cambriana/Eo-Cambriana (Fig. 2B). Essas rochas são responsáveis pela morfologia diversificada e pela formação do relevo arredondado e escarpado, com morros do tipo "pão de açúcar".

Solo e uso da terra Na bacia do alto Rio Grande predominam os latossolos vermelho e alaranjado com pequenas manchas de litossolo e hidromórfico (Comissão dos Solos, Ministério da Agricultura, 1958). Os primeiros ocorrem nos terrenos mais acidentados enquanto os hidromórficos restringem-se à planície aluvial (Fig. 2C).

Os latossolos apresentam-se com perfis bem desenvolvidos. Quimicamente, são muito pobres, com baixo teor de húmus e grande porcentagem de óxido de ferro e alumínio. Seus terrenos são ocupados pelas matas, capoeiras e gramíneas bem como pela cultura temporária. Esta última vai ocupar maior extensão na área dos latossolos vermelhos. Como a área está em franco desenvolvimento agrícola, deve-se alertar para a ocupação das culturas nas elevações com declividade superior a 30%. Embora esses solos apresentem certa resistência, verificam-se a erosão e a lavagem do solo, ocorrendo a perda dos elementos nutrientes, tornando-os cada vez mais empobrecidos. Nessas áreas, é necessário adotar os processos de conservação do solo, como o reflorestamento, de preferência com espécies nativas.

Os litossolos, em razão de se encontrarem geralmente em áreas de relevo muito movimentado, de forte declividade, são pouco intemperizados. São solos muito rasos, com perfis de pequena espessura, apresentando, por isso, limitações para um grupo de culturas que possam adaptar-se climaticamente.

Os solos hidromórficos desenvolvem-se a partir dos sedimentos quaternários, localizados na planície, onde predominam depósitos argilosos e arenosos estratificados. Esses solos têm alto potencial agrícola, sendo intensamente utilizados para a horticultura. De uma forma geral, as culturas, principalmente de verduras e legumes, localizam-se, na área, em altitudes inferiores a 1.200 m, ocupando as planícies aluviais, os baixos terraços e as encostas dos morros.

Vegetação A cobertura vegetal apresenta uma distribuição de acordo com as condições de altitude, solo e drenagem. Assim, aparecem áreas com cobertura florestal tipo natural semidevastada, floresta secundária, vegetação herbácea rupestre e gramínea.

A floresta natural ocupava 42,4% da área da bacia em 1966, instalando-se nas encostas elevadas e distribuindo-se numa faixa mais ou menos contínua (Fig. 2D). Esta paisagem florestal que na área se apresenta devastada, e com grande variedade de espécies (famílias mirtáceas, proteáceas, melastomatáceas, malpiguiáceas, compostas), prolonga-se por toda a Serra do Mar. É um tipo de vegetação estratificada, sofrendo entretanto certas modificações de acordo com a altitude em função de mudanças das condições ecológicas (Hueck, 1972).

Nos locais onde a floresta primitiva foi destruída, formou-se uma vegetação secundária que aparece ora

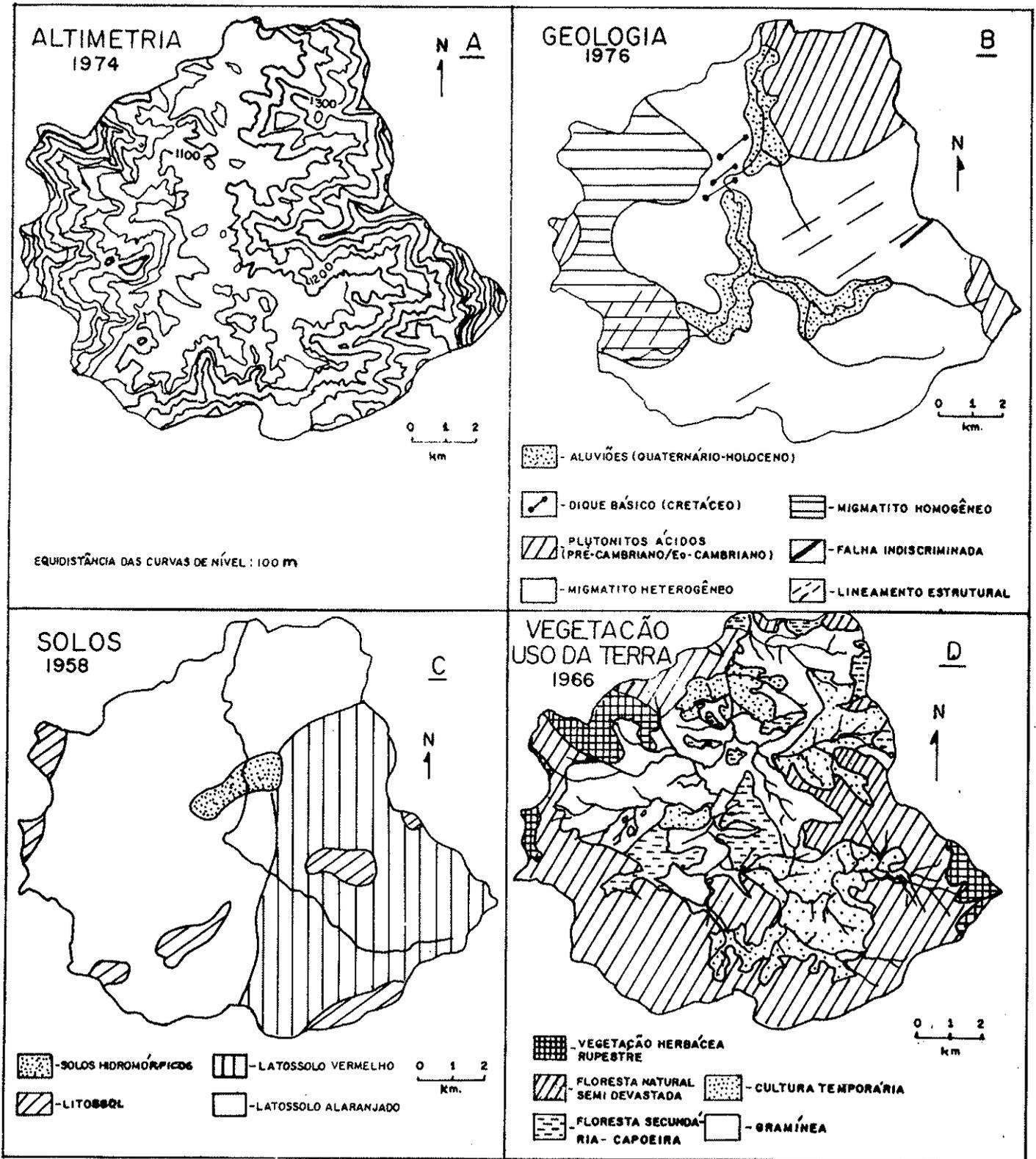


Figura 2 — Características ambientais da bacia de drenagem do alto Rio Grande: (A) altimetria; (B) geologia; (C) solos; (D) vegetação e uso da terra

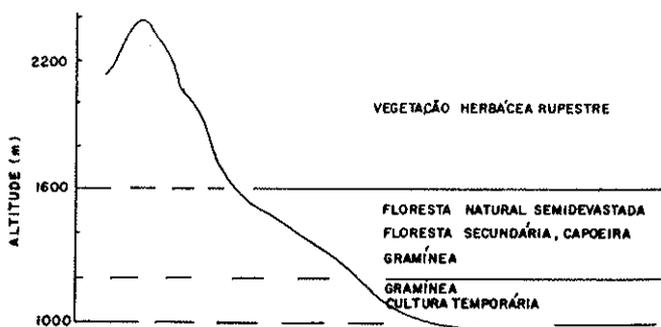


Figura 3 — Distribuição esquemática da vegetação nas encostas da bacia do alto Rio Grande

densa ora rarefeita (espécies pertencentes aos gêneros *Tibouchina*, *Sapium*, *Croton*, *Vernonia*, *Baccharis*). Ocorrências esparsas dessa vegetação são registradas em altitudes inferiores a 1.400 m, atingindo em raros locais 1.600 (Fig. 3).

Mais para cima ainda, à medida que se sobem as encostas onde se registram as maiores quantidades de chuva e os mais elevados valores de umidade do ar, dominam, com maior intensidade, espécies de troncos baixos e deformados, com casca clara e lisa, quase totalmente cobertos de musgos. O chão desta mata é recoberto por *Bryophyta* (musgos), *Pteridophyta* (samambaia) e *Angiospermae* (sendo as mais comuns a família das aráceas e peperáceas).

Em altitudes superiores a 1.600 m, surge a vegetação herbácea rupestre. Ela reflete condições muito particulares desta área em relação à altitude, ao clima, ao solo, à drenagem, à insolação, à direção dos ventos, etc. A cobertura vegetal é sempre baixa e geralmente descontínua (famílias das velosiáceas, melastomatáceas e eurio-cauláceas). A vegetação é pobre tanto no número de espécies como no de indivíduos, ocupando um solo raso e pedregoso, porém com bastante húmus e elevado teor de água. Surgem várias espécies de gramíneas e ciperáceas que, em conjunto, formam uma cobertura densa e, entre os espaços deixados pela vegetação arbustiva, crescem os musgos do gênero *Sphagnum*. Os afloramentos rochosos, que nesta área são muito freqüentes, são comumente revestidos de líquens.

Metade da área da bacia (46,5%) era ocupada pelas gramíneas e culturas temporárias em 1966. As primeiras ocupam as áreas abandonadas pelas culturas recentes, correspondendo a 27,3% dos terrenos. A partir dos fundos dos vales, as gramíneas estendem-se até os topos mais arredondados das colinas, raramente ultrapassando a altitude de 1.500 m. Nessas pastagens, constituídas principalmente de capim-gordura, instala-se a pecuária extensiva, que é atividade secundária na região.

A araucária (*Araucaria angustifolia*) aparece em pequenos grupos de indivíduos nas áreas de pastagem, cultura e capoeira. São árvores recentes, a maioria de pouca idade, constituindo reflorestamentos realizados pelos fazendeiros locais. Ela aparece também entre as árvores nativas da floresta natural.

Rede de drenagem A rede de drenagem não apresenta a mesma densidade em toda a bacia. Ela se torna mais densa na área dos afluentes formadores, onde o relevo é mais acidentado. A densidade de drenagem geral da ba-

cia é baixa (1,66 km de canais por quilômetro quadrado de área) enquanto na parte mais meridional essa densidade chega a 3,85.

A densidade hidrográfica mostrou que a distribuição espacial do número de canais não é homogênea em toda a área da bacia. Apesar de o resultado geral apresentar baixa densidade hidrográfica (1,60), registram-se áreas de altas densidades situadas na parte mais ao sul da bacia e próximas ao divisor. A área menos densa em drenagem está a noroeste da bacia, não chegando a possuir um canal por quilômetro quadrado.

A padronagem dos canais pode mostrar pronúncia do controle estrutural. O padrão de drenagem da bacia possui um aspecto subdendrítico a subparalelo (terminologia de Howard, 1967). A semelhança litológica, que parece oferecer comportamento homogêneo em relação aos agentes de intemperismo e erosão, favorece a predominância do padrão de drenagem dendrítico (Fig. 1). O aparente subparalelismo dos talwegues acompanha ora a direção principal dos dobramentos pré-cambrianos (NE—SW), ora a direção secundária das linhas de fratura (SE—NW).

Clima A precipitação média anual no *outlet* da bacia é de 1.269 mm e, para a área dos divisores, esse valor é em torno de 3.160.

A distribuição espacial das chuvas e o regime pluviométrico da bacia de drenagem estão relacionados às chuvas produzidas sob diferentes condições. As movimentações da Frente Polar Atlântica, que atinge com freqüência a região no início da primavera, ocasionam totais elevados de pluviosidade (341,7 mm). No verão, o aumento desse índice para 716,6 mm corresponde às chuvas relacionadas com forte aquecimento do solo associado aos avanços da Massa Polar ou formação de linhas de instabilidade. Em março, a pluviosidade permanece alta, superando os índices registrados em fevereiro. No outono, a região ainda recebe alta pluviosidade por ser ainda grande a atividade frontal (332,0 mm). Essas chuvas intensas, ocorridas nessa época, são acentuadas pelo relevo. No inverno, segue-se um decréscimo brusco da pluviosidade (83,6 mm). As chuvas dessa estação são causadas por incursões polares de maior freqüência e menor intensidade em seus efeitos.

Em relação ao regime de chuvas, podemos sintetizar que a bacia de drenagem apresenta duas estações bem marcadas. Uma chuvosa, que corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com 716,6 mm, e outra de estiagem, durante os meses de junho, julho e agosto, com 83,6 mm (Fig. 4A, B).

O efeito orográfico, em relação aos deslocamentos de massas de ar, ocasiona chuvas mais abundantes nas áreas mais elevadas. A partir da área que corresponde aos divisores da bacia, limitada pela curva de 2.000 m, ocorre um decréscimo dos totais pluviométricos em direção ao *outlet*.

Nos divisores da bacia, a precipitação média anual registrada no posto pluviométrico é de 3.160,4 mm. O ano de maior pluviosidade foi 1972, registrando-se 4.208,3 mm, e o mais seco (1970) acusou um total de 2.770,9 mm de chuva (Fig. 5). A máxima precipitação ocorre em dezembro, com média de 420,5 mm, com decréscimo acentuado no início do inverno, quando atin-

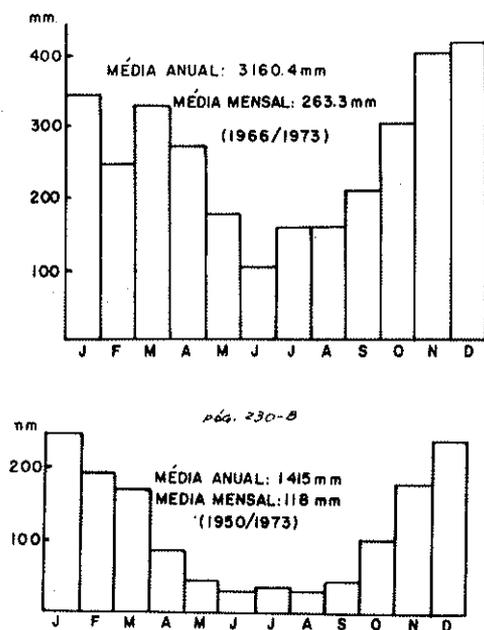


Figura 4 — Histogramas de precipitação da bacia de drenagem: (A) divisores de água a 1.110 m; (B) outlet a 1.019 m

ge, em junho, a média de 108,5 mm. A média mensal de precipitação, para o período observado (1966/1973), é de 263,3 mm.

No outlet da bacia verificou-se um maior decréscimo em relação à quantidade de chuva. A precipitação anual é em média 1.415,0 mm (de 1950 a 1973) enquanto a precipitação média mensal é de 118,0 mm. O ano de maior pluviosidade foi 1964, registrando-se 1.877,8 mm, e o mais seco (1963) acusou 854,9 mm de chuva. As maiores precipitações ocorrem em janeiro, com média de 248,3 mm, e as menores registram-se em junho, com média de 29 mm (Fig. 4B).

Conforme observamos, a bacia de drenagem possui elevados índices de precipitação apesar de distribuídos irregularmente em sua área. A Fig. 5 mostra que o menor índice de precipitação total atingiu 800 mm em 1963 no outlet da bacia.

Acompanhando os níveis altimétricos da Serra do Mar, verifica-se que, na encosta voltada para o interior, onde se situa a bacia de drenagem, as altitudes das cristas apresentam as mais baixas médias de temperatura, inferiores a 17°C. À medida que se desce a encosta, as temperaturas tornam-se mais elevadas.

A temperatura média anual da área está em torno de 17,3°C. Por sua posição geográfica e em relação à massa do relevo, as temperaturas são baixas ocorrendo, em média, verões brandos (20,5°C) e invernos frios (14,0°C). Fevereiro é o mês mais quente com médias das máximas de 27,2°C e média das mínimas de 16,7°C. O mês mais frio é julho, quando se registram 21,0°C para a média das máximas e 7,3°C para a média das mínimas. Bernardes (1945), em estudo do clima da região, refere-se a duas nítidas estações. Uma quente, que se estende de novembro a abril, e outra fria, entre maio e outubro.

A amplitude térmica anual nessa região é de 11,16°C. Durante o verão, as amplitudes médias mensais

de temperatura são pequenas em relação ao inverno. Isso se deve à coincidência do verão com a estação das chuvas que, dessa forma, limita os valores de variação da temperatura. Em dezembro, a amplitude média é de 9,9°C e, em julho, de 13,7°C. Os valores de amplitude térmica mais elevados durante o inverno são decorrentes não só da altitude e do afastamento do litoral como também da pouca quantidade de chuva registrada nessa época do ano.

Nos períodos de outono e inverno, o relevo vai influenciar a variação da temperatura porque as massas de ar, ao se resfriarem a uma determinada altitude, tendem a descer junto à superfície da escarpa originando inversões de temperatura. As massas frias, no outono, além de trazerem para a região essas inversões de temperatura, ocasionam a formação de nevoeiros.

A média anual de umidade relativa na área é em torno de 83,4%. Esse valor elevado é devido às temperaturas amenas e às chuvas abundantes.

Março é o mês de mais alto teor de umidade, cujo valor médio alcança 85%. Isso é decorrente da alta pluviosidade deste mês conjugada à queda de temperatura, que começa a ocorrer no fim do verão. Setembro, em contrapartida, é o mês de menor umidade relativa (81,8%), quando ainda não teve início a estação chuvosa e as temperaturas já começaram a se elevar.

A média anual de nebulosidade para a região está em torno de 5,7 décimos de céu coberto. Os meses de maior nebulosidade, quando as médias são superiores a 6, correspondem aos de mais altos índices pluviométricos (de outubro a março). Entre os meses de maio e agosto, a nebulosidade oscila entre 4 e 5, quando a região se encontra no rigor da estação seca. A média para o mês de mais baixa nebulosidade (julho) é de 4,2, que é o mês mais seco. Dezembro, por outro lado, é o mês de mais alta nebulosidade (7,3), sendo também o mês das mais elevadas precipitações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO Na área de estudo, o solo funciona como um reservatório de água até a capacidade de 125 mm, e a precipitação, como entrada ou fator de fornecimento de água para o solo. A evapotranspiração, que se refere à evaporação pela superfície do solo e da transpiração vegetal, é a saída ou perda de água do solo.

Como vimos, a precipitação equivale à transferência da água da atmosfera para o solo enquanto a evapotranspiração constitui a fase oposta. A evapotranspiração é um índice climático de tanta importância como a

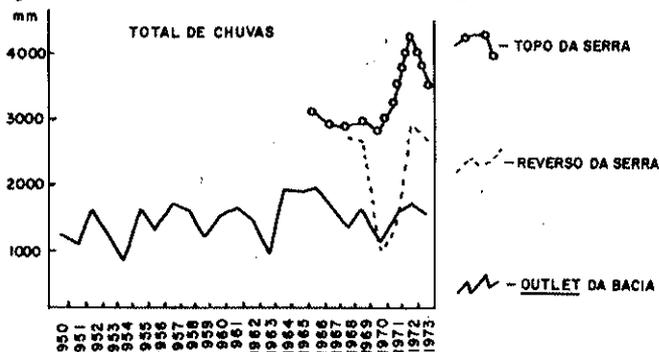


Figura 5 — Características anuais da precipitação no topo, no reverso da serra e no outlet da bacia do alto Rio Grande

precipitação e o total de água no solo dependerá do balanço entre esses dois processos.

Para Thornthwaite a evapotranspiração potencial corresponde à que ocorre em um terreno vegetado, livremente exposto à atmosfera e onde nunca falta umidade no solo para uso das plantas, pois o solo está constantemente em sua capacidade de campo.

Ela indica a necessidade de água por unidade de área do terreno ou a chuva teoricamente necessária para manter o vegetal verde. Confrontando-se a evapotranspiração potencial com a chuva real, podem-se estimar as disponibilidades hídricas mensais e anuais, as deficiências, os excessos, a retirada e a reposição de água no solo.

A evapotranspiração real refere-se à quantidade de água evaporada em condições atuais, ocorrentes no campo. Ela depende do clima, mas está também relacionada a fatores como o tipo e estágio do desenvolvimento da vegetação, o método de cultivo, o tipo de solo e a umidade do solo. Quando o solo não está com seu teor de umidade próximo da capacidade de campo, isto é, quando a evapotranspiração é restringida pela deficiência da umidade, tem-se a chamada evapotranspiração real e não mais a potencial.

As tabelas organizadas e a Fig. 6 levam-nos a algumas considerações. Na área do *outlet*, a temperatura média anual do período estudado esteve entre 15,6 e 18,2°C e os valores de precipitação total variaram entre 1.046 (1970) e 1.846 mm (1976). Os valores de evapotranspiração real mensal muitas vezes superam os valores de precipitação, principalmente no período de maio a setembro. Esses elevados valores de evapotranspiração real geram deficiências de água para essa estação. A Fig. 6 mostra que os valores de evapotranspiração real seguem um comportamento regular.

Nesta área, o solo apresentou valores de armazenamento mensal de água entre 24 e 125 mm, correspondendo este último à capacidade de campo do solo da região. Os baixos valores de armazenamento mensal correspondem aos meses em que a evapotranspiração real, embora com valores reduzidos, supera os valores de precipitação (aproximadamente de maio a setembro). São nesses meses que se verificam as deficiências de água (entre 1 e 52 mm).

O ano de 1977 sobressai entre os demais apresentando em quase todos os meses deficiência de água no solo. Aquele (1977) apresentou o mais elevado valor de deficiência de água no solo (126 mm) enquanto os outros anos tiveram deficiência total anual de água entre 7 e 59 mm.

Os excedentes mensais de água do solo, nesta área, são inferiores aos da área dos divisores da bacia, não ultrapassando 346 mm. Entre os meses de maio e setembro, registram-se excedentes bem reduzidos uma vez que nesta época ocorrem as maiores deficiências de água. Os valores anuais de excedentes de água estão entre 229 (1970) e 995 mm (1976).

Nas proximidades dos divisores da bacia, a temperatura anual do período teve valores mais baixos, entre 12,3 e 14,9°C enquanto os valores de precipitação total anual passaram para uma faixa entre 2.475 (1974) e 4.702 mm (1976). Os valores de evapotranspiração real mensal são, com frequência, nesta área, iguais aos de

evapotranspiração potencial e menores que os da quantidade de água precipitada. Ela tem valores mais elevados no verão, decrescendo no inverno.

Nesta área, o armazenamento mensal do solo é, com muita frequência, igual a 125 mm, que é o valor máximo (capacidade de campo). De todo o período analisado, apenas seis meses registraram valores de armazenamento do solo inferiores a essa capacidade de campo. Foram os meses de agosto de 1967 (113 mm), fevereiro de 1970 (118 mm), junho de 1973 (122 mm), agosto de 1975 (106 mm), fevereiro de 1977 (70 mm) e junho de 1977 (124 mm).

Não se registraram deficiências mensais e anuais de água. Para os onze anos analisados, apenas agosto de 1975 apresentou uma deficiência de 1 mm e fevereiro de 1977 um déficit de 16 mm de água no solo.

Os excedentes de água do solo são muito elevados nesta região. Com exceção de agosto de 1967, fevereiro de 1970, junho de 1973, agosto de 1975, fevereiro e junho de 1977, quando a evapotranspiração real mensal superou os valores de precipitação mensal, todos os outros meses apresentaram elevados excedentes de água do solo, atingindo até 705 mm. Esses altos valores tornam-se mais acentuados nos meses de verão (Fig. 6A). Os totais anuais de excedente de água vão de 1.708 (1974) a 3.924 mm (1976).

Nas duas áreas, a evapotranspiração real anual é sempre inferior à precipitação, estando seus valores entre 645 (1968) e 803 mm (1977) nas proximidades dos divisores, e entre 721 (1968) e 882 mm (1972) na área do *outlet*.

Os resultados dos balanços hídricos para o período estudado (1967/1977) encontram-se na Tab. 1A, B. Nela, sobressai o grande excedente de água no solo nas proximidades dos divisores da bacia (Tab. 1A, coluna 13), se comparado com os valores das proximidades do *outlet* (Tab. 1B, coluna 13). Essas diferenças de excedentes de água entre as duas áreas decorrem, principalmente, do fato de o total de precipitação ser mais elevado no alto curso (3.269 mm, no período, contra 1.439 no *outlet*). Por outro lado, a temperatura, bem como a evapotranspiração potencial e real, não apresenta acentuadas diferenciações nas duas áreas (colunas 2, 5 e 11 da Tab. 1A, B).

Em ambas as áreas analisadas, não se registra deficiência de água (coluna 12).

A Tab. 2 apresenta as disponibilidades de água do solo nas duas áreas da bacia para os anos selecionados. Nela, tem-se uma idéia das condições de umidade e deficiência de água no solo em cada mês.

Na área dos divisores da bacia (Tab. 2A), observa-se que predominam elevados valores de excedentes de água mensal (até 705 mm). Na área do *outlet* da bacia (Tab. 2B), registra-se um maior número de meses com deficiência de água. Destaca-se o ano de 1977 com deficiência de água durante sete meses.

A última coluna desta tabela (A, B) apresenta os resultados anuais médios para as duas regiões da bacia. Por ela podemos reconhecer enormes diferenças nas condições de umidade e deficiência de água para essas regiões (Fig. 7).

O índice de umidade (Im) relaciona os valores anuais de excedente e deficiência de água, assim como a

Tabela 1 — Balanço hídrico mensal (A)

Latitude: 22°23'
Longitude: 42°33'
Altitude: 1.610 m

Período: 1967/1977

Estação: Teodoro de Oliveira
Capacidade de campo: 125 mm

Mês	2 Temp.	3 EP não corríg.	4 Corr.	5 EP	6 P	7 P-EP	8 Neg. acum.	9 Arm.	10 Alt.	11 ER	12 Def.	13 Exc.
Jan.	17,4	2,7	34,5	93	368	275	0	125	0	93	0	275
Fev.	17,5	2,7	30,0	81	262	181	0	125	0	81	0	181
Mar.	16,5	2,5	31,5	79	363	284	0	125	0	79	0	284
Abr.	14,3	2,1	29,1	61	293	232	0	125	0	61	0	232
Mai.	11,9	1,6	28,5	46	171	125	0	125	0	46	0	125
Jun.	10,8	1,4	27,0	38	137	99	0	125	0	38	0	99
Jul.	10,0	1,3	28,2	37	157	120	0	125	0	37	0	120
Ago.	11,6	1,5	29,4	44	146	102	0	125	0	44	0	102
Set.	12,3	1,7	30,0	51	230	179	0	125	0	51	0	179
Out.	14,1	2,0	32,7	65	333	268	0	125	0	65	0	268
Nov.	15,0	2,2	33,0	73	381	308	0	125	0	73	0	308
Dez.	16,1	2,4	34,8	84	428	344	0	125	0	84	0	344
Ano	14,0	—	—	752	3.269	2.517	—	—	0	752	0	2.517

Balanço hídrico mensal (B)

Latitude: 22°17'
Longitude: 42°39'
Altitude: 1.019 m

Período: 1967/1977

Estação: Fazenda Mendes
Capacidade de campo: 125 mm

Mês	2 Temp.	3 EP não corríg.	4 Corr.	5 EP	6 P	7 P-EP	8 Neg. acum.	9 Arm.	10 Alt.	11 ER	12 Def.	13 Exc.
Jan.	20,8	3,1	34,5	107	272	165	0	125	0	107	0	165
Fev.	20,9	3,1	30,0	93	162	69	0	125	0	93	0	69
Mar.	19,9	2,8	31,5	88	152	64	0	125	0	88	0	64
Abr.	17,8	2,4	29,1	70	76	6	0	125	0	70	0	6
Mai.	15,2	1,8	28,5	51	33	-18	-18	107	-18	51	0	0
Jun.	14,1	1,6	27,0	43	39	-4	-22	104	-3	42	1	0
Jul.	13,4	1,6	28,2	45	44	-1	-23	103	-1	45	0	0
Ago.	14,7	1,7	29,4	50	47	-3	-26	101	-2	49	1	0
Set.	15,5	1,9	30,0	57	76	19	-5	120	19	57	0	0
Out.	17,1	2,2	32,7	72	124	52	0	125	5	72	0	47
Nov.	18,2	2,4	33,0	79	187	108	0	125	0	79	0	108
Dez.	19,3	2,7	34,8	94	227	133	0	125	0	94	0	133
Ano	17,2	—	—	849	1.439	590	—	—	0	847	2	592

Simbologia: 1 — Mês; 2 — temperaturas médias; 3 — evapotranspiração; 4 — correção; 5 — evapotranspiração potencial corrigida; 6 — precipitação total; 7 — precipitação total menos evapotranspiração potencial corrigida; 8 — negativa acumulada; 9 — armazenamento; 10 — alteração; 11 — evapotranspiração real; 12 — déficit; 13 — excedente

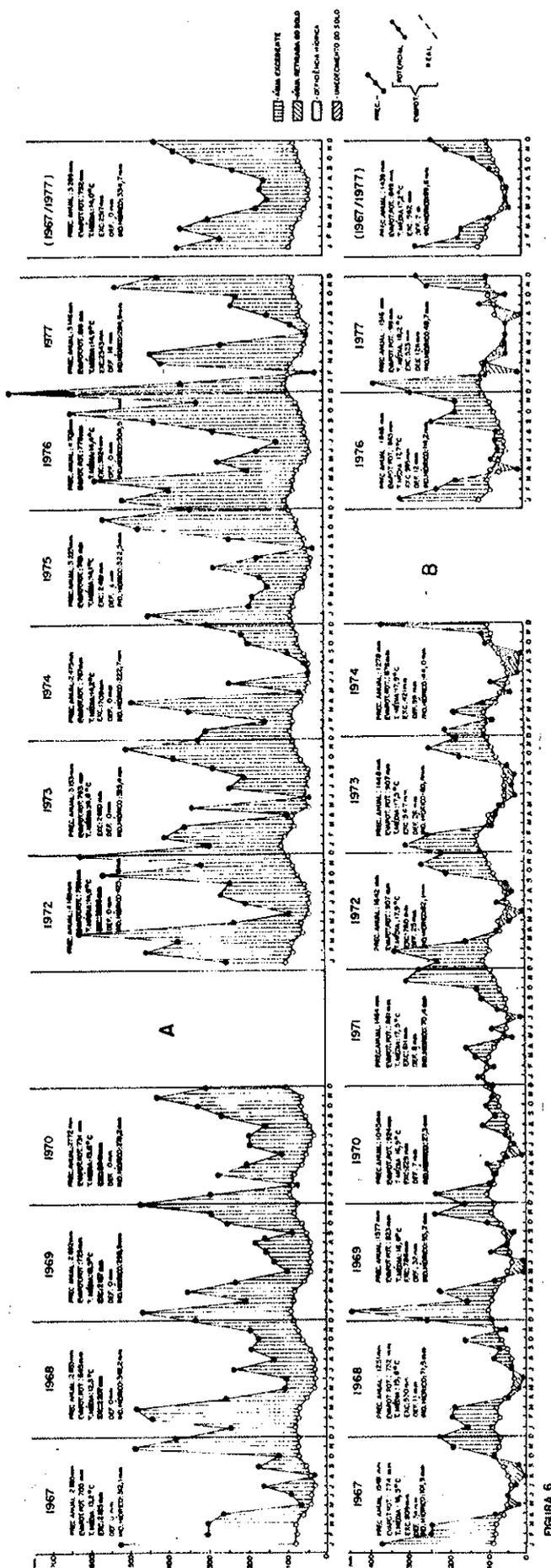


Figura 6 — Representação gráfica do balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955) para a bacia do alto Rio Grande; (A) área do divisor de águas da bacia a 1.610 m; (B) área do outlet a 1.019 m

Tabela 2 — Disponibilidade de água no solo (mm) determinada para os onze anos estudados (1967/1977) e para as médias do período. (A) área dos divisores de água da bacia. (B) área próxima ao outlet. Os números com sinal positivo indicam os excedentes de água no mês. Os com sinal negativo, as deficiências, e, os sem sinal, a quantidade de água existente no solo em forma disponível

A

Ano Mês	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1967/77
Jan.	+448	+156	+373	+199	—	+152	+186	+212	+359	+409	259	+275
Fev.	+227	+371	+132	118	—	+366	+303	+66	+110	+308	-16	+181
Mar.	+225	+403	+275	+190	—	+281	+268	+260	+103	+499	+273	+284
Abr.	+206	+205	+172	+138	—	+564	+15	+433	+88	+128	+375	+232
Mai.	+22	+76	+56	+65	—	+173	+295	+11	+118	+221	+216	+125
Jun.	+52	+69	+92	+150	—	+46	122	+205	+246	+130	124	+99
Jul.	+122	+202	+109	+155	—	+157	+196	+2	+131	+78	+45	+120
Ago.	113	+101	+140	+113	—	+212	+161	+8	-1	+235	+72	+102
Set.	+107	+144	+28	+211	—	+183	+238	+42	+170	+383	+167	+179
Out.	+46	+118	+192	+256	—	+494	+322	+117	+400	+583	+148	+268
Nov.	+419	+115	+206	+360	—	+233	+435	+136	+487	+245	+451	+308
Dez.	+311	+247	+392	+204	—	+525	+241	+216	+249	+705	+337	+344

B

Ano Mês	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1967/77
Jan.	+280	+62	+346	+109	+7	+105	+180	+93	—	+197	+261	+165
Fev.	+153	+114	+56	+7	-1	+235	+128	107	—	+140	-23	+69
Mar.	+155	+103	+134	116	+8	+56	119	+67	—	+85	-3	+64
Abr.	+15	115	+13	+28	+75	+5	106	+37	—	-12	-16	+6
Mai.	-1	-3	-6	-7	-3	-2	124	-2	—	98	-7	107
Jun.	104	-6	-13	-7	+11	-15	-3	+12	—	116	-2	-1
Jul.	-2	81	113	-10	-4	94	-6	-4	—	+17	43	103
Ago.	-16	+3	114	+21	118	-6	-12	-17	—	+12	-52	-1
Set.	-15	+26	-13	+28	+48	-2	-5	-36	—	+172	69	120
Out.	60	+90	+20	+24	+56	+77	+21	51	—	+99	-23	+47
Nov.	+58	-2	+146	+12	+223	+172	+159	68	—	+90	+79	+108
Dez.	+148	+132	+71	-3	+183	+110	+79	+212	—	+183	+183	+133

evapotranspiração potencial anual, fornecendo o grau de umidade existente em cada região.

Os resultados para esse índice, ao longo dos onze anos (1967/1977), encontram-se na Tab. 3. Os resultados desse índice, para cada ano e para o período analisado, nas duas regiões são elevados. Na área dos divisores da bacia, este índice tem resultados superiores a 200 mm (entre 222,7 e 504,4 mm) enquanto na área do outlet esses resultados só ultrapassam 100 mm em 1967 (101,9) e em 1976 (114,2).

Por esses resultados, podemos indicar a classificação do clima segundo Thornthwaite. Ele é úmido para a região do outlet (índice hídrico entre 20 e 100 mm) chegando a superúmido na região dos divisores (índice hídrico superior a 100 mm).

A evapotranspiração potencial, sendo uma função direta da temperatura, estima a condição térmica local (Tab. 4). Pelos resultados encontrados, pode-se considerar a eficiência térmica da região como mesotérmica (EP entre 570 e 1.140).

CONCLUSÕES Diferentes campos científicos, como a Meteorologia, Hidrologia, Geografia, Agronomia

e outros, interessam-se pelo conhecimento da perda de água de uma superfície natural, objetivando suas aplicações às diversas atividades humanas. Essas perdas de água do solo são fornecidas pelo balanço hídrico e têm imediata aplicação em planejamento agrícola bem como no estudo da viabilidade e adaptabilidade das culturas.

Os balanços hídricos calculados para as duas áreas da bacia de drenagem (divisores e outlet) sugeriram ser essas áreas distintas. Em ambas, não se verifica deficiência de água no solo, podendo ser ele utilizado para um grande número de culturas. Entretanto, certos cuidados devem ser tomados pois a região dos divisores apresenta elevados índices hídricos e altos excedentes de água no solo que facilitam a lixiviação e erosão. Refletem-se esses valores num aumento do escoamento superficial ocasionando constantes cheias nos rios locais e trazendo problemas para a região. Um planejamento referente ao aproveitamento dessa disponibilidade de água e os cuidados com equilíbrios desses valores já se faz sentir.

Os resultados mostraram que estudos da precipitação e temperatura associados à altitude, com vista à preservação dos altos divisores, em bacia de drenagem, de-

vem anteceder a sua ocupação pelo homem, principalmente no que se refere aos desmatamentos para fins de agricultura e expansão de cidades.

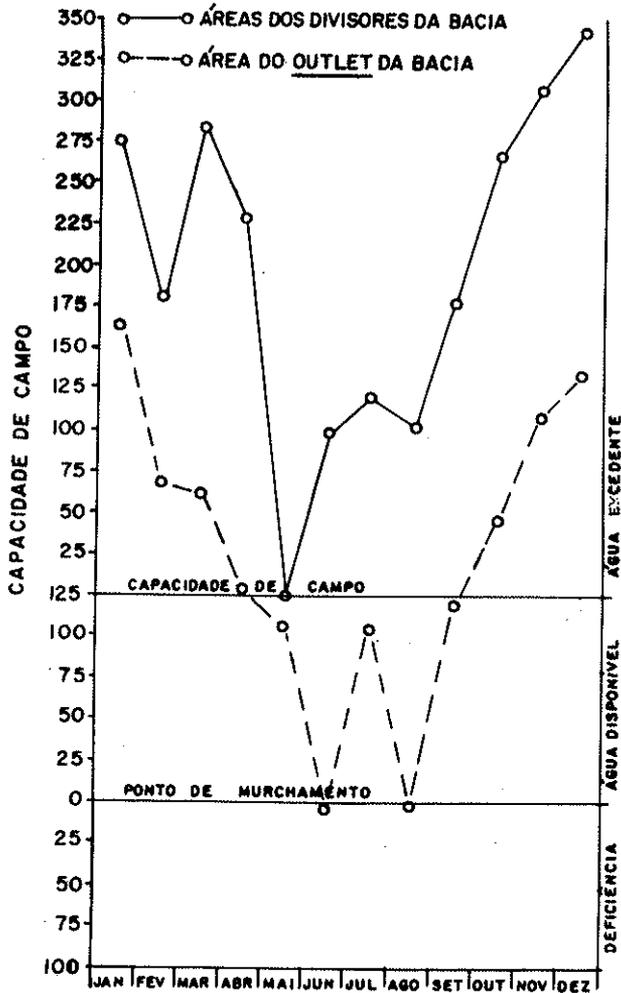


Figura 7 — Cursos anuais da disponibilidade hídrica no solo para as duas áreas da bacia do alto Rio Grande

Tabela 3 — Valores dos índices hídricos para as duas áreas analisadas na bacia do alto Rio Grande

Ano	Índices hídricos (mm)	
	Alto curso	Outlet
1967	312,1	101,9
1968	342,2	71,5
1969	298,9	93,2
1970	279,2	27,3
1971	—	70,4
1972	423,8	82,1
1973	335,4	60,8
1974	222,7	44,0
1975	322,5	—
1976	504,4	114,2
1977	284,9	48,7
Periodo	334,7	69,6

Tabela 4 — Evapotranspiração potencial para as duas áreas da bacia do alto Rio Grande

Ano	Evapotranspiração potencial	
	Alto curso	Outlet
1967	700	774
1968	645	732
1969	725	823
1970	731	824
1971	—	861
1972	799	907
1973	793	907
1974	767	876
1975	763	—
1976	777	865
1977	819	919

BIBLIOGRAFIA

BERNARDES, N. — 1945 — Notas para o estudo do clima de Nova Friburgo. Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Regional do Rio de Janeiro, ano II (4), 16-25.
 CAMARGO, A. PAES DE — 1960 — O Balanço Hídrico no Estado de São Paulo. Campinas. Boletim do Instituto Agronômico, 116 pp.
 COMISSÃO DE SOLOS — 1958 — Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Ministério da Agricultura, Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 11.
 DUARTE E OUTROS — 1978 — Indicadores climáticos. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro, Fiderj.
 HOWARD, A.D. — 1967 — Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 51 (11), 2246-2259.

HUECK, K. — 1972 — As florestas da América do Sul. Editora da Universidade de Brasília, Editora Polígono S.A., São Paulo.
 TARIFA, T.R. — 1970 — Estudo das possibilidades agrícolas de Presidente Prudente, segundo balanço hídrico de Thornthwaite 1948-1955. Boletim Geográfico 29 (217), Rio de Janeiro, Fundação IBGE.
 THORNTHWAITE, C.W. e MATHER, J.T. — 1955 — The role of evapotranspiration in climate seabook. John Hopkins Laboratory of Climatology, s.d. separata de Arch. Met. Wien (3).
 VIANELLO, R.L. — 1976 — Índices de mudanças climáticas causadas por desmatamentos — Município de Juiz de Fora — Minas Gerais. Boletim Geográfico 34 (251), Rio de Janeiro, Fundação IBGE.

Recebido em 28 de agosto de 1980.