

BALANÇO HÍDRICO DO RIO GRANDE DO SUL¹

FERNANDO SILVEIRA DA MOTA², CLARA OLIVEIRA GOEDERT³, NEI FERNANDES LOPES⁴, JONAS RODOLFO BEZERRA GARCEZ⁵ e ALGENOR DA SILVA GOMES⁴

Sínpse

Após salientar a importância do estudo do regime hídrico no Rio Grande do Sul, é especificado que a finalidade deste trabalho é fornecer uma base climatológica que venha contribuir para a solução de graves problemas da agricultura riograndense, entre os quais destacam-se as secas de verão e os excessos de água no inverno, primavera e outono, assim como a enorme variabilidade que se observa de ano para ano em relação ao regime das chuvas.

Chama-se a atenção para a grande contribuição dos métodos propostos por Thornthwaite e colaboradores para o estudo do regime hídrico, os quais, neste trabalho, são aplicados ao Rio Grande do Sul.

São discutidos o conceito de evapotranspiração potencial e os métodos de cálculo da mesma, assim como o do balanço hídrico.

Considerando a relação entre as chuvas, a evaporação e o armazenamento de água no solo, podemos distinguir três tipos de regime climático no Rio Grande do Sul: na zona sul do Estado, há uma estação seca, uma estação de reposição de água no solo e uma estação de excesso de água; durante a estação seca é utilizada certa quantidade de água armazenada no solo, proveniente de chuvas que ocorreram durante a estação de excesso de água, que entretanto é insuficiente para cobrir as necessidades. A estação seca, que dura de 1 a 4 meses conforme a zona, inicia-se com o fim da primavera e se prolonga pelo verão nas localidades mais secas, ou compreende apenas o verão nas localidades onde a seca é menos prolongada. Na estação de reposição de água no solo, as chuvas são superiores à evapotranspiração, porém, a diferença não é suficiente para saturar o solo e não há excesso; coincide com o início do outono. A estação de excesso coincide com o fim do outono, inverno e início da primavera. Este tipo de regime hídrico ocorre também em uma zona restrita ao redor do Município de Marcelino Ramos, na zona norte do Estado.

Na zona intermediária entre o sul e o norte do Estado (Municípios de São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Santiago, Santa Cruz, Caçapava) há uma estação em que as chuvas não satisfazem às necessidades de água que, no entanto, são satisfeitas pela água acumulada no solo proveniente de chuvas que ocorreram na estação anterior. Esta estação coincide com o fim da primavera e o início do verão; a outra estação inicia-se com um período breve de reposição de água no solo até este ter completado a sua capacidade, o que ocorre no fim do verão; daí em diante há excesso de água até o início da primavera, ocorrendo não só nesta zona, como em todo o Estado, dois máximos de excesso durante a estação úmida: um em maio-junho e outro em agosto-setembro.

O tipo de regime com estação de utilização de água armazenada, mas normalmente sem seca, ocorre também no litoral norte do Rio Grande do Sul (Município de Tôres).

Na zona norte do Estado, especialmente no Planalto, normalmente não há estação seca, ocorrendo excessos em todos os meses do ano.

São dados exemplos da oscilação dos valores, da deficiência e do excesso de água de ano para ano, chamando-se a atenção para a sua importância econômica (Fig. 24 a 27). As chamadas secas contingentes e invisíveis são as que correspondem aos tipos que ocorrem no Estado.

São discutidos meios capazes de debelar os efeitos da seca e dos excessos de água, chamando-se a atenção para a necessidade do fomento de soluções que já estão em uso (açudes para irrigação, drenagem, combate à erosão, reservas forrageiras, abrigos para o gado etc.).

É apresentada e discutida a distribuição geográfica no Estado do Rio Grande do Sul, da evapotranspiração potencial, real, deficiência de água, excesso de água, épocas de ocorrência destes excessos e deficiências (Fig. 18 a 23 e 28 a 33). A variação estacional destes elementos é apresentada nas Fig. 3 a 17.

¹ Recebido 16 jan. 1968, aceito 24 jul. 1968.

Boletim Técnico n.º 62 do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Sul (IPEAS).

² Eng.º Agrônomo da Seção de Climatologia Agrícola do IPEAS e Professor Adjunto da Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, Pelotas, Rio Grande do Sul.

³ Eng.º Agrônomo, Chefe da Seção de Climatologia Agrícola do IPEAS, Caixa Postal E, Pelotas, Rio Grande do Sul.

⁴ Eng.º Agrônomo da Seção de Climatologia Agrícola do IPEAS e Auxiliar de Ensino da Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, Pelotas.

⁵ Eng.º Agrônomo da Seção de Climatologia do IPEAS, Pelotas.

INTRODUÇÃO

O clima é um — e talvez o mais importante — dos fatores que determinam quais as plantas que podem ser economicamente cultivadas em uma dada região. Clima, neste sentido geral, inclui temperatura, precipitação, umidade atmosférica, ventos, radiação solar e outros fatores.

O volume de dados com que conta hoje o climatologista para o estudo do clima sulriograndense é considerável. O trabalho de Ladislau Coussirat Araújo^{*} está aí a mostrar os seus frutos. A bem distribuída rede climatológica riograndense, funcionando desde 1910, proporciona valiosos elementos para o estudo da climatologia do Rio Grande do Sul, tendo nos servido de base para este trabalho. Isto não significa, entretanto, que já disponhamos de todos os dados necessários; muito ainda precisará ser feito para que possamos ter a informação meteorológica necessária.

Existe uma grande necessidade em todo o Brasil de informações relativas àquelas condições climáticas importantes às várias empresas agrícolas. Muitos estabelecimentos agrícolas estão interessados nos fatores climáticos que influem na produção agrícola, assim como também os estabelecimentos comerciais a eles relacionados. A informação climática é vital, por outro lado, à indústria e ao transporte. Na pesquisa agrônômica ela é fundamental.

A presente contribuição tem, sobretudo, as seguintes finalidades: fornecer uma representação cartográfica, com a possível exatidão, da distribuição das deficiências e excessos de chuva no Rio Grande do Sul baseada nas observações de 35 postos meteorológicos com mais de 30 anos de observações; fornecer a base climatológica para o estudo dos meios que visem superar os efeitos da seca estival, seja pelo emprego da irrigação, seja através do planejamento para a instalação das culturas em zonas mais adequadas, seja pela escolha criteriosa da época de plantio ou pelo melhoramento genético das variedades visando conferir resistência sob o ponto de vista do regime hídrico e de suas conseqüências; e fornecer a base climatológica para o estudo de meios que visem superar os excessos de chuva inverniais e primaveris, seja pelo emprego adequado de técnicas de conservação e uso do solo, pelo zoneamento racional das culturas, através da escolha da época de plantio ou de melhoramento genético visando conferir resistência sob o

ponto de vista do regime hídrico e de suas conseqüências.

MATERIAL E MÉTODOS

Ainda no começo deste século sentiram os geógrafos a necessidade de exprimir a precipitação efetiva, isto é, não a precipitação total, indicada pelos pluviômetros, e sim a que efetivamente permanece no solo, decompõe as rochas, alimenta as plantas e rege, enfim, a vida da superfície terrestre. As perdas da água que se precipita, devido à evaporação, ao deflúvio superficial, à percolação, necessitavam ser conhecidas.

Meyer (1926) desenvolveu o quociente precipitação/deficit de saturação obtido pela divisão da precipitação anual em milímetros pelo deficit de saturação absoluto do ar, expresso em milímetros de mercúrio. Expressões de natureza similar foram desenvolvidas por Szymiekwicz (1925) e Trumble (1937).

Isozaki (1933), computou relações, para estações do Japão, usando a precipitação média anual e a evaporação anual de evaporímetros (tanques de água expostos à radiação solar, para medida da evaporação). Trumble (1939), usando dados de evaporação de evaporímetros deduziu uma equação empírica relacionando a evaporação mensal com o deficit de pressão do vapor, o qual era computado a partir de valores de temperatura. Ele determinou que a necessidade de água para um mês excedia o suprimento de água quando a evaporação computada superava mais de três vezes a precipitação.

Lang (1920), usou um fator de chuva obtido pela divisão da precipitação anual em milímetros pela temperatura média em graus centígrados. Este índice é comumente chamado a relação P-T e foi usado para classificar climas.

O quociente de Lang (1920) foi modificado por De Martonne (1926) e forneceu um índice de aridez. Este índice foi usado por Andrews e Maze (1933) na Austrália e por Perrin (1931), os quais mostraram que ele não é aplicável nas zonas frias.

Todos estes índices propostos funcionaram muito mal quando aplicados a várias regiões do globo. Não delimitaram áreas naturais, nem forneceram elementos de utilidade prática.

O índice proposto por Thornthwaite (1931) é bem melhor do que os anteriores mas ainda deixou muito a desejar.

Thornthwaite e Holzman (1942) desenvolveram vários trabalhos no sentido de aperfeiçoar os meios para determinar a evaporação de qualquer superfície natural pelo chamado método de transporte de va-

* Graças ao trabalho iniciado por Ladislau Coussirat de Araújo em 1910, conta hoje o Rio Grande do Sul com uma razoável e bem distribuída rede climatológica com mais de 40 anos de observações contínuas e uniformes, fato que permitiu a realização deste trabalho.

por, o qual envolve medidas do gradiente do vapor de água na camada de ar perto do solo e a determinação da intensidade da dispersão turbulenta nesta camada. Quando do aparecimento destes métodos, os instrumentos eram pouco precisos para as suas necessidades. Nos anos subseqüentes, considerável progresso foi feito tanto no instrumental como na teoria. Os métodos propostos para calcular as perdas por evapotranspiração a partir de dados meteorológicos estão compreendidos em três grupos: a) aqueles que envolvem o fluxo de vapor de água; b) aqueles que utilizam o balanço de calor da superfície evapo-

rante ou transpirante; e c) aqueles que usam uma relação determinada empiricamente entre a evapotranspiração e um ou mais fatores meteorológicos envolvidos.

Nenhum destes métodos fornece uma solução completamente adequada para o problema da determinação da evapotranspiração porque nenhuma é livre de constantes arbitrárias e dificuldades técnicas de observação e medida.

Os métodos de fluxo de vapor e o de balanço de calor requerem dados meteorológicos que ou não são observados ou são observados apenas em alguns pon-

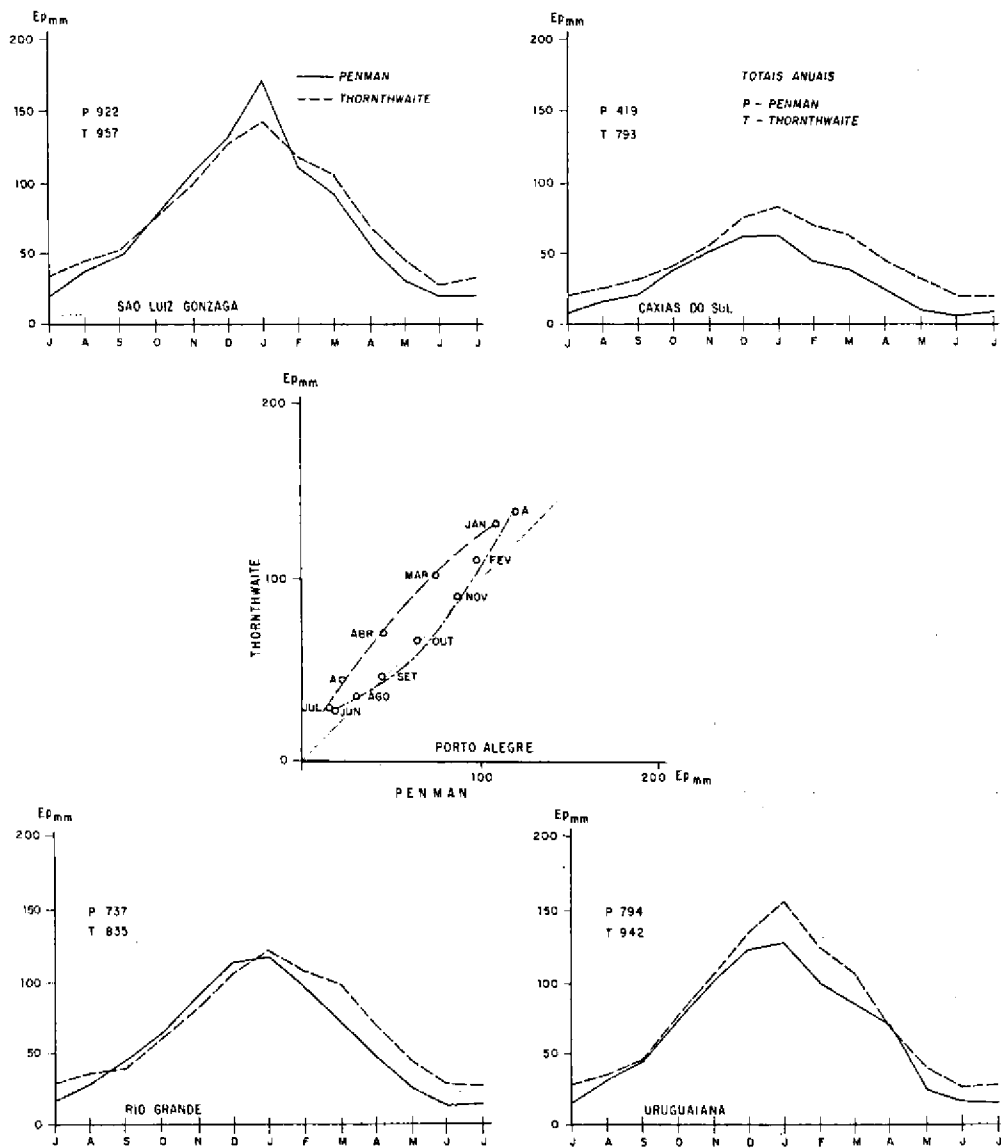


FIG. 1. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul, calculada segundo Thornthwaite e segundo Penman.

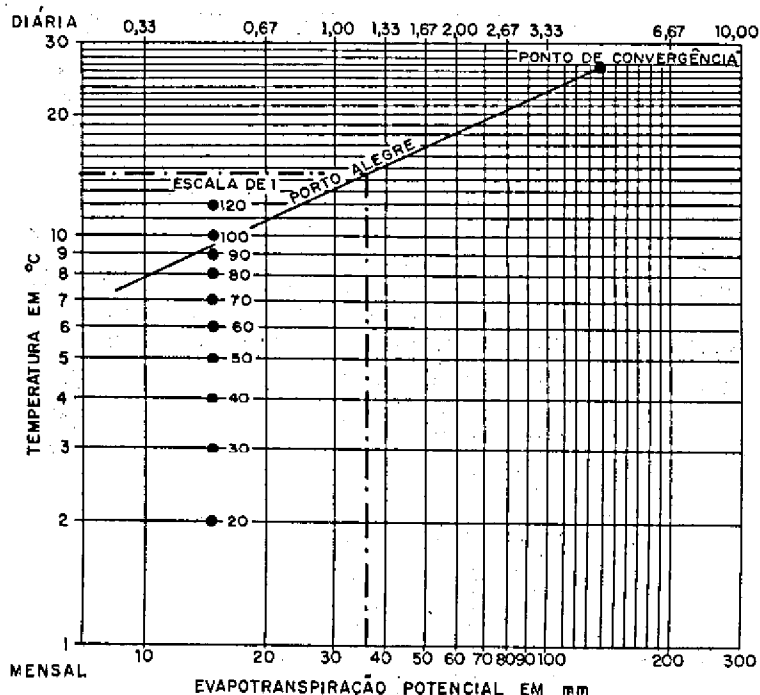


FIG. 2. Abaco para determinar a evapotranspiração potencial a partir da temperatura média.

tos muito distantes uns dos outros. A fórmula empírica de Thornthwaite (1948), por outro lado, pode ser usada para qualquer local nos quais sejam observadas as temperaturas máximas e mínimas diárias. Embora a facilidade de aplicação não seja um critério adequado, ela constitui freqüentemente uma consideração de ordem primária.

Dai a necessidade de retornar aos métodos empíricos. Foi o que fez Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955, 1957) ao revisar os conceitos da sua classificação climática de 1931.

O novo método de Thornthwaite (1948) baseia-se no conceito de evapotranspiração potencial, tendo a vantagem sobre os demais, até agora propostos, de tornar-se independente de índices deduzidos da fisionomia vegetal, usando valores exclusivamente climáticos para expressar o valor relativo da precipitação, índices que se solucionam com os elementos do próprio clima.

A evapotranspiração potencial é o elemento climático definido como a quantidade de água que pode ser perdida, através da evaporação ou transpiração de uma superfície de solo completamente coberta de vegetação, se no solo, durante todo o tempo, houver água disponível para o uso requerido pela vegetação, sem restrições.

A fórmula de Thornthwaite (1948) para determinar a evapotranspiração potencial foi desenvolvida através do uso de observações feitas principalmente em projetos de irrigação do oeste dos Estados Unidos, suplementadas por registros de descargas de rios e da precipitação em bacias hidrográficas da parte leste deste país. Thornthwaite (1948) chama a atenção para a necessidade de observações em outras zonas do globo, particularmente nos trópicos e nas altas latitudes e, até que elas se tornem disponíveis, extrapolações para o lado do equador ou do polo darão resultados incertos.

Em virtude de que as médias mensais de temperatura e evapotranspiração potencial dependem da radiação solar, e porque a radiação possui periodicidade anual, a temperatura média mensal e a evapotranspiração potencial mensal são correlacionadas.

Dai que, estimativas da evapotranspiração potencial a partir da temperatura são altamente correlacionadas com a evapotranspiração potencial verdadeira. Embora esta correlação seja útil, não possui boa base física.

A fórmula de Thornthwaite (1948) não leva em conta o atraso da temperatura em relação à radiação solar (como consequência do armazenamento de calor no solo), o efeito da unidade existente na região

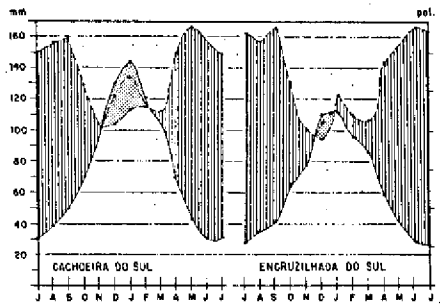
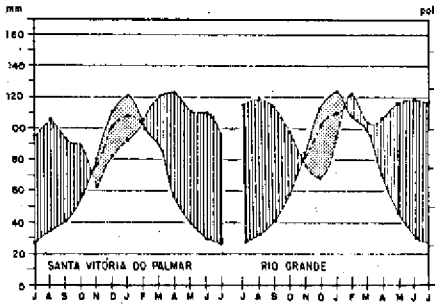
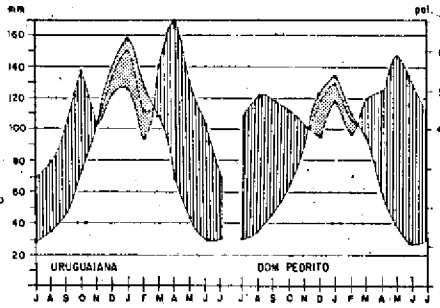
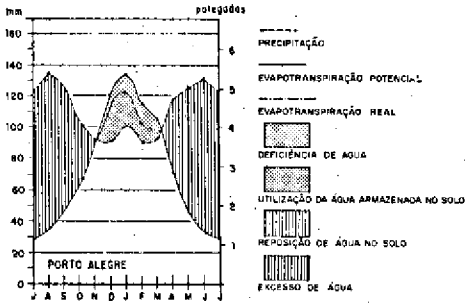


FIG. 3. Regime hídrico em Pôrto Alegre, Rio Grande do Sul.

FIG. 4. Regime hídrico em Uruguaiana e Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

FIG. 5. Regime hídrico em Santa Vitória do Palmar e Rio Grande, Rio Grande do Sul.

FIG. 6. Regime hídrico em Cachoeira do Sul e Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul.

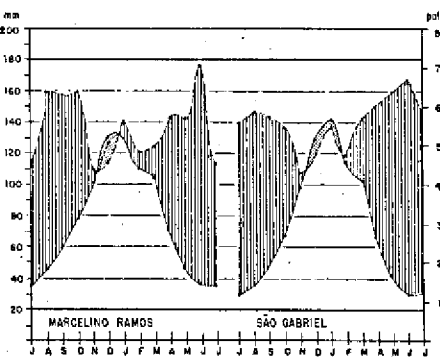
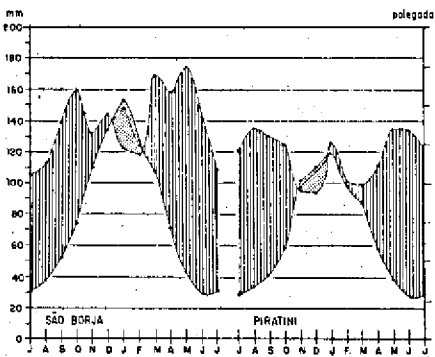


FIG. 7. Regime hídrico em São Borja e Piratini, Rio Grande do Sul.

FIG. 8. Regime hídrico em Marcelino Ramos e São Gabriel, Rio Grande do Sul.

FIG. 9. Regime hídrico em São Lutz Gonzaga e Santiago, Rio Grande do Sul.

FIG. 10. Regime hídrico em Tôres e Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul.

sobre a temperatura ou o maior efeito da advecção do ar úmido ou seco sobre a temperatura do que sobre as trocas de calor com a superfície. Dêstes defeitos, o que causa maiores erros é o atraso térmico da temperatura sobre a radiação. O maior erro, devido ao atraso, se dá nas estimativas para o período de maio a agosto no hemisfério norte. No Rio Grande do Sul, conforme podemos verificar na Fig. 1, os menores erros são obtidos no período de julho a dezembro e os maiores no primeiro semestre do ano, isto é, de janeiro a junho, quando comparamos com as estimativas pelo método de Penman (1948) que é o mais preciso e de melhor base teórica. No primeiro semestre do ano, a fórmula de Thornthwaite (1948) superestima o valor da evapotranspiração potencial, no Rio Grande do Sul.

Conforme pode ser verificado nas Fig. 3 a 10, isto não modifica significativamente a determinação da deficiência de água no período do estival no Rio Grande do Sul, pois apenas no início do ano é que a seca deve ser menos intensa do que a calculada, visto que os valores da evapotranspiração usados foram superestimados, o que não ocorre no início da estação seca, no fim do ano, a partir de novembro.

Entretanto, os métodos baseados na temperatura média possuem maior utilidade quando são calculados valores estacionais ou anuais ou quando não se dispõe de determinações diretas de evapotranspiração ou de radiação solar. No Rio Grande do Sul, só foi possível calcular a evapotranspiração potencial pelo método de Penman (1948) em doze localidades que dispunham de dados de insolação, segundo Mota e Goedert (1966). Assim sendo, neste trabalho usamos o método de Thornthwaite (1948) a fim de possuímos uma melhor densidade de dados na região, pois estavam disponíveis os valores da temperatura média mensal de 35 localidades bem distribuídas por todo o Estado.

Essas razões que nos levaram a escolher o método de Thornthwaite (1948) para o estudo das relações entre as chuvas e a evaporação no Rio Grande do Sul.

A marcha da evapotranspiração potencial segue um ritmo uniforme durante o ano. É mínima no inverno e máxima no verão. A marcha da precipitação é, entretanto, muito variável de uma região para outra, através do ano.

Quando a evapotranspiração é comparada com a precipitação e se leva em conta o armazenamento de água no solo e seu uso subsequente, períodos de deficiência e excesso de umidade são claramente revelados e uma melhor compreensão da relativa umidade ou aridez de um clima pode ser obtida. Em

algumas localidades a precipitação é sempre superior à evapotranspiração de maneira que o solo permanece cheio de água ocorrendo ainda um excesso. Em outras localidades, mês após mês, a precipitação é menor do que a evapotranspiração potencial; não há suficiente umidade para uso da vegetação e ocorre, então, uma deficiência ou seca. Localidades com períodos secos e úmidos ou com estação fria de pequena necessidade de água, normalmente apresentam: a) um período de armazenamento total, quando a precipitação excede a necessidade de água e um excesso de água se acumula; b) uma estação seca na qual a água armazenada e a precipitação são usadas na evapotranspiração, o armazenamento vai gradualmente diminuindo, a evapotranspiração atual ou real fica menor do que a potencial e uma deficiência de umidade ocorre; e c) uma estação de umedecimento, quando a precipitação novamente excede a necessidade de água e a capacidade total de umidade no solo é completada novamente.

A capacidade de armazenamento de umidade no solo depende da profundidade da camada de solo considerada e do tipo de estrutura de solo. Pode variar desde alguns milímetros em um solo arenoso raso, a mais de 400 milímetros em um solo argiloso, profundo e bem arejado. As raízes das plantas compensam de algum modo a natureza do solo, pois em solos arenosos as plantas apresentam sistema radicular profundo enquanto que nos argilosos as plantas tendem a ter um sistema radicular mais raso. Desta maneira, a camada de água disponível às raízes das plantas não é tão variável assim. Naturalmente, plantas jovens ou árvores velhas têm sistemas radiculares muito diferentes de modo que possuem à sua disposição quantidades de água diversas. Geralmente as culturas de sistema radicular médio, que crescem nas zonas úmidas, utilizam cerca de 100 milímetros de umidade do solo, entre as chuvas.

Quando o solo vai secando, torna-se cada vez mais difícil a perda de água pela evaporação ou transpiração. Assim, conforme diminui o conteúdo de umidade do solo, também diminui a quantidade de evapotranspiração, a qual é proporcional à quantidade de água que permanece no solo.

Da discussão acima, vê-se que quando o conteúdo de umidade está próximo à capacidade de campo, a quantidade de evapotranspiração se aproxima da potencial.

Estudos recentes de Thornthwaite e Mather (1957) permitiram o preparo de tabelas que dão a quantidade de evapotranspiração conforme o conteúdo de umidade do solo, para solos de diferentes capacidades

para água. Assim, torna-se simples tomar em consideração a variação da evaporação devido aos diferentes conteúdos de umidade no solo.

Para calcular o balanço hídrico de uma localidade é necessário possuir os dados de precipitação e evapotranspiração potencial desta localidade e também as tabelas que permitem converter a informação de perda potencial de água em valores de perda atual de água de acordo com os vários conteúdos de umidade do solo. A subtração da evapotranspiração potencial da precipitação resulta em uma série de diferenças positivas e negativas, as quais representam perdas ou ganhos potenciais da umidade que se armazena no solo. Os valores negativos das diferenças, que indicam uma perda potencial de água no solo, devem ser convertidos em valores de mudança atual na água armazenada no solo, devido ao fato de que, conforme o solo vai secando, a água é perdida em uma quantidade cada vez menor do que a potencial. A evapotranspiração nunca alcança a quantidade potencial quando o conteúdo de umidade do solo permanece abaixo do ótimo para evapotranspiração. Quando a precipitação é maior do que a evapotranspiração potencial, a evapotranspiração atual é igual à potencial, porque nessas ocasiões existe umidade suficiente no solo para que a evapotranspiração tenha lugar livremente. Quando a precipitação é menor do que a evapotranspiração potencial, a evapotranspiração atual ou real é igual à precipitação mais qualquer umidade armazenada no solo, a qual é evaporada ou transpirada (a mudança de armazenamento).

A deficiência e o excesso de água aparecem simplesmente através do cálculo, a primeira sendo a diferença entre a evapotranspiração potencial e a real ou atual, enquanto que o último é o excesso de precipitação que ocorre quando a capacidade do solo para a água está completa.

O excesso de água é aquele que está disponível para o deflúvio superficial e que vai para os riachos, rios e lagos.

O balanço hídrico permite uma boa compreensão das relações de umidade em uma área determinada.

O balanço hídrico em regiões áridas ou semi-áridas é, tanto quanto nas regiões úmidas, de importância fundamental para a solução de muitos dos complexos problemas que dizem respeito à umidade em uma região.

Em virtude de sermos, hoje em dia, capazes de calcular este balanço hídrico através do uso do conceito de evapotranspiração potencial, nós podemos ter uma nova compreensão de problemas que são fundamentais em muitos campos de investigação, especialmente em agroclimatologia.

A seguir mostraremos, detalhadamente, como se calcula a evapotranspiração e o balanço hídrico.

A fórmula de Thornthwaite (1948) para determinação da evapotranspiração potencial tem a seguinte expressão:

$$e = 16 (10 t/I)^2$$

onde:

- e = evapotranspiração potencial para um mês tipo de 30 dias cada um, tendo 12 horas de insolação astronômicamente possível;
- t = temperatura média mensal em graus centígrados;
- a = $0,000\ 000\ 875\ I^3 - 0,0\ 000\ 771\ I^2 + 0,01\ 792\ I + 0,49\ 239$;
- índice calorífico anual.

Como a temperatura média anual não é satisfatória para apreciar a marcha anual deste elemento, e por conseguinte, a da evapotranspiração potencial, inclui-se na fórmula o índice calorífico I que se obtém mediante a soma de 12 valores mensais i, que obedece à fórmula seguinte:

$$I = (t/5)^{1,514}$$

O uso das fórmulas propostas é pouco prático e devido a isto seu autor projetou uma série de tabelas e um gráfico (Quadro 1, 2, 3, 4 e 5 e Fig. 2) que facilitam seu cálculo. O primeiro passo é calcular o índice I; para isso se recorre ao Quadro 1, em cuja primeira coluna se encontram os números inteiros das temperaturas médias mensais; lê-se na coluna correspondente aos décimos da temperatura média mensal o índice i para cada mês; logo somam-se os 12 valores de i e assim se obtém o índice I.

Assim, por exemplo, temos para Porto Alegre:

| Meses | J | A | S | O | N | D | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| Temperaturas médias (°C)... | 13,8 | 14,9 | 16,5 | 18,4 | 20,9 | 23,2 | |
| i | 4,65 | 5,22 | 6,10 | 7,19 | 8,72 | 10,21 | |
| Meses | J | F | M | A | M | J | Ano |
| Temperaturas médias (°C)... | 24,6 | 24,4 | 23,1 | 20,2 | 16,9 | 14,3 | |
| i | 11,16 | 11,02 | 10,15 | 8,28 | 6,32 | 4,91 | 94 (I) |

Segundo a fórmula de Thornthwaite (1948) entre o logaritmo da temperatura e o da evapotranspiração potencial para um mês de 30 dias de 12 horas, existe uma relação linear, de modo que é possível representar em um papel duplo logarítmico esta relação, mediante uma reta. Vejamos a Fig. 2. Sobre o eixo das abscissas colocam-se os valores da evapotranspiração potencial, e sobre o das ordenadas os da temperatura média mensal. Para cada localidade, esta

QUADRO 1. Conversão da temperatura média mensal ao índice calorífero i (dado por Thornthwaite & Mather 1957)

| T(°C) | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | | | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,07 |
| 1 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,21 | 0,23 |
| 2 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,44 |
| 3 | 0,48 | 0,48 | 0,51 | 0,53 | 0,56 | 0,58 | 0,61 | 0,63 | 0,66 | 0,69 |
| 4 | 0,71 | 0,74 | 0,77 | 0,80 | 0,82 | 0,85 | 0,88 | 0,91 | 0,94 | 0,97 |
| 5 | 1,00 | 1,03 | 1,06 | 1,09 | 1,12 | 1,16 | 1,19 | 1,22 | 1,25 | 1,29 |
| 6 | 1,32 | 1,35 | 1,39 | 1,42 | 1,45 | 1,49 | 1,52 | 1,56 | 1,59 | 1,63 |
| 7 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,77 | 1,81 | 1,85 | 1,89 | 1,92 | 1,96 | 2,00 |
| 8 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,15 | 2,19 | 2,23 | 2,27 | 2,31 | 2,35 | 2,39 |
| 9 | 2,44 | 2,48 | 2,52 | 2,56 | 2,60 | 2,64 | 2,69 | 2,73 | 2,77 | 2,81 |
| 10 | 2,86 | 2,90 | 2,94 | 2,99 | 3,03 | 3,08 | 3,12 | 3,16 | 3,21 | 3,25 |
| 11 | 3,30 | 3,34 | 3,39 | 3,44 | 3,48 | 3,53 | 3,58 | 3,62 | 3,67 | 3,72 |
| 12 | 3,76 | 3,81 | 3,86 | 3,91 | 3,96 | 4,00 | 4,05 | 4,10 | 4,15 | 4,20 |
| 13 | 4,25 | 4,30 | 4,35 | 4,40 | 4,45 | 4,50 | 4,55 | 4,60 | 4,65 | 4,70 |
| 14 | 4,75 | 4,81 | 4,86 | 4,91 | 4,96 | 5,01 | 5,07 | 5,12 | 5,17 | 5,22 |
| 15 | 5,28 | 5,33 | 5,38 | 5,44 | 5,49 | 5,55 | 5,60 | 5,65 | 5,71 | 5,76 |
| 16 | 5,82 | 5,87 | 5,93 | 5,98 | 6,04 | 6,10 | 6,15 | 6,21 | 6,26 | 6,32 |
| 17 | 6,38 | 6,44 | 6,49 | 6,55 | 6,61 | 6,66 | 6,72 | 6,78 | 6,84 | 6,90 |
| 18 | 6,95 | 7,01 | 7,07 | 7,13 | 7,19 | 7,25 | 7,31 | 7,37 | 7,43 | 7,49 |
| 19 | 7,55 | 7,61 | 7,67 | 7,73 | 7,79 | 7,85 | 7,91 | 7,97 | 8,03 | 8,10 |
| 20 | 8,16 | 8,22 | 8,28 | 8,34 | 8,41 | 8,47 | 8,53 | 8,59 | 8,66 | 8,72 |
| 21 | 8,78 | 8,85 | 8,91 | 8,97 | 9,04 | 9,10 | 9,17 | 9,23 | 9,29 | 9,36 |
| 22 | 9,42 | 9,49 | 9,55 | 9,62 | 9,68 | 9,75 | 9,82 | 9,88 | 9,95 | 10,01 |
| 23 | 10,08 | 10,15 | 10,21 | 10,20 | 10,35 | 10,41 | 10,48 | 10,55 | 10,62 | 10,68 |
| 24 | 10,75 | 10,82 | 10,89 | 10,95 | 11,02 | 11,09 | 11,16 | 11,23 | 11,30 | 11,37 |
| 25 | 11,44 | 11,50 | 11,57 | 11,64 | 11,71 | 11,78 | 11,85 | 11,92 | 11,99 | 12,06 |
| 26 | 12,13 | 12,21 | 12,28 | 12,35 | 12,42 | 12,49 | 12,56 | 12,63 | 12,70 | 12,78 |
| 27 | 12,85 | 12,92 | 12,99 | 13,07 | 13,14 | 13,21 | 13,28 | 13,36 | 13,43 | 13,50 |
| 28 | 13,58 | 13,65 | 13,72 | 13,80 | 13,87 | 13,94 | 14,02 | 14,09 | 14,17 | 14,24 |
| 29 | 14,32 | 14,39 | 14,47 | 14,54 | 14,62 | 14,69 | 14,77 | 14,84 | 14,92 | 14,99 |
| 30 | 15,07 | 15,15 | 15,22 | 15,30 | 15,38 | 15,45 | 15,53 | 15,61 | 15,68 | 15,76 |
| 31 | 15,84 | 15,92 | 15,99 | 16,07 | 16,15 | 16,23 | 16,30 | 16,38 | 16,46 | 16,54 |
| 32 | 16,62 | 16,70 | 16,78 | 16,85 | 16,93 | 17,01 | 17,09 | 17,17 | 17,25 | 17,33 |
| 33 | 17,41 | 17,49 | 17,57 | 17,65 | 17,73 | 17,81 | 17,89 | 17,97 | 18,05 | 18,13 |
| 34 | 18,22 | 18,30 | 18,38 | 18,46 | 18,54 | 18,62 | 18,70 | 18,79 | 18,87 | 18,95 |
| 35 | 19,03 | 19,11 | 19,20 | 19,28 | 19,36 | 19,45 | 19,53 | 19,61 | 19,69 | 19,78 |
| 36 | 19,86 | 19,95 | 20,03 | 20,11 | 20,20 | 20,28 | 20,36 | 20,45 | 20,53 | 20,62 |
| 37 | 20,70 | 20,79 | 20,87 | 20,96 | 21,04 | 21,13 | 21,21 | 21,30 | 21,38 | 21,47 |
| 38 | 21,56 | 21,64 | 21,73 | 21,81 | 21,90 | 21,99 | 22,07 | 22,16 | 22,25 | 22,33 |
| 39 | 22,42 | 22,51 | 22,59 | 22,68 | 22,77 | 22,86 | 22,95 | 23,03 | 23,12 | 23,21 |
| 40 | 23,30 | | | | | | | | | |

QUADRO 2. Determinação da evapotranspiração potencial mensal sem ajustar à duração do dia e do mês, para temperaturas superiores a 26,5°C* (dado por Thornthwaite & Mather 1957)

| T (°C) | EP (mm) | T (°C) | EP (mm) |
|--------|---------|--------|---------|
| 26,5 | 135,0 | 32,5 | 175,3 |
| 27,0 | 139,5 | 33,0 | 177,2 |
| 27,5 | 143,7 | 33,5 | 179,0 |
| 28,0 | 147,8 | 34,0 | 180,5 |
| 28,5 | 151,7 | 34,5 | 181,8 |
| 29,0 | 155,4 | 35,0 | 182,9 |
| 29,5 | 158,9 | 35,5 | 183,7 |
| 30,0 | 162,1 | 36,0 | 184,3 |
| 30,5 | 165,2 | 36,5 | 184,7 |
| 31,0 | 168,0 | 37,0 | 184,9 |
| 31,5 | 170,7 | 37,5 | 185,0 |
| 32,0 | 173,1 | 38,0 | 185,0 |

* Para valores diários, divida por 30

QUADRO 3. Duração média do brilho solar astronômicamente possível no hemisfério sul, expresso em unidades de 30 dias de 12 horas cada um (dado por Thornthwaite & Mather 1957)

| Latitude | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Agô. | Set. | Out. | Nov. | Dez. |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5° | 1,06 | 0,95 | 1,04 | 1,00 | 1,02 | 0,99 | 1,02 | 1,03 | 1,00 | 1,05 | 1,03 | 1,06 |
| 10° | 1,08 | 0,97 | 1,05 | 0,99 | 1,01 | 0,96 | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 1,06 | 1,05 | 1,10 |
| 15° | 1,12 | 0,98 | 1,05 | 0,98 | 0,98 | 0,94 | 0,97 | 1,00 | 1,00 | 1,07 | 1,07 | 1,12 |
| 20° | 1,14 | 1,00 | 1,05 | 0,97 | 0,96 | 0,91 | 0,95 | 0,99 | 1,00 | 1,08 | 1,09 | 1,15 |
| 22° | 1,14 | 1,00 | 1,05 | 0,97 | 0,95 | 0,90 | 0,94 | 0,99 | 1,00 | 1,09 | 1,10 | 1,16 |
| 23° | 1,15 | 1,00 | 1,05 | 0,97 | 0,95 | 0,89 | 0,94 | 0,98 | 1,00 | 1,09 | 1,10 | 1,17 |
| 24° | 1,16 | 1,01 | 1,05 | 0,96 | 0,94 | 0,89 | 0,93 | 0,98 | 1,00 | 1,10 | 1,11 | 1,17 |
| 25° | 1,17 | 1,01 | 1,05 | 0,96 | 0,94 | 0,88 | 0,93 | 0,98 | 1,00 | 1,10 | 1,11 | 1,18 |
| 26° | 1,17 | 1,01 | 1,05 | 0,96 | 0,94 | 0,87 | 0,92 | 0,98 | 1,00 | 1,10 | 1,11 | 1,18 |
| 27° | 1,18 | 1,02 | 1,05 | 0,96 | 0,93 | 0,87 | 0,92 | 0,97 | 1,00 | 1,11 | 1,12 | 1,19 |
| 28° | 1,19 | 1,02 | 1,06 | 0,95 | 0,93 | 0,86 | 0,91 | 0,97 | 1,00 | 1,11 | 1,13 | 1,20 |
| 29° | 1,19 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,92 | 0,86 | 0,90 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,13 | 1,20 |
| 30° | 1,20 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,92 | 0,85 | 0,90 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,14 | 1,21 |
| 31° | 1,20 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,91 | 0,84 | 0,89 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,14 | 1,22 |
| 32° | 1,21 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,91 | 0,84 | 0,89 | 0,95 | 1,00 | 1,12 | 1,15 | 1,23 |
| 33° | 1,22 | 1,04 | 1,06 | 0,94 | 0,90 | 0,83 | 0,88 | 0,95 | 1,00 | 1,13 | 1,16 | 1,23 |
| 34° | 1,22 | 1,04 | 1,06 | 0,94 | 0,89 | 0,82 | 0,87 | 0,94 | 1,00 | 1,13 | 1,16 | 1,24 |
| 35° | 1,23 | 1,04 | 1,06 | 0,94 | 0,89 | 0,82 | 0,87 | 0,94 | 1,00 | 1,13 | 1,17 | 1,25 |

QUADRO 4. Exemplo de cálculo do balanço hídrico*

| Elementos | Mês | | | | | | | | | | | | Anual |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | Jul. ^b | Agô. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | |
| T(°C) | 13,8 | 14,9 | 16,5 | 18,4 | 20,9 | 23,2 | 24,6 | 24,4 | 23,1 | 20,2 | 16,9 | 14,3 | 19,3 |
| i | 4,65 | 5,22 | 6,10 | 7,19 | 8,72 | 10,21 | 11,16 | 11,02 | 10,15 | 8,38 | 6,32 | 4,91 | 94(1) |
| ET _{sa} | 33 | 39 | 48 | 61 | 81 | 100 | 112 | 111 | 99 | 77 | 50 | 36 | — |
| f | 0,90 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,14 | 1,21 | 1,20 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,92 | 0,85 | — |
| EP | 30 | 37 | 48 | 68 | 92 | 121 | 135 | 114 | 105 | 73 | 46 | 31 | 900 |
| P | 123 | 134 | 123 | 101 | 92 | 92 | 102 | 89 | 93 | 118 | 125 | 130 | 1322 |
| P-EP | 93 | 97 | 75 | 33 | 0 | -29 | -33 | -25 | -12 | 45 | 79 | 99 | 422 |
| PPAA | — | — | — | — | — | -29 | -62 | -87 | -99 | — | — | — | — |
| AAS | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 74 | 53 | 41 | 36 | 81 | 100 | 100 | — |
| MAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -26 | -21 | -12 | -5 | +45 | +19 | 0 | — |
| ER | 30 | 37 | 48 | 68 | 92 | 118 | 123 | 101 | 98 | 73 | 46 | 31 | 865 |
| DA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | 13 | 7 | 0 | 0 | 0 | 35 |
| HxA | 93 | 97 | 75 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 99 | 457 |
| R | 80 | 86 | 82 | 58 | 28 | 14 | 7 | 4 | 2 | 1 | 30 | 65 | 457 |

a) 1) Porto Alegre

2) Latitude: 30°01'53"

3) Período de observações: 1910/1942

4) Todos os valores, exceto T, i e I, em mm

b) Adotamos a ordem dos meses iniciando em julho, por ser a que mais se adapta ao caso do Rio Grande do Sul, uma vez que não interrompe a estação seca, na qual o cálculo do balanço hídrico envolve maior número de determinações.

reta se determina por um ponto que é o valor I da localidade a estudar e pelo ponto invariável para o qual convergem as retas de todas as localidades (ponto de convergência). O índice I coloca-se sobre a abscissa de 16 mm de evapotranspiração potencial e o ponto invariável para o qual convergem todas as retas de relação, é o determinado por $t = 26,5^{\circ}\text{C}$ e $EP = 135$ mm. O índice I colocado de acordo com o seu valor na escala que figura sobre a abscissa de 16 mm é o que nos dá a inclinação da reta para cada localidade considerada. Uma vez traçada a reta será possível obter a evapotranspiração potencial

sem ajustar à duração média do dia e do mês em cada latitude mediante a projeção, sobre a mesma, do valor da temperatura média mensal que nos dá as ordenadas respectivas.

Na Fig. 2 traçou-se a reta da relação correspondente à localidade de Porto Alegre ($I = 94$) e determinou-se a evapotranspiração potencial para uma temperatura média de $14,5^{\circ}\text{C}$ obtendo-se a evapotranspiração potencial sem ajustar à duração do dia e do mês, de valor de 37 mm (reta - ponto - traço).

QUADRO 5. Retenção de umidade no solo após a ocorrência de diferentes quantidades de evapotranspiração potencial (mm). Capacidade de água do solo: 100 mm (dado por Thornthwaite & Mather 1957)

| EP | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 100 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 92 | 91 |
| 10 | 90 | 89 | 88 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 83 | 82 |
| 20 | 81 | 81 | 80 | 79 | 78 | 77 | 77 | 76 | 75 | 74 |
| 30 | 74 | 73 | 72 | 71 | 70 | 70 | 69 | 68 | 68 | 67 |
| 40 | 66 | 66 | 65 | 64 | 64 | 63 | 62 | 62 | 61 | 60 |
| 50 | 60 | 59 | 59 | 58 | 58 | 57 | 56 | 56 | 55 | 54 |
| 60 | 54 | 53 | 53 | 52 | 52 | 51 | 51 | 50 | 50 | 49 |
| 70 | 49 | 48 | 48 | 47 | 47 | 46 | 46 | 45 | 45 | 44 |
| 80 | 44 | 44 | 43 | 43 | 42 | 42 | 41 | 41 | 40 | 40 |
| 90 | 40 | 39 | 39 | 38 | 38 | 38 | 37 | 37 | 36 | 36 |
| 100 | 36 | 35 | 35 | 35 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 |
| 110 | 32 | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 120 | 29 | 29 | 29 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 130 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| 140 | 24 | 24 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 150 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 160 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 170 | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 180 | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 |
| 190 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 200 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 210 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 220 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 230 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 240 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 250 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 260 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 270 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 280 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 290 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 300 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 310 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 320 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 330 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 340 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 350 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 360 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 370 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 380 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 390 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 400 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 410 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 420 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 430 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 440 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 450 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 460 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 470 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 480 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 490 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 500 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 510 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para Pôrto Alegre teríamos, então, os seguintes valores de evapotranspiração potencial sem ajustar a duração do dia e do mês:

| Meses | J | A | S | O | N | D |
|--|-----|-----|----|----|----|-----|
| Evapotranspiração potencial sem ajustar (em mm)..... | 33 | 30 | 48 | 61 | 81 | 100 |
| Meses | J | F | M | A | M | J |
| Evapotranspiração potencial sem ajustar (em mm)..... | 112 | 111 | 99 | 77 | 50 | 36 |

Quando os valores da temperatura média mensal são superiores a 26,5°C, deve-se usar diretamente o Quadro 2.

Uma vez obtidos os valores mensais da evapotranspiração potencial sem ajustar, é necessário corrigi-los segundo a duração do mês e do dia, mediante o uso do Quadro 3. Para isso, os coeficientes do Quadro 3 devem ser multiplicados pelos valores mensais da evapotranspiração potencial sem ajustar, obtendo-se assim o valor definitivo da evapotranspiração potencial. Somando-se os 12 valores obtém-se o valor anual.

Por exemplo, para Pôrto Alegre (latitude 30° 01' 53" S):

| Meses | J | A | S | O | N | D | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Evapotranspiração potencial sem ajustar (em mm)..... | 33 | 39 | 48 | 61 | 81 | 100 | |
| Meses | J | F | M | A | M | J | |
| Evapotranspiração potencial sem ajustar (em mm)..... | 112 | 111 | 99 | 77 | 50 | 36 | |
| Meses | J | A | S | O | N | D | |
| Fator de correção..... | 0,90 | 0,96 | 1,00 | 1,12 | 1,14 | 1,21 | |
| Meses | J | F | M | A | M | J | Ano |
| Fator de correção..... | 1,20 | 1,03 | 1,06 | 0,95 | 0,92 | 0,92 | 0,85 |
| Meses | J | A | S | O | N | D | |
| Evapotranspiração potencial ajustada (em mm)..... | 39 | 37 | 48 | 68 | 92 | 121 | |
| Meses | J | F | M | A | M | J | Ano |
| Evapotranspiração potencial ajustada (em mm)..... | 135 | 114 | 105 | 73 | 46 | 31 | 900 |

A evapotranspiração potencial diária poderá ser determinada da mesma forma com o auxílio do ábaco e do Quadro 2, conforme está nêles indicado. Tor-na-se necessário, a mais, tão somente, uma tabela que forneça a duração de cada dia, em unidades de 12 horas, para a localidade em questão.

Para cálculo da evapotranspiração potencial mensal, para as diversas localidades do Rio Grande do

Sul que figuram no Quadro 6, usamos as normais de temperatura média que figuram no Quadro 7 e que foram publicadas por Machado (1950) com exceção dos dados de Pelotas que são originais.

Cálculo do balanço hídrico

Usaremos as seguintes convenções:

- T^oC = temperatura média normal mensal em graus centígrados;
 i = índice calorífico normal mensal;
 I = índice calorífico normal anual;
 f = fator para o ajuste da evapotranspiração potencial à duração do mês e do dia;
 EP_{sa} = evapotranspiração potencial sem ajustar;
 EP = evapotranspiração potencial total mensal normal;
 P = precipitação total mensal normal;
 PPAA = perda potencial de água acumulada;
 AAS = armazenamento de água no solo;
 MAS = mudança na água do solo;
 ER = evapotranspiração real (ou atual);
 DA = deficiência de água;
 ExA = excesso de água;
 D_s = deflúvio superficial;

Vejamos um exemplo de cálculo do balanço hídrico no Quadro 4.

Os dados de precipitação usados foram os publicados por Machado (1950) para tôdas as localidades, com exceção dos de Pelotas que foram publicados por Amaral e Mota (1956). Estes dados figuram no Quadro 8. Usamos o valor de 100 mm para a capacidade do solo para a água disponível às plantas por nos parecer um valor apropriado às condições médias dos solos do Rio Grande do Sul, para as culturas anuais.

Vejamos a seguir como se calcula cada um dos elementos que constam do Quadro 4: i, I, EP_{sa}, f e EP já sabemos como calcular; T (°C) e P obtemos nos Quadros 7 e 8.

$P - EP$ (precipitação menos a evapotranspiração potencial). Para determinar períodos de excesso e deficiência é necessário obter a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. Um valor negativo de $P - EP$ indica a quantidade pela qual a precipitação não satisfaz a necessidade potencial de água da vegetação de uma determinação área. Um valor positivo de $P - EP$ indica a quantidade de água excedente e que está disponível durante certos períodos do ano para recarregar a umidade do solo e para o deflúvio superficial.

Na grande maioria das estações existe apenas uma estação úmida e uma seca por ano. Conseqüentemente, existe apenas um grupo de valores negativos consecutivos e um grupo de diferenças positivas. Nestas estações, duas possibilidades existem. Em algumas o excesso de precipitação ($P - EP$ positivo) durante o ano pode ser maior do que a perda potencial de água ($P - EP$ negativo) enquanto que em outros lugares o inverso pode ser o verdadeiro. Esta última situação pode ocorrer em áreas secas onde a precipitação não é suficiente para elevar a umidade do solo ao seu valor máximo em nenhuma época do ano. Aqui, a deficiência de água, mesmo no fim do período de chuvas e reposição de umidade, é um valor diferente de zero. Em estações com totais positivos, a deficiência de água no fim do período úmido é sempre zero. Apenas este último caso é normalmente observado no Rio Grande do Sul.

PPAA (perda potencial de água acumulada). Os valores negativos de $P - EP$, representando uma deficiência potencial de água, são somados mês por mês, em virtude de isto ser necessário nos cálculos que se seguem. É o que figura na linha correspondente a PPAA. A mesma deve começar,

QUADRO 6. Postos Meteorológicos, latitude, longitude, altitude, período de observações

| Localidades | Latitude Sul | Longitude W. do Gr. | | Altitude sobre o nível do mar | Período de observações |
|-----------------------------|--------------|---------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------|
| | | Em arco | Em tempo | | |
| Pôrto Alegre..... | 30°01'53'' | 51°13'19'' | 3h24m53s | 10 | 1910 -- 1942 |
| Uruguaians..... | 29°45'23'' | 57°05'12'' | 3h48m12s | 69 | 1912 -- 1942 |
| Santa V. do Palmar..... | 33°31'14'' | 53°21'47'' | 3h33m27s | 6 | 1913 -- 1942 |
| Rio Grande..... | 32°01'44'' | 52°05'40'' | 3h28m23s | 3 | 1912 -- 1942 |
| Pelotas..... | 31°45'00'' | 52°21'00'' | 3h29m24s | 7 | 1893 -- 1951 |
| Taquari..... | 29°48'15'' | 51°49'30'' | 3h27m18s | 76 | 1912 -- 1942 |
| Cachoeira do Sul..... | 30°02'45'' | 52°53'39'' | 3h31m35s | 68 | 1912 -- 1942 |
| Itaqui..... | 29°07'10'' | 56°32'52'' | 3h46m11s | 53 | 1914 -- 1942 |
| São Borja..... | 28°39'44'' | 50°00'15'' | 3h44m01s | 96 | 1913 -- 1942 |
| Marcelino Ramos..... | 27°27'40'' | 51°54'22'' | 3h27m38s | 383 | 1917 -- 1942 |
| Don Pedrito..... | 30°58'57'' | 54°39'53'' | 3h38m40s | 140 | 1912 -- 1942 |
| Bagé..... | 31°20'13'' | 54°06'21'' | 3h36m25s | 216 | 1912 -- 1942 |
| Livramento..... | 30°53'18'' | 55°31'56'' | 3h42m08s | 210 | 1912 -- 1942 |
| Jaguarião..... | 32°33'32'' | 53°23'20'' | 3h33m33s | 11 | 1912 -- 1942 |
| Piratini..... | 31°26'54'' | 53°06'09'' | 3h32m25s | 345 | 1917 -- 1942 |
| Teres..... | 29°20'31'' | 49°43'39'' | 3h18m55s | 43 | 1913 -- 1942 |
| Santa Maria..... | 29°41'25'' | 53°48'42'' | 3h35m15s | 138 | 1912 -- 1942 |
| São Gabriel..... | 30°20'27'' | 54°19'01'' | 3h37m16s | 124 | 1912 -- 1942 |
| Santa Cruz do Sul..... | 29°43'05'' | 52°25'45'' | 3h29m43s | 56 | 1915 -- 1943 |
| São Luiz Gonzaga..... | 28°23'53'' | 54°58'18'' | 3h39m53s | 254 | 1913 -- 1942 |
| Santiago..... | 29°11'00'' | 54°53'10'' | 3h39m33s | 426 | 1915 -- 1942 |
| Caçapava do Sul..... | 30°30'32'' | 53°29'22'' | 3h33m57s | 450 | 1915 -- 1942 |
| Santo Ângelo..... | 28°18'14'' | 54°15'52'' | 3h37m04s | 289 | 1915 -- 1942 |
| Palm. das Missões..... | 27°53'55'' | 53°29'45'' | 3h33m47s | 634 | 1915 -- 1942 |
| Encruzilhada do Sul..... | 30°32'35'' | 52°31'20'' | 3h30m05s | 420 | 1914 -- 1942 |
| Soledade..... | 29°03'14'' | 52°20'00'' | 3h29m44s | 720 | 1915 -- 1942 |
| Júlio de Cast..... | 29°13'26'' | 53°40'45'' | 3h34m43s | 516 | 1915 -- 1942 |
| Guaporé..... | 28°55'44'' | 51°54'45'' | 3h27m39s | 450 | 1912 -- 1942 |
| Passo Fundo..... | 28°15'39'' | 52°24'33'' | 3h29m38s | 678 | 1913 -- 1942 |
| Cruz Alta..... | 28°38'21'' | 53°36'34'' | 3h34m28s | 473 | 1912 -- 1942 |
| Vacaria..... | 28°33'00'' | 50°42'21'' | 3h22m49s | 955 | 1914 -- 1942 |
| Lagoa Vermelha..... | 28°25'35'' | 51°35'51'' | 3h26m23s | 805 | 1914 -- 1942 |
| Bento Gonçalves..... | 29°10'00'' | 51°25'00'' | 3h25m40s | 619 | 1918 -- 1942 |
| Caxias do Sul..... | 29°10'25'' | 51°12'21'' | 3h24m49s | 740 | 1912 -- 1942 |
| São Francisco de Paula..... | 29°20'00'' | 50°31'21'' | 3h22m05s | 912 | 1912 -- 1942 |

em estações onde a soma de $P - EP$ é positiva, com o valor O da perda potencial de água acumulada.

AAS (armazenamento de água no solo). O Quadro 5 fornece valores de umidade retida no solo, isto é, a umidade armazenada após um dado valor de perda potencial de água acumulada ter ocorrido. Acha-se o valor da perda potencial de água acumulada na linha correspondente do Quadro 5 e encontra-se o valor correspondente do armazenamento nos locais apropriados na linha correspondente ao mesmo. Após os valores de armazenamento de cada um dos meses com valores negativos de $P - EP$ terem sido encontrados, os valores positivos da linha $P - EP$ representam adições de umidade que ao solo devem ser incluídas. Se as adições acumuladas elevarem a umidade do solo acima de 100, este valor deve entrar na linha do armazenamento até o próximo valor negativo de $P - EP$ aparecer, uma vez que o solo não pode armazenar mais água.

MAS (mudança na água do solo). Em virtude de ser necessário nos cálculos subsequentes, obtém-se a diferença entre as quantidades de água armazenada de um mês para o seguinte.

Quando o valor na linha do armazenamento é 100, considera-se que não há mudança na umidade do solo, ainda que possa haver uma mudança no armazenamento acima da superfície do solo, o que não se reflete nos valores da linha MAS.

ER (evapotranspiração real). Quando a precipitação é maior do que a evapotranspiração potencial, o solo permanece cheio de água e a evapotranspiração real será igual à potencial. Quando a precipitação é menor do que a evapotranspiração potencial o solo começa a secar e a evapotranspiração real torna-se menor do que seria potencialmente possível. Nestes meses, a evapotranspiração real é igual à precipitação mais a quantidade de água retirada da

QUADRO 7. Temperaturas normais (mensais e anuais) (°C)

| Localidades | MENSAL | | | | | | | | | | | | Anual |
|----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | Jul. | Agô. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | |
| Pôrto Alegre..... | 13,8 | 14,9 | 16,5 | 18,4 | 20,9 | 23,2 | 24,6 | 24,4 | 23,1 | 20,2 | 16,9 | 14,3 | 19,3 |
| Uruguaians..... | 13,5 | 14,5 | 16,3 | 19,2 | 22,0 | 24,5 | 26,1 | 25,3 | 23,4 | 19,9 | 16,4 | 13,7 | 19,6 |
| Santa V. do Palmar | 11,3 | 12,0 | 13,2 | 15,1 | 17,8 | 20,4 | 22,1 | 21,0 | 20,6 | 17,7 | 14,4 | 11,7 | 16,5 |
| Rio Grande..... | 12,7 | 13,4 | 14,8 | 16,7 | 19,3 | 21,7 | 23,2 | 23,3 | 22,0 | 19,5 | 16,2 | 13,4 | 18,0 |
| Pelotas..... | 13,2 | 13,7 | 15,5 | 17,0 | 19,7 | 22,1 | 23,2 | 23,4 | 22,1 | 18,9 | 15,9 | 13,5 | 18,2 |
| Taquari..... | 13,9 | 15,2 | 16,6 | 18,6 | 21,2 | 23,5 | 24,8 | 24,6 | 22,9 | 20,0 | 16,7 | 14,3 | 19,4 |
| Cachoeira do Sul.... | 13,6 | 14,7 | 16,4 | 18,5 | 21,2 | 23,5 | 24,8 | 24,5 | 22,8 | 19,7 | 16,3 | 14,0 | 19,2 |
| Itaquil..... | 13,9 | 15,1 | 16,9 | 18,9 | 21,8 | 24,4 | 25,7 | 24,4 | 23,4 | 20,0 | 16,7 | 14,3 | 19,6 |
| São Borja..... | 14,4 | 15,6 | 17,5 | 19,4 | 22,3 | 24,7 | 25,9 | 25,3 | 23,6 | 20,3 | 17,0 | 14,6 | 20,0 |
| Marcelino Ramos.... | 13,9 | 15,2 | 17,3 | 18,9 | 21,3 | 23,6 | 24,2 | 23,7 | 22,7 | 19,3 | 16,0 | 14,5 | 19,2 |
| Don Pedrito..... | 12,6 | 13,5 | 15,3 | 17,4 | 20,5 | 22,9 | 24,2 | 23,6 | 21,9 | 18,5 | 15,3 | 12,7 | 18,2 |
| Bagé..... | 12,3 | 13,2 | 14,7 | 16,7 | 19,8 | 22,2 | 23,8 | 23,2 | 21,5 | 18,2 | 14,9 | 12,4 | 17,7 |
| Livramento..... | 12,4 | 13,2 | 14,9 | 17,1 | 20,0 | 22,6 | 23,8 | 23,2 | 21,4 | 18,8 | 15,4 | 12,5 | 17,9 |
| Jaguarão..... | 12,0 | 12,7 | 14,2 | 16,2 | 19,1 | 21,6 | 23,0 | 22,7 | 21,2 | 18,4 | 15,0 | 12,3 | 17,4 |
| Piratini..... | 11,2 | 12,0 | 13,2 | 15,1 | 17,8 | 20,4 | 21,6 | 21,3 | 20,1 | 16,9 | 13,7 | 11,7 | 16,3 |
| Tórres..... | 13,8 | 14,0 | 15,3 | 16,7 | 18,8 | 20,6 | 21,3 | 22,1 | 21,4 | 19,3 | 17,0 | 14,4 | 17,9 |
| Santa Maria..... | 14,1 | 15,0 | 16,4 | 18,4 | 21,0 | 23,6 | 24,8 | 24,2 | 22,7 | 19,6 | 16,6 | 14,3 | 19,2 |
| São Gabriel..... | 13,1 | 14,1 | 15,8 | 18,0 | 20,9 | 23,4 | 24,6 | 24,1 | 22,3 | 19,1 | 15,7 | 13,5 | 18,7 |
| Santa Cruz do Sul.. | 14,1 | 15,2 | 17,0 | 18,0 | 21,6 | 24,0 | 25,1 | 24,8 | 23,3 | 20,1 | 16,6 | 14,5 | 19,6 |
| São Luiz Gonzaga.. | 14,5 | 15,7 | 17,3 | 19,2 | 21,7 | 24,0 | 25,0 | 24,5 | 23,1 | 19,8 | 16,6 | 14,5 | 19,7 |
| Santiago..... | 12,5 | 13,8 | 15,3 | 17,0 | 19,8 | 22,2 | 23,3 | 22,8 | 21,5 | 18,4 | 15,1 | 13,0 | 17,9 |
| Caçapava do Sul.... | 11,6 | 12,6 | 13,9 | 16,0 | 18,5 | 21,0 | 22,2 | 21,8 | 20,4 | 17,4 | 14,2 | 12,0 | 16,8 |
| Santo Angelo..... | 14,0 | 15,4 | 17,1 | 18,8 | 21,4 | 23,6 | 24,6 | 24,1 | 22,7 | 19,5 | 16,2 | 14,1 | 19,3 |
| Palmeira das Missões | 13,2 | 14,8 | 16,3 | 18,0 | 20,5 | 22,7 | 23,4 | 22,9 | 21,7 | 18,6 | 15,5 | 13,4 | 18,4 |
| Encruzilhada do Sul | 11,6 | 12,4 | 13,5 | 16,4 | 17,9 | 20,3 | 21,5 | 21,2 | 20,0 | 17,3 | 14,3 | 12,0 | 16,5 |
| Soledade..... | 12,2 | 13,7 | 14,7 | 16,4 | 18,9 | 21,1 | 21,9 | 21,4 | 20,3 | 17,4 | 14,4 | 12,4 | 17,1 |
| Júlio de Castilhos.. | 12,1 | 13,1 | 14,8 | 16,3 | 19,0 | 21,4 | 22,4 | 21,8 | 20,6 | 17,6 | 14,3 | 12,0 | 17,1 |
| Guaporé..... | 12,4 | 13,4 | 15,0 | 16,8 | 19,1 | 21,5 | 22,3 | 22,0 | 20,9 | 17,6 | 14,5 | 12,6 | 17,3 |
| Passo Fundo..... | 12,7 | 14,0 | 15,2 | 17,2 | 19,4 | 21,5 | 22,1 | 21,6 | 20,6 | 17,7 | 14,6 | 12,4 | 17,4 |
| Cruz Alta..... | 13,1 | 14,1 | 15,5 | 17,3 | 19,9 | 22,2 | 23,1 | 22,6 | 21,3 | 18,4 | 15,5 | 13,3 | 18,0 |
| Vacaria..... | 10,8 | 12,0 | 13,5 | 15,2 | 17,4 | 19,4 | 20,3 | 19,5 | 18,8 | 15,9 | 12,9 | 11,3 | 15,6 |
| Lagoa Vermelha..... | 11,9 | 12,9 | 14,5 | 16,2 | 18,4 | 20,5 | 21,4 | 20,7 | 19,8 | 16,9 | 13,9 | 12,3 | 16,6 |
| Bento Gonçalves.... | 11,9 | 13,2 | 14,1 | 15,7 | 18,1 | 20,3 | 21,6 | 21,0 | 20,1 | 17,2 | 14,0 | 12,4 | 16,6 |
| Caxias do Sul..... | 11,4 | 12,5 | 13,5 | 15,0 | 17,3 | 19,3 | 20,4 | 20,0 | 18,9 | 16,4 | 13,6 | 11,9 | 15,9 |
| S. F. de Paula..... | 9,9 | 10,7 | 11,8 | 13,1 | 15,2 | 17,3 | 18,3 | 18,2 | 17,1 | 14,8 | 12,2 | 10,3 | 14,1 |

água armazenada no solo (o valor MAS, desprezando o seu sinal).

DA (deficiência de água). A quantidade pela qual a evapotranspiração real difere da potencial em qualquer mês é a deficiência de umidade deste mês.

EA (excesso de água). Após a umidade do solo chegar a 100 mm, qualquer excesso de precipitação é contado como excesso de água ficando sujeito ao deflúvio superficial.

DS (deflúvio superficial). Investigações mostram que para grandes bacias hidrográficas apenas cerca de 50% do excesso de água é disponível para deflúvio superficial em qualquer mês em que haja este excesso. O resto do excesso de água é retido na bacia hidrográfica e fica disponível para deflúvio superficial durante o mês seguinte.

RESULTADOS

Calculou-se o balanço hídrico para 35 localidades do Rio Grande do Sul. Nos Quadros 9, 10, 11, 12 e 13 figuram valores mensais, estacionais e anuais, respectivamente, da evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, deficiência de água no solo, excesso de água e deflúvio superficial.

DISCUSSÃO

De uma maneira geral podemos distinguir três tipos de regime hídrico no Rio Grande do Sul: na zona sul do Estado há uma estação seca, uma estação de reposição de água no solo e uma estação de excesso de água; durante a estação seca é utilizada certa quantidade de água armazenada no solo, proveniente de chuvas que ocorreram durante a estação de excesso de água, que entretanto é insuficiente para cobrir as necessidades.

A estação seca, que dura de 1 a 4 meses, conforme a zona, inicia-se com o fim da primavera e se prolonga pelo verão nas localidades secas ou compreende apenas o verão nas localidades onde a seca é menos prolongada. Na estação de reposição de água no solo as chuvas são superiores à evapotranspiração, porém, a diferença não é suficiente para saturar o solo e não há excesso: coincide com o início do ou-

QUADRO 8. Chuvas normais (mensais, estacionais e anuais) (mm)

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dês. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 123 | 134 | 123 | 101 | 92 | 92 | 102 | 89 | 93 | 118 | 125 | 130 | 387 | 136 | 283 | 336 | 1322 |
| Uruguaiana..... | 68 | 77 | 100 | 135 | 101 | 121 | 125 | 92 | 139 | 167 | 129 | 102 | 247 | 336 | 338 | 435 | 1356 |
| Santa V. do Palmar | 95 | 106 | 93 | 90 | 62 | 82 | 93 | 105 | 120 | 122 | 109 | 110 | 311 | 245 | 279 | 351 | 1186 |
| Rio Grande..... | 116 | 118 | 115 | 99 | 76 | 69 | 95 | 122 | 104 | 106 | 115 | 117 | 351 | 290 | 286 | 325 | 1252 |
| Pelotas..... | 106 | 122 | 126 | 102 | 77 | 85 | 109 | 120 | 106 | 102 | 101 | 121 | 349 | 305 | 314 | 309 | 1277 |
| Taquari..... | 141 | 153 | 160 | 108 | 101 | 105 | 127 | 108 | 108 | 128 | 151 | 147 | 441 | 309 | 340 | 387 | 1637 |
| Cachoerira do Sul... | 147 | 154 | 157 | 127 | 101 | 103 | 112 | 114 | 110 | 148 | 165 | 156 | 457 | 385 | 329 | 423 | 1594 |
| Itaqui..... | 91 | 96 | 131 | 153 | 130 | 126 | 133 | 93 | 140 | 165 | 152 | 127 | 314 | 414 | 352 | 457 | 1537 |
| São Borja..... | 105 | 111 | 137 | 158 | 130 | 142 | 121 | 117 | 168 | 156 | 173 | 141 | 367 | 425 | 330 | 497 | 1659 |
| Marcelino Ramos.... | 113 | 158 | 156 | 159 | 108 | 114 | 140 | 120 | 124 | 142 | 141 | 176 | 447 | 423 | 374 | 407 | 1651 |
| Doa Pedrito..... | 108 | 120 | 116 | 110 | 100 | 94 | 117 | 95 | 119 | 123 | 146 | 128 | 356 | 326 | 336 | 368 | 1376 |
| Bagé..... | 113 | 125 | 161 | 110 | 92 | 97 | 109 | 110 | 102 | 114 | 139 | 142 | 380 | 363 | 316 | 355 | 1414 |
| Livramento..... | 95 | 118 | 118 | 122 | 102 | 116 | 108 | 97 | 133 | 145 | 130 | 120 | 333 | 342 | 321 | 408 | 1494 |
| Jaguarão..... | 126 | 125 | 121 | 108 | 82 | 84 | 124 | 107 | 119 | 114 | 130 | 123 | 375 | 311 | 315 | 363 | 1363 |
| Piratini..... | 120 | 134 | 129 | 123 | 93 | 92 | 125 | 99 | 98 | 109 | 133 | 133 | 387 | 345 | 316 | 340 | 1388 |
| Tôres..... | 97 | 145 | 145 | 129 | 105 | 90 | 124 | 115 | 130 | 117 | 118 | 108 | 350 | 379 | 329 | 365 | 1423 |
| Santa Maria..... | 135 | 145 | 163 | 152 | 121 | 129 | 144 | 140 | 129 | 157 | 191 | 163 | 443 | 436 | 413 | 477 | 1769 |
| São Gabriel..... | 138 | 145 | 142 | 135 | 105 | 119 | 135 | 117 | 140 | 149 | 157 | 166 | 449 | 382 | 371 | 446 | 1649 |
| Santa Cruz do Sul... | 129 | 165 | 165 | 130 | 114 | 121 | 142 | 138 | 123 | 146 | 170 | 158 | 452 | 409 | 399 | 439 | 1699 |
| São L. Gonzaga.... | 125 | 120 | 158 | 180 | 132 | 138 | 141 | 122 | 162 | 187 | 181 | 170 | 415 | 470 | 401 | 530 | 1816 |
| Santiago..... | 117 | 120 | 148 | 130 | 103 | 107 | 137 | 104 | 129 | 144 | 160 | 139 | 376 | 381 | 348 | 453 | 1558 |
| Caçapava do Sul.... | 138 | 158 | 171 | 128 | 107 | 114 | 138 | 114 | 128 | 139 | 151 | 159 | 455 | 406 | 366 | 438 | 1665 |
| Santo Ângelo..... | 140 | 147 | 170 | 184 | 127 | 146 | 154 | 134 | 141 | 170 | 182 | 156 | 443 | 481 | 434 | 493 | 1851 |
| Palmeira das Missões | 137 | 153 | 187 | 166 | 126 | 141 | 146 | 130 | 144 | 184 | 182 | 197 | 487 | 479 | 417 | 542 | 1893 |
| Eneruzilhada do Sul.. | 162 | 155 | 165 | 130 | 100 | 94 | 122 | 108 | 106 | 143 | 155 | 166 | 483 | 395 | 324 | 458 | 1606 |
| Soledade..... | 153 | 190 | 196 | 162 | 130 | 142 | 173 | 151 | 150 | 163 | 190 | 195 | 568 | 488 | 486 | 512 | 2034 |
| Júlio de Castilhos... | 131 | 160 | 194 | 165 | 129 | 136 | 132 | 107 | 121 | 145 | 176 | 171 | 462 | 488 | 375 | 442 | 1767 |
| Guaporé..... | 158 | 172 | 186 | 137 | 129 | 129 | 167 | 140 | 150 | 145 | 163 | 176 | 506 | 452 | 436 | 458 | 1852 |
| Passo Fundo..... | 138 | 143 | 180 | 147 | 116 | 129 | 151 | 111 | 122 | 127 | 173 | 170 | 451 | 450 | 391 | 422 | 1714 |
| Crus Alta..... | 138 | 160 | 187 | 161 | 143 | 137 | 148 | 133 | 140 | 167 | 186 | 164 | 462 | 491 | 418 | 493 | 1864 |
| Yacarua..... | 152 | 165 | 184 | 137 | 104 | 115 | 164 | 137 | 116 | 110 | 133 | 183 | 500 | 425 | 416 | 359 | 1700 |
| Lagos Vermelha..... | 150 | 158 | 170 | 154 | 118 | 112 | 162 | 143 | 120 | 130 | 149 | 196 | 504 | 442 | 417 | 399 | 1782 |
| Bento Gonçalves..... | 166 | 164 | 196 | 136 | 127 | 121 | 157 | 127 | 122 | 168 | 170 | 172 | 502 | 459 | 405 | 460 | 1826 |
| Caxias do Sul..... | 156 | 168 | 182 | 136 | 140 | 129 | 148 | 134 | 152 | 139 | 161 | 176 | 500 | 458 | 411 | 452 | 1821 |
| S. F. de Paula..... | 192 | 218 | 239 | 220 | 185 | 185 | 204 | 182 | 202 | 203 | 224 | 214 | 624 | 644 | 571 | 629 | 2468 |

tono. A estação de excesso coincide com o fim do outono, inverno e início da primavera. Este tipo de regime hídrico ocorre também em uma zona restrita ao redor do Município de Marcelino Ramos, na zona norte do Estado.

Numa zona intermediária, entre o sul e o norte do Estado (Municípios de São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Santiago, Santa Cruz, Caçapava, etc.) há uma estação em que as chuvas não satisfazem às necessidades de água que, no entanto, são satisfeitas pela água acumulada no solo proveniente de chuvas que ocorreram na estação anterior. Esta estação coincide com o fim da primavera e o início do verão; a outra estação inicia-se com um período breve de reposição de água no solo até este ter completado a sua capacidade de campo, o que ocorre no fim do verão; daí em diante há excesso de água até o início da primavera, ocorrendo não só nesta zona,

como em todo o Estado, dois máximos de excesso durante a estação úmida; um em maio-junho e outro em agosto-setembro.

O tipo de regime hídrico com estação de utilização de água armazenada, mas normalmente sem sêca, ocorre também no litoral norte do Rio Grande do Sul (Município de Tôres).

Na zona norte do Estado, especialmente no Planalto, normalmente não há estação sêca, ocorrendo excesso em todos os meses do ano.

As Fig. 3 a 14 ilustram os diversos tipos de regime hídrico que ocorrem no Rio Grande do Sul, nas localidades mais características do Estado. Estas figuras representam a comparação da precipitação com a evapotranspiração potencial através do ano, assim como os outros elementos provenientes dessa comparação (evapotranspiração real, armazenamento de

água no solo, reposição de água, excesso de água, deficiência de água).

A variação do regime hídrico de ano para ano, principalmente no que diz respeito à intensidade da seca e aos volumes de excesso de água, é enorme. Assim, ainda que os valores normais de deficiência de água possam parecer pequenos (variam de 1 a 15 mm conforme o mês e a localidade) o que poderia dar a impressão de que eles não teriam maior significação econômica, a sua oscilação de ano para ano faz com que eles atinjam valores muito diferentes dos normais. Assim, por exemplo, a Fig. 15 mostra o balanço hídrico em um ano mais seco do que o normal, nos Municípios de Pôrto Alegre e Caxias do Sul. Em Pôrto Alegre, a deficiência de água atingiu, em 1918/19, 89 mm apenas em janeiro, e em tôda a estação seca que começou no início de setembro prolongando-se até o fim de fevereiro, a deficiência atingiu a 219 mm, que teriam de ser

supridos pela irrigação, o que representaria cerca de 2.000.000 de litros d'água por ha.

E em Caxias do Sul, onde não é normal a ocorrência de seca, houve uma deficiência de 11 mm no mesmo período (Fig. 15).

Já o excesso de água em Pôrto Alegre, que normalmente é de 457 mm chegou a 557 mm em 1919/20, período chuvoso, e em Caxias do Sul, no mesmo período, o excesso foi de 1267 mm, quando normalmente é de apenas 1078 mm (Fig. 16 e 17).

Valores médios mensais, estacionais e anuais da evapotranspiração potencial e real foram calculados para 35 localidades do Rio Grande do Sul, os quais figuram nos Quadros 9 e 10.

A distribuição geográfica da evapotranspiração potencial anual pode ser vista na Fig. 18. As isolinhas da evapotranspiração potencial acompanham o relêvo. Ela varia desde pouco mais de 950 mm no Vale do

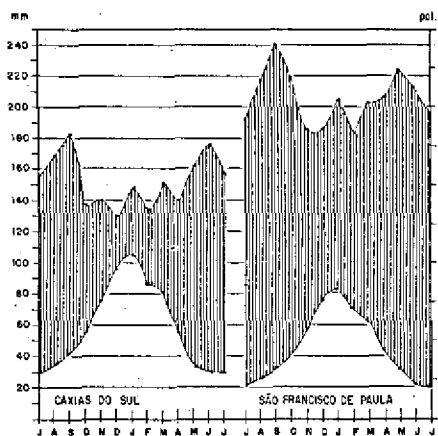
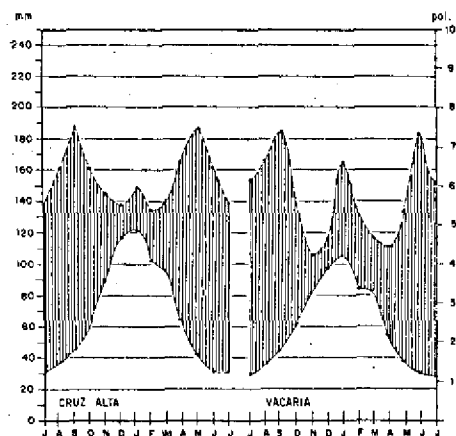
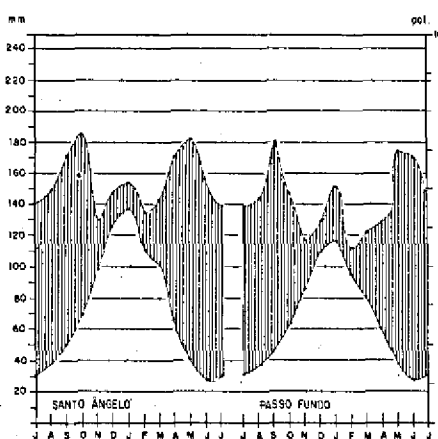
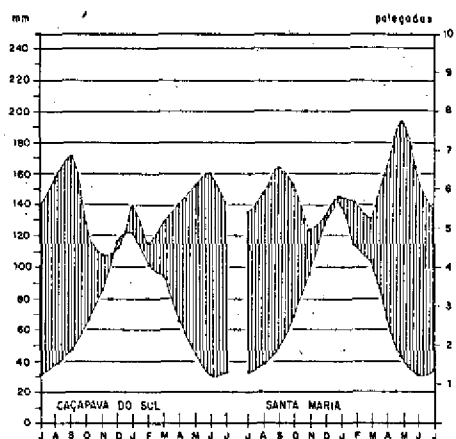


FIG. 11. Regime hídrico em Caçapava do Sul e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

FIG. 13. Regime hídrico em Cruz Alta e Vacaria, Rio Grande do Sul.

FIG. 12. Regime hídrico em Santo Ângelo e Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

FIG. 14. Regime hídrico em Caxias do Sul e São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul.

QUADRO 9. *Evapotranspiração potencial normal (mensal, estacional e anual)*^a

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|-----------------------|--------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Ag. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 30 | 37 | 48 | 68 | 92 | 121 | 135 | 114 | 106 | 73 | 46 | 31 | 98 | 208 | 370 | 224 | 900 |
| Uruguiana..... | 28 | 34 | 45 | 74 | 103 | 134 | 156 | 125 | 107 | 67 | 42 | 27 | 89 | 222 | 415 | 216 | 942 |
| Santa Y. do Palmar | 28 | 36 | 41 | 58 | 80 | 109 | 121 | 100 | 90 | 57 | 40 | 29 | 93 | 179 | 330 | 187 | 789 |
| Rio Grande..... | 28 | 34 | 41 | 59 | 83 | 112 | 123 | 108 | 100 | 71 | 46 | 30 | 92 | 183 | 343 | 217 | 835 |
| Pelotas..... | 30 | 34 | 46 | 62 | 84 | 117 | 126 | 109 | 101 | 66 | 44 | 29 | 93 | 192 | 352 | 211 | 848 |
| Taquari..... | 30 | 38 | 48 | 68 | 97 | 126 | 139 | 113 | 104 | 69 | 45 | 31 | 99 | 213 | 378 | 218 | 908 |
| Cachoeira do Sul... | 31 | 37 | 49 | 71 | 99 | 126 | 142 | 115 | 105 | 67 | 43 | 30 | 98 | 219 | 383 | 215 | 915 |
| Itaquí..... | 29 | 36 | 49 | 69 | 98 | 133 | 149 | 113 | 107 | 67 | 44 | 29 | 94 | 216 | 395 | 218 | 923 |
| São Borja..... | 31 | 36 | 51 | 73 | 108 | 132 | 151 | 124 | 107 | 70 | 43 | 28 | 95 | 232 | 407 | 220 | 954 |
| Marcelino Ramos.... | 36 | 46 | 69 | 78 | 101 | 129 | 130 | 110 | 104 | 71 | 47 | 37 | 118 | 238 | 369 | 222 | 947 |
| Don Pedrito..... | 28 | 34 | 44 | 65 | 91 | 121 | 132 | 109 | 96 | 62 | 40 | 27 | 89 | 200 | 362 | 198 | 849 |
| Bagé..... | 28 | 33 | 42 | 60 | 87 | 116 | 131 | 105 | 96 | 61 | 40 | 27 | 88 | 189 | 352 | 197 | 826 |
| Livrramento..... | 28 | 35 | 42 | 64 | 89 | 121 | 131 | 108 | 98 | 66 | 43 | 27 | 90 | 195 | 360 | 207 | 852 |
| Jaguarão..... | 27 | 32 | 41 | 69 | 82 | 114 | 123 | 104 | 96 | 65 | 41 | 27 | 86 | 182 | 341 | 202 | 811 |
| Piratini..... | 28 | 34 | 40 | 67 | 99 | 108 | 117 | 97 | 87 | 57 | 39 | 27 | 89 | 196 | 322 | 183 | 790 |
| Tôres..... | 34 | 37 | 46 | 69 | 78 | 101 | 107 | 89 | 96 | 68 | 52 | 35 | 106 | 183 | 307 | 216 | 812 |
| Santa Maria..... | 32 | 37 | 48 | 68 | 95 | 126 | 139 | 112 | 102 | 67 | 44 | 31 | 100 | 211 | 377 | 213 | 901 |
| São Gabriel..... | 29 | 36 | 46 | 67 | 97 | 126 | 140 | 118 | 102 | 66 | 41 | 29 | 94 | 210 | 379 | 209 | 892 |
| Santa Cruz do Sul... | 31 | 37 | 50 | 69 | 100 | 128 | 144 | 121 | 107 | 70 | 44 | 31 | 99 | 219 | 393 | 221 | 932 |
| São Luiz Gonzaga... | 36 | 47 | 64 | 77 | 101 | 131 | 143 | 117 | 107 | 68 | 45 | 31 | 114 | 232 | 391 | 220 | 957 |
| Santiago..... | 29 | 36 | 46 | 63 | 87 | 116 | 124 | 101 | 96 | 64 | 41 | 29 | 94 | 196 | 341 | 201 | 832 |
| Caçapava do Sul... | 33 | 39 | 48 | 67 | 86 | 115 | 121 | 102 | 95 | 66 | 45 | 32 | 104 | 201 | 338 | 206 | 849 |
| Santo Angelo..... | 31 | 40 | 51 | 70 | 99 | 125 | 137 | 110 | 102 | 67 | 43 | 30 | 101 | 220 | 372 | 212 | 905 |
| Palmeira das Missões | 31 | 40 | 50 | 68 | 93 | 119 | 125 | 102 | 96 | 65 | 42 | 30 | 101 | 211 | 346 | 203 | 861 |
| Eneruzilhada do Sul | 28 | 36 | 41 | 65 | 76 | 107 | 114 | 97 | 89 | 59 | 43 | 29 | 93 | 182 | 318 | 191 | 784 |
| Soledade..... | 31 | 39 | 46 | 66 | 82 | 109 | 117 | 97 | 90 | 61 | 40 | 30 | 100 | 194 | 323 | 191 | 803 |
| Júlio de Castilhos... | 31 | 36 | 46 | 62 | 84 | 113 | 119 | 101 | 93 | 61 | 41 | 28 | 95 | 192 | 333 | 195 | 815 |
| Quaporé..... | 31 | 36 | 47 | 65 | 84 | 113 | 119 | 100 | 95 | 61 | 40 | 29 | 96 | 196 | 332 | 196 | 820 |
| Passo Fundo..... | 31 | 39 | 48 | 65 | 86 | 110 | 117 | 95 | 91 | 61 | 38 | 29 | 99 | 199 | 322 | 190 | 810 |
| Cruz Alta..... | 31 | 38 | 46 | 66 | 88 | 116 | 121 | 102 | 95 | 65 | 42 | 31 | 100 | 200 | 339 | 202 | 841 |
| Yacaria..... | 30 | 36 | 46 | 62 | 78 | 97 | 106 | 84 | 83 | 56 | 39 | 31 | 97 | 186 | 287 | 178 | 748 |
| Lagoa Vermelha..... | 31 | 37 | 48 | 64 | 82 | 107 | 115 | 91 | 86 | 57 | 41 | 32 | 100 | 194 | 313 | 184 | 791 |
| Bento Gonçalves..... | 31 | 38 | 46 | 60 | 79 | 106 | 114 | 94 | 90 | 69 | 40 | 32 | 101 | 185 | 314 | 199 | 799 |
| Caxias do Sul..... | 31 | 37 | 44 | 57 | 76 | 96 | 106 | 88 | 83 | 57 | 36 | 32 | 100 | 177 | 290 | 176 | 743 |
| S. F. de Paula..... | 28 | 28 | 34 | 44 | 68 | 77 | 84 | 72 | 65 | 46 | 33 | 23 | 74 | 136 | 233 | 144 | 587 |

^a Calculada pela fórmula de Thornthwaite (1948); valores em mm.

Uruguai até pouco menos de 600 mm na Serra do Nordeste. Em segundo lugar, após o Vale do Uruguai, a Depressão Central é a região de maior evapotranspiração potencial anual. A zona mais elevada do Planalto e a Serra do Sudeste apresentam 800 mm de evapotranspiração potencial anual, ocupando as suas zonas mais baixas e encostas valores intermediários (900, 850 mm).

A evapotranspiração potencial é mínima nos meses de junho ou julho, conforme a região do Estado, variando de 23 mm na Serra do Nordeste a 34 mm no litoral norte (Município de Tôres); é máxima em todo o Estado, no mês de janeiro, variando desde 84 mm na Serra do Nordeste até 156 mm no Baixo Vale do Uruguai.

As Fig. 19, 20 e 21, mostram as isolinhas da evapotranspiração real anual e nos meses em que ela é máxima ou mínima.

Enquanto a Fig. 18 representa o consumo d'água das culturas sob condições ótimas de umidade do solo, as Fig. 19, 20 e 21 representam o consumo de água de acordo com as disponibilidades normais de umidade do solo.

A seca é um sério problema no Rio Grande do Sul. Não só a agricultura mas também a pecuária têm sofrido tremendos prejuízos com a seca de verão. A sua solução, ao nosso ver, entretanto, é uma questão de fomento das medidas já em prática, tais como a irrigação. Basta citar aqui o caso da cultura do arroz, feita em larga escala no Rio Grande do Sul e que leva na sua conta cultural apenas 12% (considerando-se a irrigação propriamente dita, que consome 7% e a construção de taipas e canais que consome 5% do custo de produção) de gastos necessários à irrigação. E sabemos que o consumo de água, nas lavouras de arroz em que é feita a irrigação por sub-

mersão, é maior do que o requerido por uma cultura que necessite apenas de irrigação por aspersão ou infiltração, além de que a construção de obras comparáveis às de taipas e canais para a cultura irrigada do arroz seria menos onerosa.

O regime hídrico do Rio Grande do Sul tem, além disso, a grande vantagem de que a estação que antecede à das secas é a de excesso de água, havendo portanto a possibilidade de fazer reserva de água em açudes ou reservatórios; e não é nada mais nada menos o que fazem os orizicultores, pois os açudes contribuem com a maior parcela dos mananciais que fornecem água para a irrigação do arroz, isto é, 83%, o que é um fato significativo. Além disso, o regime dos rios é favorável e eles tem contribuído com cerca de 30% da água de irrigação para a lavoura do arroz.

Em certas zonas, especialmente na do polígono das secas da fronteira do sudoeste (Uruguaiana, Alegrete), a abertura de poços artesianos, já iniciada, muito poderá contribuir para minorar os efeitos da seca.

Não somos dos que vêem na provocação artificial de chuvas uma solução técnica ou econômica para o problema das secas, pelo menos nesta altura do progresso da ciência. Eis a afirmação que, faz pouco, emitiram quatro especialistas norte-americanos em resposta ao requerimento do presidente da Sociedade Meteorológica Americana: "É opinião ponderada deste Comitê, que a possibilidade de produzir artificialmente quantidades úteis de chuva, não foram até agora demonstradas, sempre que os dados existentes se interpretam com base em princípios cientificamente aceitáveis" segundo citação de Schwerdtfeger (1951).

Já o controle da evaporação em açudes ou reservatórios nos parece de maiores possibilidades, pelo menos em um futuro próximo. Segundo Multon (1967), tem sido empregado, com sucesso, o álcool cetílico no controle da evaporação em açudes, e pelo seu uso já se conseguiu reduzir a evaporação de 37% em alguns reservatórios, o que sem dúvida representa uma notável economia de água.

Em muitas regiões, a escolha criteriosa da época de plantio muito poderá minorar os efeitos da seca, especialmente para aquelas culturas de "período crítico em relação à água" restrito a uma determinada época do ciclo vegetativo, como o milho por exemplo. Já para culturas de "floração contínua" a escolha da época de plantio terá de ser suplementada pela irrigação. Em algumas zonas, (Município de Uruguaiana, Porto Alegre) a irrigação terá de ser o recurso imprescindível.

A pecuária tem sofrido enormes prejuízos por causa da seca, especialmente a criação de gado bovino,

As pastagens são prejudicadas seriamente na sua quantidade e qualidade. A obtenção de reservas forrageiras para o gado no Rio Grande do Sul é um importante fator a considerar, se quisermos debelar os efeitos da seca.

Conforme podemos verificar na Fig. 22, há no Estado duas zonas bem distintas quanto à ocorrência de deficiência de água: a norte que se prolonga pelo oeste para o sul e a sul que se prolonga pelo leste para o norte; na primeira normalmente não há seca a não ser ao redor do Município de Marcelino Ramos,

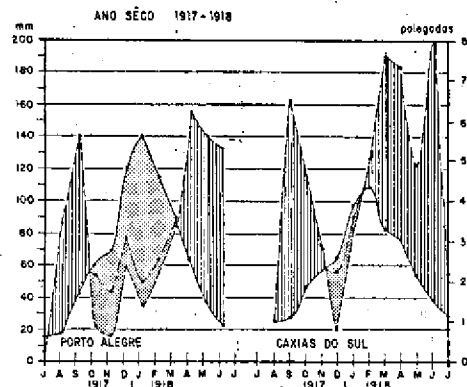


FIG. 15. Regime hídrico em Porto Alegre e Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, ano 1917 (Ano seco).

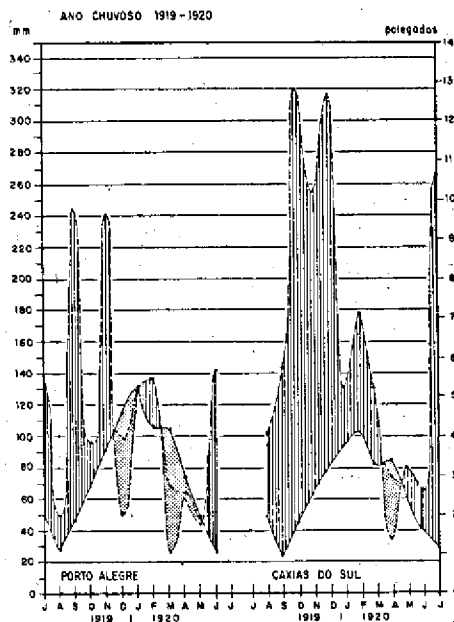


FIG. 16. Regime hídrico em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ano 1919/20 (Ano chuvoso).

FIG. 17. Regime hídrico em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, ano 1919/20 (Ano chuvoso).

QUADRO 10. *Evapotranspiração real normal (mensal, estacional e anual) (mm)*

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Des. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 30 | 37 | 48 | 68 | 92 | 118 | 123 | 101 | 98 | 73 | 46 | 31 | 98 | 208 | 342 | 217 | 865 |
| Uruguaiana..... | 28 | 34 | 45 | 74 | 103 | 133 | 149 | 110 | 107 | 67 | 42 | 27 | 89 | 222 | 302 | 216 | 919 |
| Santa V. do Palmar | 28 | 36 | 41 | 58 | 79 | 102 | 108 | 100 | 90 | 57 | 40 | 29 | 93 | 178 | 340 | 187 | 768 |
| Rio Grande..... | 28 | 34 | 41 | 59 | 83 | 102 | 110 | 108 | 100 | 71 | 46 | 30 | 92 | 183 | 320 | 217 | 812 |
| Pelotas..... | 30 | 34 | 40 | 62 | 84 | 111 | 120 | 109 | 101 | 66 | 44 | 29 | 93 | 192 | 340 | 211 | 836 |
| Taquari..... | 30 | 38 | 48 | 68 | 97 | 124 | 137 | 111 | 104 | 69 | 45 | 31 | 99 | 213 | 372 | 218 | 902 |
| Cachoeira do Sul.... | 31 | 37 | 49 | 71 | 99 | 124 | 133 | 114 | 105 | 67 | 43 | 30 | 98 | 219 | 371 | 215 | 903 |
| Itaqui..... | 29 | 36 | 49 | 69 | 98 | 133 | 147 | 108 | 107 | 67 | 44 | 29 | 94 | 216 | 388 | 218 | 918 |
| São Borja..... | 31 | 36 | 51 | 73 | 108 | 132 | 147 | 123 | 107 | 70 | 43 | 28 | 95 | 232 | 402 | 220 | 949 |
| Marcelino Ramos.... | 36 | 45 | 69 | 78 | 101 | 128 | 130 | 110 | 104 | 71 | 47 | 37 | 118 | 238 | 368 | 222 | 946 |
| Don Pedrito..... | 28 | 34 | 44 | 65 | 91 | 118 | 128 | 104 | 96 | 62 | 40 | 27 | 89 | 200 | 350 | 198 | 837 |
| Bagé..... | 28 | 33 | 42 | 60 | 87 | 115 | 125 | 105 | 96 | 61 | 40 | 27 | 88 | 189 | 345 | 197 | 819 |
| Livramento..... | 28 | 35 | 42 | 64 | 89 | 121 | 128 | 105 | 98 | 65 | 43 | 27 | 90 | 195 | 354 | 207 | 846 |
| Jaguarião..... | 27 | 32 | 41 | 59 | 82 | 110 | 123 | 104 | 96 | 65 | 41 | 27 | 86 | 182 | 337 | 202 | 807 |
| Piratini..... | 28 | 34 | 40 | 57 | 99 | 108 | 117 | 97 | 87 | 57 | 39 | 27 | 89 | 190 | 320 | 183 | 788 |
| Tórres..... | 34 | 37 | 46 | 59 | 78 | 101 | 107 | 99 | 96 | 68 | 52 | 35 | 106 | 183 | 307 | 216 | 812 |
| Santa Maria..... | 32 | 37 | 48 | 68 | 95 | 126 | 139 | 112 | 102 | 67 | 44 | 31 | 100 | 211 | 377 | 213 | 901 |
| São Gabriel..... | 29 | 36 | 46 | 67 | 97 | 126 | 140 | 113 | 102 | 66 | 41 | 29 | 94 | 210 | 379 | 209 | 892 |
| Santa Cruz do Sul.. | 31 | 37 | 50 | 69 | 100 | 128 | 144 | 121 | 107 | 70 | 44 | 31 | 99 | 219 | 393 | 221 | 932 |
| São Luís Gonzaga... | 36 | 47 | 54 | 77 | 101 | 131 | 143 | 117 | 107 | 68 | 45 | 31 | 114 | 232 | 391 | 220 | 957 |
| Santiago..... | 29 | 36 | 46 | 63 | 87 | 116 | 124 | 101 | 98 | 64 | 41 | 29 | 94 | 196 | 341 | 201 | 832 |
| Capapava do Sul... | 33 | 39 | 48 | 67 | 86 | 115 | 121 | 102 | 95 | 66 | 45 | 32 | 104 | 201 | 338 | 206 | 849 |
| Santo Ângelo..... | 31 | 40 | 51 | 70 | 99 | 125 | 137 | 110 | 102 | 67 | 43 | 30 | 101 | 220 | 372 | 212 | 905 |
| Palmeira das Missões | 31 | 40 | 50 | 68 | 93 | 119 | 125 | 102 | 96 | 65 | 42 | 30 | 101 | 211 | 346 | 203 | 861 |
| Encruzilhada do Sul | 28 | 36 | 41 | 65 | 76 | 106 | 114 | 97 | 89 | 59 | 43 | 29 | 93 | 182 | 317 | 191 | 783 |
| Soledade..... | 31 | 39 | 46 | 60 | 82 | 109 | 117 | 97 | 90 | 61 | 40 | 30 | 100 | 194 | 323 | 191 | 808 |
| Júlio de Castilho... | 31 | 38 | 46 | 62 | 84 | 113 | 119 | 101 | 93 | 61 | 41 | 28 | 95 | 192 | 333 | 195 | 815 |
| Guaporé..... | 31 | 36 | 47 | 65 | 84 | 113 | 119 | 100 | 95 | 61 | 40 | 29 | 96 | 198 | 332 | 196 | 820 |
| Passo Fundo..... | 31 | 39 | 48 | 65 | 86 | 110 | 117 | 95 | 91 | 61 | 38 | 29 | 99 | 199 | 322 | 190 | 810 |
| Crus Alta..... | 31 | 38 | 46 | 66 | 88 | 116 | 121 | 102 | 95 | 65 | 42 | 31 | 100 | 200 | 339 | 202 | 841 |
| Vacaria..... | 30 | 36 | 46 | 62 | 78 | 97 | 106 | 84 | 83 | 56 | 39 | 31 | 97 | 186 | 287 | 178 | 748 |
| Lagoa Vermelha..... | 31 | 37 | 48 | 64 | 82 | 107 | 115 | 91 | 86 | 57 | 41 | 32 | 100 | 194 | 313 | 184 | 791 |
| Bento Gonçalves.... | 31 | 38 | 46 | 60 | 79 | 108 | 114 | 94 | 90 | 69 | 40 | 32 | 101 | 185 | 314 | 199 | 799 |
| Caxias do Sul..... | 31 | 37 | 44 | 57 | 76 | 96 | 106 | 88 | 83 | 57 | 36 | 32 | 100 | 177 | 290 | 176 | 743 |
| S. F. de Paula..... | 23 | 28 | 34 | 44 | 58 | 77 | 84 | 72 | 65 | 46 | 33 | 23 | 74 | 136 | 233 | 144 | 587 |

na segunda a falta de água é normal e muito frequente. A seca se intensifica na direção do litoral e das fronteiras com a Argentina e Uruguai. Na Fig. 23 aparece a época da seca conforme a zona do Estado. Esta poderá ser de apenas um mês, como na Serra do Sudeste e ao redor do Município de Marcelino Ramos a até 4 meses, como ao redor do Município de Pôrto Alegre. Nas Fig. 24 a 27 podemos avaliar a extensão das oscilações de ano para ano, nos diversos meses, da deficiência de água nas localidades mais características das diversas regiões climáticas do Estado. Nestas figuras aparece a precipitação mensal em cada ano e uma reta que corresponde ao valor da evapotranspiração potencial normal em cada mês, uma vez que esta última varia muito pouco de ano para ano, e a variação dos excessos e deficiência de água é devida principalmente à grande variabilidade das chuvas. De acordo

com Amaral e Mota (1956), a distribuição das precipitações mensais tem uma assimetria positiva, o que significa que os valores abaixo da média são mais frequentes que os superiores a ela; em virtude disso, as deficiências de água que ocorrem nos diversos anos, em geral são superiores ao normal, ao passo que os excessos lhe são em geral inferiores.

Segundo Thornthwaite e Mather (1955), há 4 espécies diferentes de seca. A primeira, que pode chamar-se de *seca permanente*, é característica dos climas mais secos. A vegetação esparsa é adaptada à seca, a agricultura é impossível, exceto pela irrigação durante toda a estação de crescimento. A segunda, ou *seca estacional*, é encontrada nos climas que possuem estações seca e úmida bem definidas. A vegetação natural é composta de plantas que produzem sementes durante a estação chuvosa e depois morrem, e de plantas que permanecem vivas mas tor-

nam-se dormentes na estação seca. Para a agricultura ter sucesso, a época de plantio deve estar ajustada de maneira a que a cultura se desenvolva durante a estação úmida. De outra maneira, as culturas terão de ser irrigadas durante a estação seca.

Estes dois primeiros tipos de seca não ocorrem no Rio Grande do Sul.

O terceiro tipo de seca resulta do fato de que a precipitação é irregular e muito variável. Estas secas dependem da irregularidade da precipitação e não são certas de ocorrerem em nenhuma estação definida, mas são mais prováveis na estação de máxima

necessidade de água. São chamadas *secas contingentes*. Podem ocorrer em qualquer parte, mesmo nas áreas de seca estacional, mas são mais características dos climas sub-úmidos e úmidos. Este tipo de seca é o que mais ocorre no Rio Grande do Sul, especialmente na zona sul.

O quarto tipo de seca pode ser chamado de *seca invisível*. Pode ocorrer em qualquer área mas é mais comum nas regiões climáticas mais úmidas. As secas invisíveis podem ocorrer mesmo durante um período em que caem chuvas todos os dias. Quando as chuvas não são suficientes para satisfazer a perda de

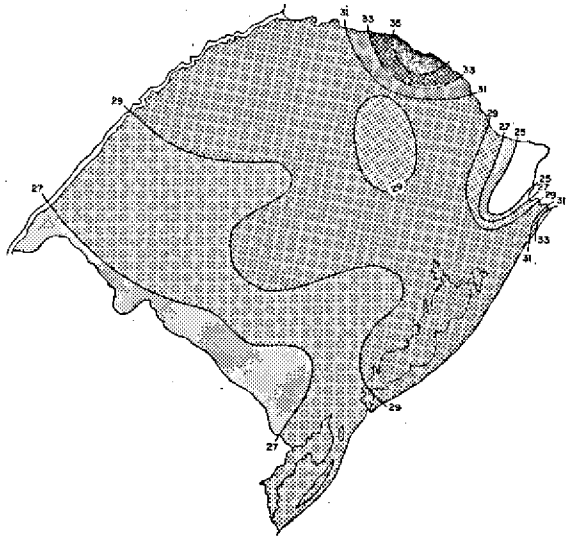
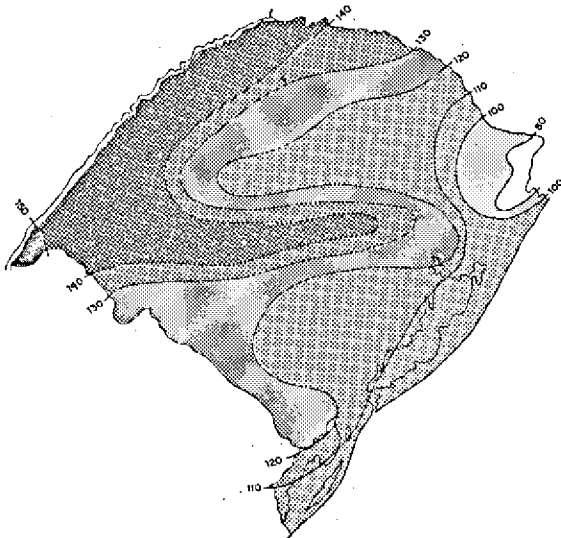
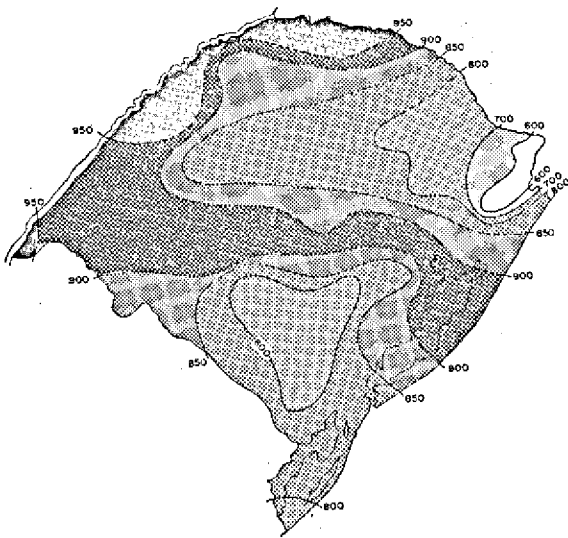


FIG. 18. Evapotranspiração potencial anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

FIG. 20. Evapotranspiração real no mês em que é máxima (em mm) no Rio Grande do Sul.

FIG. 19. Evapotranspiração real anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

FIG. 21. Evapotranspiração real no mês em que é mínima (em mm) no Rio Grande do Sul.

QUADRO II. Deficiência de água no solo, normal (mensal, estacional e anual) (mm)

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Agó. | Sct. | Out. | Nov. | Des. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | 13 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 7 | 35 |
| Urugusiana..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0 | 23 |
| Santa V. do Palmar | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 20 | 0 | 21 |
| Rio Grande..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0 | 23 |
| Pelotas..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Taquari..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 |
| Cacoeira do Sul... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Itaquí..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 7 |
| São Borja..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Marcelino Ramos... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Don Pedrito..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Bagé..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 7 |
| Livramento..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 |
| Jaguarão..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| Piratini..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Tóres..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Maria..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| São Gabriel..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Cruz do Sul.. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| São Luiz Gonzaga.. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Caçapava do Sul... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santo Ângelo..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Palmeira das Missões | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Encruzilhada do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Soledade..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Júlio de Castilhos.. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Guaporé..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Passo Fundo..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Crus Alta..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vacaria..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lagoa Vermelha..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bento Gonçalves..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Caxias do Sul..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S. F. de Paula..... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

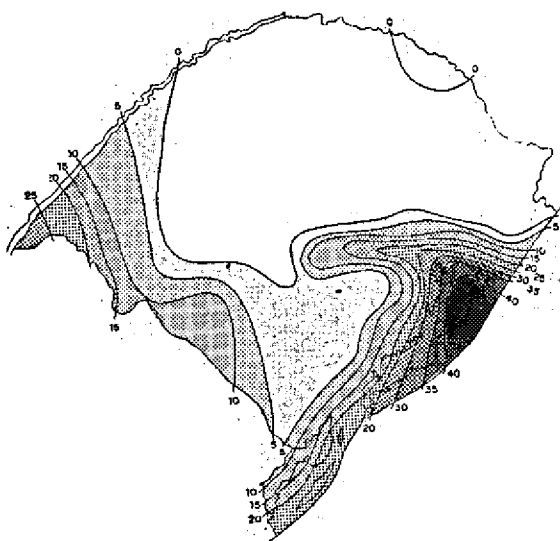


FIG. 22. Deficiência de água anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

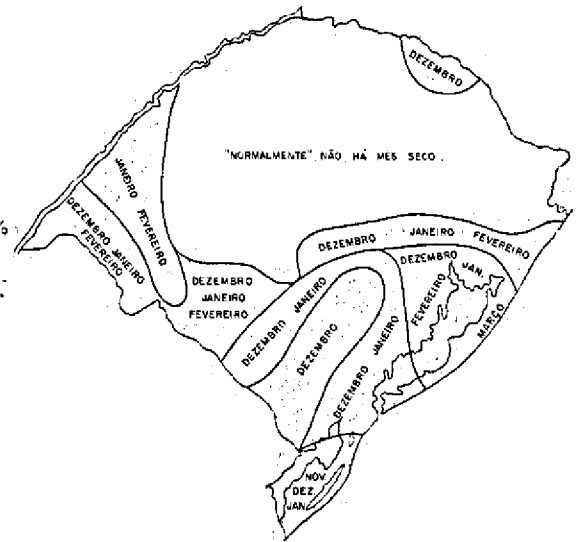


FIG. 23. Época normal da seca no Rio Grande do Sul.

água pela evapotranspiração, o resultado é uma deficiência de água marginal que passa a limitar o crescimento das plantas e reduz seu rendimento, em alguns casos, a mais de 50% do possível. A seca invisível é comum no Rio Grande do Sul, especialmente na zona central e norte do Estado, não sendo fácil de ser reconhecida. A precipitação parece adequada e as plantas aparentam estar crescendo bem, ainda que a deficiência de água seja incapaz de produzir a vegetação luxuriante que tem lugar sob

condições ótimas de umidade. Só o registro contínuo da umidade do solo ou o balanço hídrico diário poderá fornecer uma informação segura da ocorrência destas secas invisíveis.

O Quadro II fornece os valores mensais, estacionais e anuais normais de deficiência de água no Estado.

Os cálculos de deficiência de água foram baseados em solos com 100 mm de capacidade de retenção de água. Naturalmente, no Estado, existem em di-

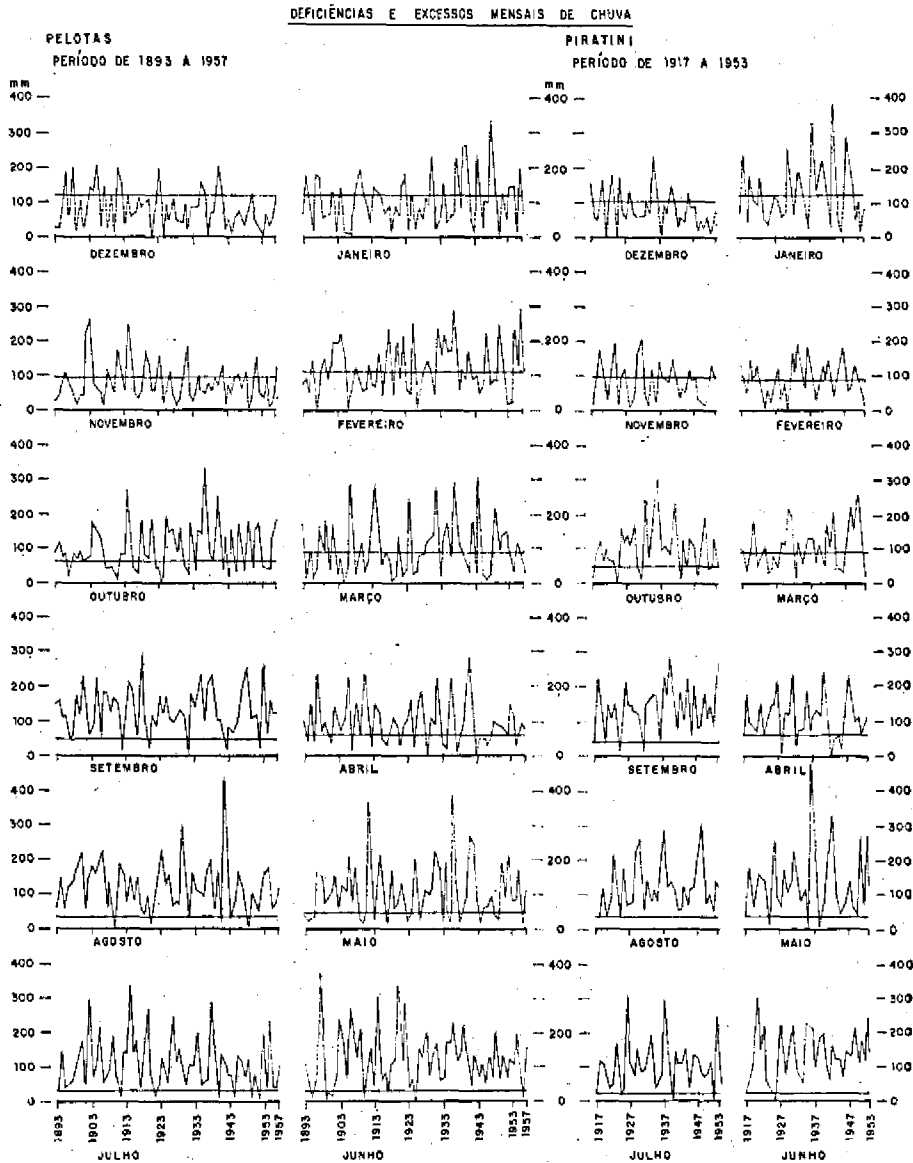


FIG. 24. Deficiências e excessos mensais de chuvas em Pelotas, Rio Grande do Sul, anos de 1893 a 1957.

FIG. 25. Deficiências e excessos mensais de chuvas em Piratini, Rio Grande do Sul, anos de 1917 a 1953.

versas regiões, solos com capacidade de retenção bem maior do que 100 mm. Nestes, a seca será menos intensa, pois o solo terá maior quantidade de água armazenada. Assim como haverá solos com menos de 100 mm de capacidade de retenção de água e nestes

a seca será mais intensa quando faltarem as chuvas, pois terão menor quantidade de água armazenada.

Práticas de conservação de água serão de útil aplicação no Rio Grande do Sul. Ao falarmos nestas práticas queremos nos referir àquelas que evitam o es-

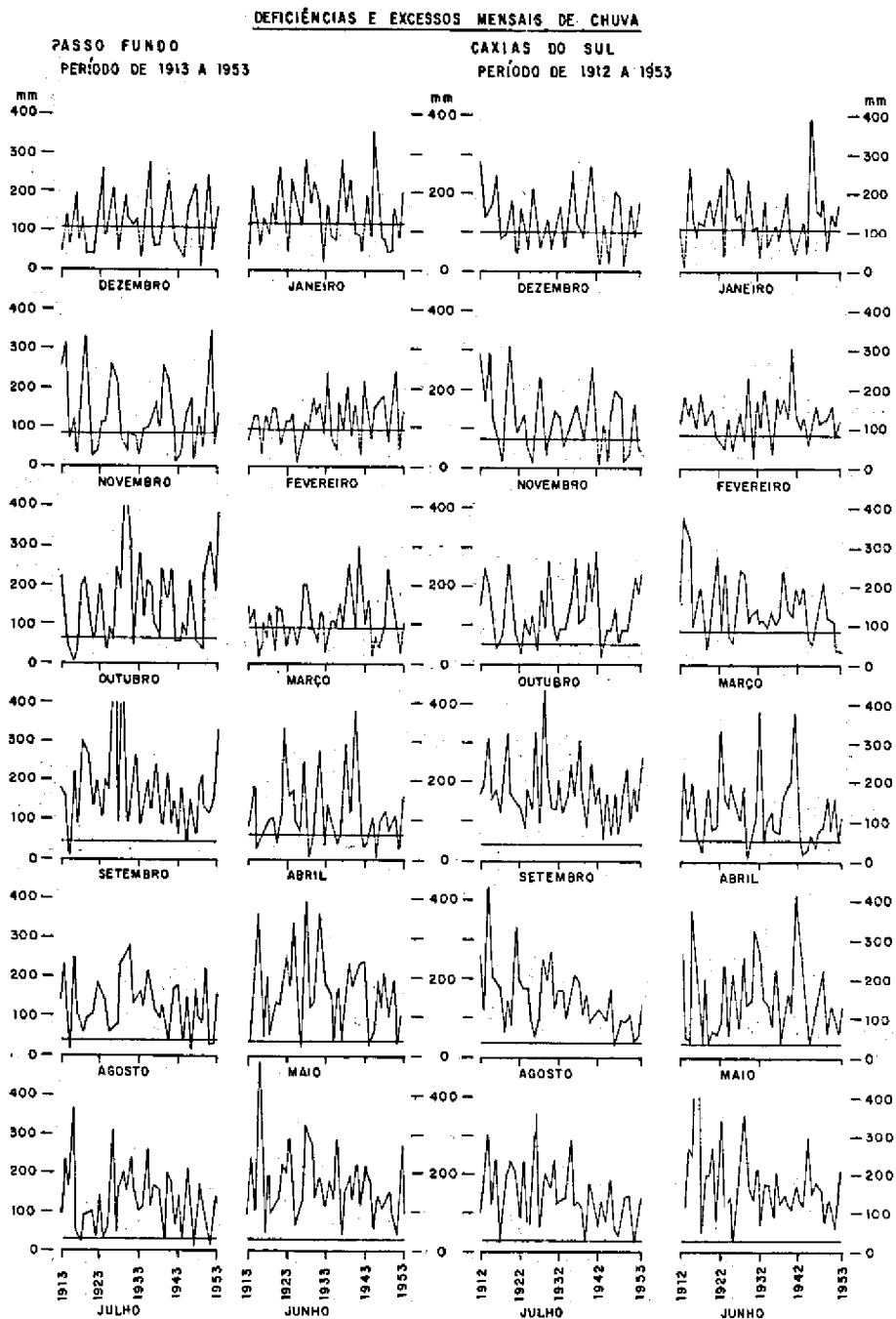


FIG. 26: Deficiências e excessos mensais de chuvas em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, anos de 1913 a 1953.

FIG. 27: Deficiências e excessos mensais de chuvas em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, anos de 1912 a 1953.

corrimento de água pela superfície, dando tempo para que as mesmas se infiltrem, e outras aplicáveis a certas culturas como por exemplo o emprego do "mulch" em frutíferas etc. Sabemos que nem todas as espécies ou variedades de uma mesma espécie apresentam a mesma reação ante a falta de água no solo; umas são mais resistentes à seca do que as outras. De modo que o melhoramento genético visando conferir resistência à seca deverá estar na primeira linha dos fatores a serem considerados pelo melhorista no Rio Grande do Sul, especialmente em relação às culturas de primavera e verão. É importante assinalar que Maximov (1929) chama a atenção para que a resistência à seca não obedece a um consumo reduzido de água, mas à capacidade para suportar o murchamento que inevitavelmente acompanha a seca. Esta capacidade reside provavelmente no suco celular e na composição do protoplasma. Parece existir uma correlação entre a quantidade de água de composição dos tecidos e sua resistência à seca. É por isto que as dife-

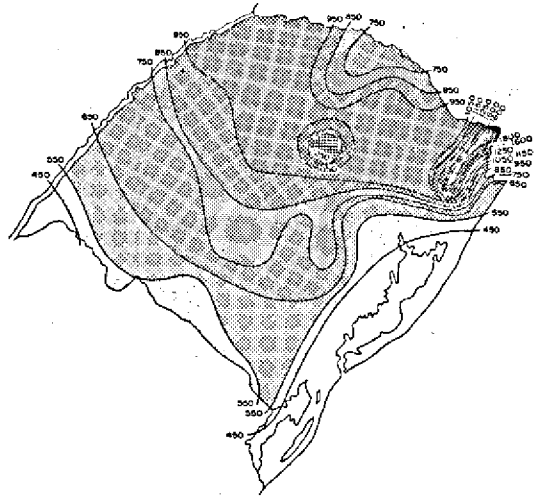


FIG. 28. Excesso de água anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

QUADRO 12. Excesso de água normal (mensal, estacional e anual) (mm)

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|---------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Agô. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 93 | 97 | 75 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 99 | 289 | 108 | 0 | 60 | 457 |
| Uruguaiana..... | 40 | 43 | 55 | 61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76 | 87 | 75 | 159 | 116 | 0 | 163 | 437 |
| Santa V. do Palmar..... | 67 | 70 | 52 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 | 69 | 61 | 218 | 84 | 0 | 116 | 413 |
| Rio Grande..... | 88 | 84 | 74 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 67 | 87 | 259 | 114 | 0 | 67 | 440 |
| Pelotas..... | 76 | 88 | 80 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 57 | 92 | 256 | 120 | 0 | 65 | 441 |
| Taquari..... | 111 | 115 | 112 | 40 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 106 | 116 | 342 | 156 | 0 | 137 | 635 |
| Cachoeira do Sul..... | 116 | 117 | 108 | 56 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 | 122 | 126 | 359 | 166 | 0 | 166 | 691 |
| Itaqui..... | 62 | 60 | 82 | 64 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 | 108 | 98 | 220 | 198 | 0 | 203 | 621 |
| São Borja..... | 74 | 75 | 80 | 85 | 22 | 10 | 0 | 0 | 29 | 86 | 130 | 113 | 262 | 113 | 10 | 245 | 710 |
| Marcelino Ramos..... | 77 | 113 | 97 | 81 | 7 | 0 | 0 | 6 | 20 | 71 | 94 | 139 | 329 | 195 | 6 | 185 | 705 |
| Dom Pedrito..... | 80 | 86 | 72 | 45 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 106 | 101 | 267 | 126 | 0 | 146 | 539 |
| Bagé..... | 85 | 92 | 119 | 50 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 99 | 115 | 282 | 174 | 0 | 129 | 595 |
| Livramento..... | 67 | 83 | 76 | 58 | 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 79 | 87 | 93 | 243 | 147 | 0 | 168 | 558 |
| Jaguarião..... | 99 | 93 | 80 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 49 | 89 | 97 | 280 | 129 | 0 | 139 | 557 |
| Piratini..... | 92 | 100 | 89 | 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 52 | 94 | 106 | 208 | 155 | 0 | 147 | 600 |
| Torres..... | 63 | 108 | 99 | 70 | 27 | 0 | 6 | 16 | 34 | 49 | 66 | 73 | 244 | 196 | 22 | 149 | 611 |
| Santa Maria..... | 103 | 108 | 115 | 64 | 26 | 3 | 5 | 28 | 27 | 90 | 147 | 132 | 343 | 225 | 36 | 264 | 868 |
| São Gabriel..... | 109 | 109 | 96 | 68 | 8 | 0 | 0 | 0 | 30 | 83 | 116 | 137 | 355 | 182 | 0 | 229 | 756 |
| Santa Cruz do Sul..... | 98 | 128 | 115 | 61 | 14 | 0 | 0 | 6 | 16 | 76 | 126 | 127 | 353 | 190 | 6 | 218 | 767 |
| São Luiz Gonzaga..... | 89 | 73 | 104 | 103 | 31 | 7 | 0 | 3 | 55 | 119 | 136 | 139 | 301 | 238 | 10 | 310 | 859 |
| Santiago..... | 88 | 84 | 102 | 67 | 16 | 0 | 4 | 3 | 33 | 80 | 139 | 110 | 282 | 185 | 7 | 252 | 726 |
| Caçapava do Sul..... | 106 | 119 | 123 | 61 | 21 | 0 | 16 | 12 | 33 | 73 | 106 | 127 | 351 | 205 | 28 | 212 | 796 |
| Santo Ângelo..... | 109 | 107 | 119 | 114 | 28 | 21 | 17 | 24 | 39 | 103 | 139 | 126 | 342 | 261 | 62 | 281 | 946 |
| Palmeira das Missões..... | 106 | 113 | 137 | 98 | 33 | 22 | 21 | 28 | 48 | 119 | 140 | 167 | 386 | 268 | 71 | 307 | 1032 |
| Encruzilhada do Sul..... | 134 | 119 | 124 | 65 | 24 | 0 | 0 | 7 | 17 | 84 | 112 | 137 | 390 | 213 | 7 | 213 | 823 |
| Soledade..... | 152 | 151 | 150 | 96 | 48 | 33 | 56 | 54 | 60 | 102 | 159 | 165 | 468 | 294 | 143 | 321 | 1226 |
| Júlio de Castilhos..... | 100 | 124 | 148 | 103 | 45 | 23 | 13 | 6 | 28 | 84 | 135 | 143 | 367 | 296 | 43 | 247 | 952 |
| Guaporé..... | 127 | 136 | 139 | 72 | 45 | 16 | 48 | 40 | 55 | 84 | 123 | 147 | 410 | 256 | 104 | 262 | 1032 |
| Passo Fundo..... | 107 | 104 | 132 | 82 | 30 | 19 | 34 | 16 | 31 | 66 | 135 | 141 | 352 | 244 | 69 | 232 | 897 |
| Cruz Alta..... | 107 | 122 | 141 | 95 | 55 | 21 | 27 | 31 | 45 | 102 | 144 | 133 | 362 | 291 | 79 | 291 | 1023 |
| Vacaria..... | 122 | 129 | 138 | 75 | 26 | 18 | 58 | 33 | 33 | 54 | 94 | 152 | 403 | 239 | 129 | 151 | 952 |
| Lagoa Vermelha..... | 119 | 121 | 122 | 90 | 36 | 5 | 47 | 52 | 34 | 73 | 108 | 164 | 404 | 248 | 104 | 215 | 971 |
| Bento Gonçalves..... | 135 | 126 | 150 | 79 | 48 | 15 | 43 | 33 | 32 | 99 | 130 | 140 | 401 | 274 | 91 | 261 | 1027 |
| Caxias do Sul..... | 125 | 131 | 132 | 79 | 64 | 33 | 42 | 46 | 69 | 82 | 125 | 144 | 400 | 275 | 121 | 276 | 1078 |
| S. F. da Paula..... | 160 | 190 | 205 | 176 | 127 | 108 | 120 | 110 | 137 | 157 | 191 | 191 | 550 | 508 | 338 | 484 | 1881 |

renças de resistência à seca são relativamente constantes de ano para ano.

As culturas de inverno e primavera e aquelas cujo amadurecimento e colheita se dão no outono, encontram nos excessos de água outonais, invernais e primaveris, comuns em todo o Rio Grande do Sul, uma séria adversidade climática. A pecuária, igualmente, sofre tremendos prejuízos devido ao excesso de chuvas no inverno e na primavera.

Naturalmente, esta adversidade é mais grave nas zonas de topografia plana. É menos grave nas zonas de solos mais profundos, melhor drenados.

O excesso de água causa a chamada seca fisiológica (falta de ar para as raízes), a acidificação e o empobrecimento gradual dos solos em elementos nutritivos pela lavagem excessiva, agrava a erosão, causa a fome de nitrogênio no inverno e na primavera, favorece a invasão das ervas daninhas e de certas doenças, prejudica a germinação das sementes, mata cordeiros e emagrece gado.

Um seríssimo problema da agricultura riograndense, cuja causa é o excesso de água, é a dificuldade muito freqüente do preparo do solo para as culturas de inverno e primavera.

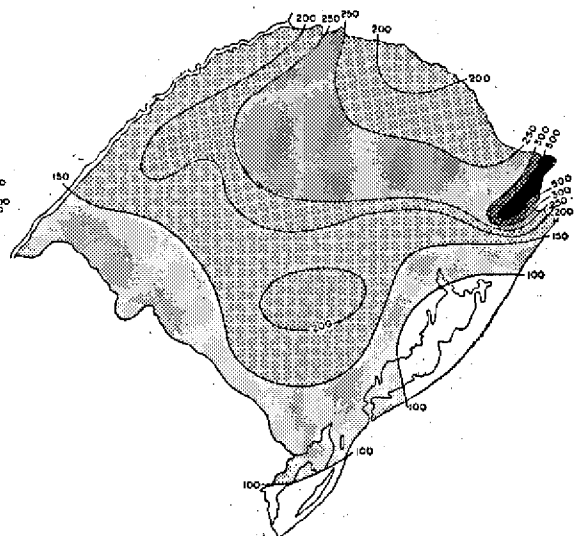
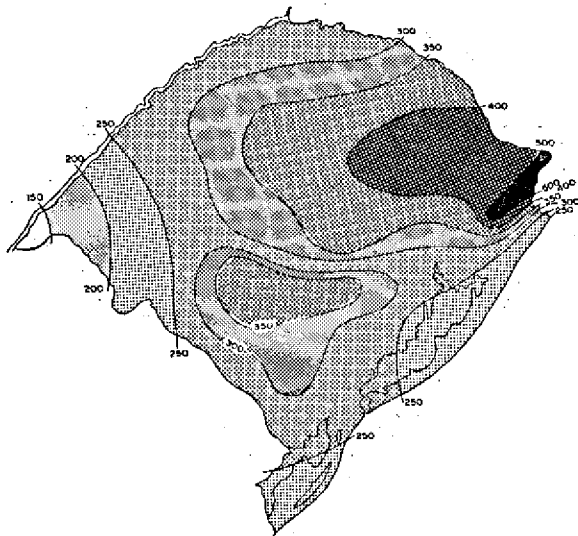
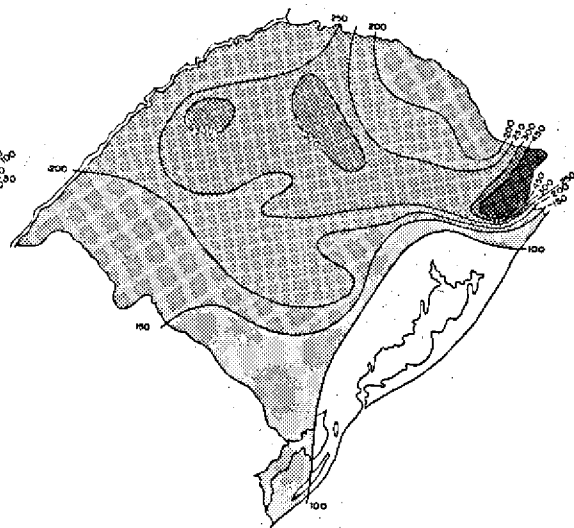
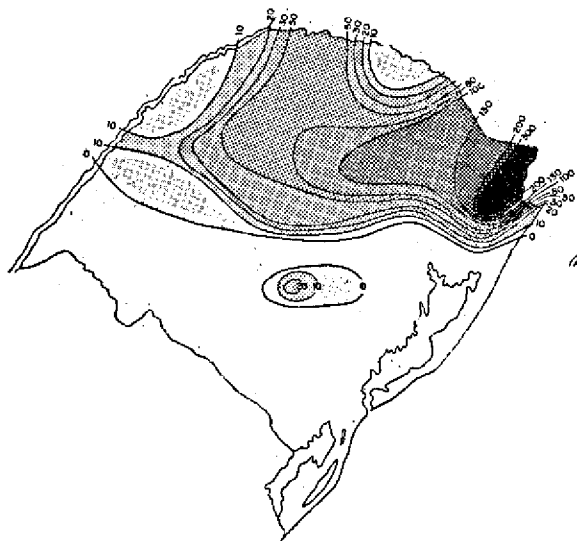


FIG. 29. Excesso de água no verão (em mm) no Rio Grande do Sul.

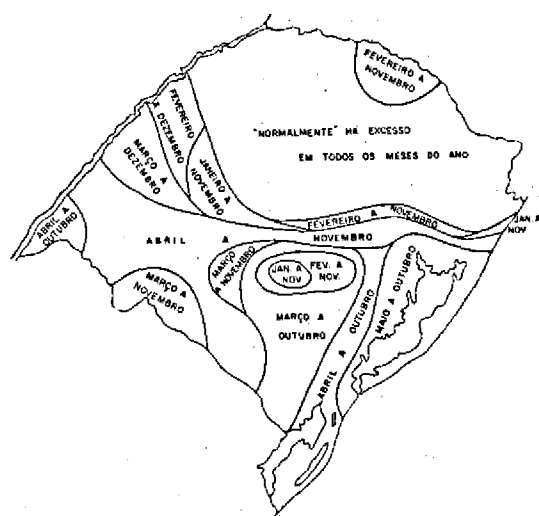
FIG. 31. Excesso de água no inverno (em mm) no Rio Grande do Sul.

FIG. 30. Excesso de água no outono (em mm) no Rio Grande do Sul.

FIG. 32. Excesso de água na primavera (em mm) no Rio Grande do Sul.

QUADRO 13. *Deflúvio superficial (mensal, estacional e anual) (mm)*

| Localidades | Mensal | | | | | | | | | | | | Estacional | | | | Anual |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| | Jul. | Agô. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Inv. | Prim. | Ver. | Out. | |
| Pôrto Alegre..... | 80 | 80 | 82 | 58 | 28 | 14 | 7 | 4 | 2 | 1 | 30 | 65 | 231 | 168 | 25 | 33 | 457 |
| Uruguaiana..... | 55 | 50 | 52 | 57 | 28 | 14 | 7 | 3 | 1 | 38 | 63 | 69 | 174 | 137 | 24 | 102 | 437 |
| Santa V. do Palmar | 66 | 68 | 60 | 46 | 23 | 12 | 6 | 3 | 2 | 23 | 46 | 63 | 197 | 129 | 21 | 71 | 418 |
| Rio Grande..... | 72 | 80 | 76 | 60 | 30 | 15 | 8 | 4 | 2 | 1 | 32 | 60 | 212 | 166 | 27 | 35 | 440 |
| Pelotas..... | 65 | 78 | 80 | 60 | 30 | 15 | 8 | 4 | 2 | 4 | 30 | 62 | 208 | 170 | 27 | 36 | 441 |
| Taquari..... | 95 | 106 | 110 | 75 | 40 | 20 | 10 | 5 | 3 | 16 | 60 | 83 | 289 | 225 | 35 | 79 | 635 |
| Cachoeira do Sul.... | 108 | 112 | 110 | 84 | 44 | 22 | 10 | 5 | 2 | 22 | 72 | 100 | 320 | 238 | 37 | 96 | 691 |
| Itaquí..... | 76 | 68 | 76 | 80 | 56 | 28 | 14 | 6 | 3 | 48 | 78 | 88 | 232 | 212 | 48 | 120 | 621 |
| São Borja..... | 88 | 82 | 84 | 84 | 54 | 22 | 16 | 8 | 16 | 52 | 92 | 102 | 272 | 222 | 56 | 160 | 710 |
| Marechino Ramos.... | 90 | 102 | 100 | 91 | 48 | 24 | 12 | 10 | 14 | 42 | 68 | 104 | 296 | 239 | 46 | 124 | 705 |
| Dom Pedrito..... | 80 | 84 | 78 | 62 | 36 | 18 | 9 | 4 | 2 | 20 | 64 | 82 | 246 | 176 | 31 | 86 | 539 |
| Bagé..... | 80 | 90 | 104 | 78 | 40 | 20 | 10 | 5 | 3 | 15 | 58 | 86 | 262 | 222 | 35 | 76 | 595 |
| Livramento..... | 74 | 80 | 78 | 68 | 40 | 20 | 10 | 5 | 1 | 40 | 64 | 78 | 232 | 186 | 35 | 105 | 558 |
| Jaguarião..... | 88 | 90 | 86 | 68 | 34 | 17 | 8 | 4 | 0 | 20 | 58 | 78 | 250 | 198 | 29 | 84 | 557 |
| Piratini..... | 88 | 94 | 98 | 80 | 40 | 20 | 10 | 5 | 0 | 26 | 60 | 84 | 266 | 213 | 35 | 66 | 600 |
| Tórres..... | 64 | 86 | 93 | 80 | 54 | 28 | 16 | 16 | 24 | 36 | 52 | 62 | 212 | 227 | 60 | 112 | 611 |
| Santa Maria..... | 110 | 110 | 112 | 100 | 62 | 32 | 20 | 24 | 24 | 56 | 102 | 116 | 336 | 274 | 76 | 182 | 868 |
| São Gabriel..... | 108 | 108 | 102 | 88 | 48 | 24 | 12 | 6 | 18 | 52 | 82 | 108 | 324 | 238 | 42 | 152 | 756 |
| Santa Cruz do Sul.... | 102 | 116 | 116 | 88 | 52 | 26 | 13 | 8 | 10 | 44 | 86 | 106 | 324 | 256 | 47 | 140 | 767 |
| São Luiz Gonzaga.... | 107 | 92 | 97 | 100 | 66 | 36 | 18 | 10 | 30 | 74 | 106 | 123 | 322 | 263 | 64 | 210 | 859 |
| Santiago..... | 94 | 92 | 96 | 82 | 48 | 24 | 14 | 8 | 20 | 50 | 94 | 104 | 290 | 226 | 46 | 164 | 726 |
| Caçapava do Sul.... | 104 | 112 | 118 | 90 | 55 | 28 | 22 | 16 | 24 | 48 | 77 | 102 | 318 | 263 | 66 | 149 | 796 |
| Santo Ângelo..... | 112 | 110 | 114 | 114 | 70 | 46 | 30 | 28 | 34 | 70 | 104 | 114 | 336 | 298 | 104 | 208 | 946 |
| Palmeira das Missões | 124 | 120 | 130 | 112 | 74 | 48 | 34 | 30 | 38 | 76 | 108 | 138 | 382 | 316 | 112 | 222 | 1032 |
| Encruzilhada do Sul | 123 | 123 | 123 | 95 | 60 | 30 | 15 | 4 | 11 | 48 | 80 | 109 | 355 | 278 | 49 | 139 | 823 |
| Soledade..... | 136 | 142 | 146 | 124 | 104 | 68 | 62 | 58 | 60 | 80 | 110 | 136 | 414 | 374 | 188 | 250 | 1226 |
| Júlio de Castilhos.. | 110 | 118 | 132 | 118 | 82 | 52 | 32 | 18 | 22 | 52 | 94 | 122 | 350 | 332 | 102 | 168 | 952 |
| Guaporé..... | 127 | 132 | 135 | 103 | 75 | 46 | 46 | 42 | 46 | 64 | 94 | 122 | 381 | 313 | 134 | 214 | 1032 |
| Passo Fundo..... | 110 | 106 | 120 | 101 | 66 | 44 | 40 | 26 | 30 | 46 | 92 | 116 | 332 | 287 | 110 | 168 | 897 |
| Crus Alta..... | 115 | 120 | 130 | 112 | 84 | 52 | 40 | 34 | 40 | 70 | 106 | 120 | 355 | 326 | 120 | 216 | 1023 |
| Vacaria..... | 116 | 124 | 130 | 104 | 66 | 42 | 50 | 50 | 42 | 48 | 70 | 110 | 350 | 300 | 142 | 160 | 952 |
| Lagoa Vermelha.... | 120 | 120 | 120 | 105 | 72 | 37 | 44 | 48 | 40 | 57 | 84 | 124 | 364 | 297 | 120 | 181 | 971 |
| Bento Gonçalves..... | 128 | 126 | 138 | 108 | 76 | 46 | 44 | 38 | 36 | 67 | 100 | 120 | 374 | 323 | 128 | 203 | 1027 |
| Caxias do Sul..... | 122 | 126 | 132 | 106 | 86 | 60 | 52 | 48 | 58 | 72 | 96 | 120 | 368 | 324 | 160 | 223 | 1078 |
| S. F. de Paula..... | 174 | 182 | 198 | 185 | 155 | 132 | 126 | 118 | 128 | 142 | 166 | 180 | 536 | 533 | 376 | 436 | 1881 |

FIG. 33. *Época normal de excesso de água no Rio Grande do Sul.*

A colheita das culturas de verão, principalmente a do arroz, também é um sério problema devido a frequente ocorrência de excesso de água no outono.

As Fig. 28 a 33 mostram a distribuição geográfica dos excessos de água anuais e estacionais no Rio Grande do Sul. A Fig. 33 mostra a época normal de ocorrência de excesso de água conforme a região do Estado. O Quadro 12 fornece os valores mensais, estacionais e anuais normais de excesso de água no Rio Grande do Sul.

Os meios mais aconselháveis para minorar os efeitos do excesso de água seriam: combate à erosão, adubação de cobertura com adubação nitrogenada, adubação orgânica, calagem, variedades resistentes à falta de aeração e às doenças, drenagem, meios adequados ao preparo do solo em condições de excesso de água, combate às ervas daninhas, combate às enchentes, pavimentação de estradas, abrigos para o gado, reservas forrageiras etc.

Como conseqüência do cálculo do excesso de água obtivemos os valores do deflúvio superficial que figuram no Quadro 13.

A quantidade de deflúvio superficial combinada com o estado de cobertura do solo em uma dada época, dirá da maior ou menor oportunidade das medidas de combate à erosão.

CONCLUSÕES

1. O método de Thornthwaite permitiu a caracterização do regime hídrico do Rio Grande do Sul. Existe boa coincidência entre os valores de evapotranspiração potencial calculados segundo Thornthwaite e segundo Penman ocorrendo a maior discrepância no período de janeiro e junho. Esta discrepância não modifica significativamente a determinação da seca no período estival;

2. A marcha da evapotranspiração potencial segue um ritmo uniforme durante o ano; é mínima no inverno e máxima no verão. A marcha da precipitação é, entretanto, muito variável de uma região para a outra, através do ano.

3. Podemos distinguir três tipos de regime hídrico no Rio Grande do Sul: a) na zona sul do Estado, há uma estação seca, uma estação de reposição de água no solo e uma estação de excesso de água; durante a estação seca é utilizada a água armazenada no solo. Conforme a zona, a estação seca dura de 1 a 4 meses, inicia-se no fim da primavera e se prolonga no verão nas zonas mais secas e abrange apenas o verão nas zonas menos secas. Ocorre uma estação de reposição de água no solo no início do outono. A estação de excesso coincide com o inverno e início da primavera. Este tipo de regime ocorre também no Município de Marcelino Ramos na zona norte do Estado; b) na zona intermediária entre o sul e o norte do Estado (São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Santiago, Santa Cruz, Caçapava) a água armazenada no solo é suficiente para satisfazer a deficiência de chuva no fim da primavera e verão. No outono e início da primavera ocorre excesso; este tipo de regime também ocorre no litoral norte; c) na zona norte do Estado, especialmente no Planalto, normalmente não há estação seca;

4. A variabilidade da chuva de um ano para outro determina grandes flutuações nos excessos e deficiências de água em uma mesma região. Em média,

os valores de deficiência variam de 1 a 15 mm, mas, por exemplo, em Pôrto Alegre a deficiência em 1918/19 foi 89 mm em janeiro e, em toda a estação seca, atingiu 219 mm; já o excesso que em Caxias do Sul normalmente é de 1.267 mm, em 1919/20 foi de apenas 1.078 mm;

5. A evapotranspiração potencial varia de 950 mm no Vale do Uruguai a 600 mm na Serra do Nordeste.

REFERÊNCIAS

- Amaral, E. & Mota, F.S. da 1956. Normais e variabilidade relativa das precipitações mensais. Bolm téc. n.º 13, Inst. Agronômico do Sul, Pelotas.
- Andrews, J. & Maze, W.H. 1933. Linnean Soc. N. S. Wales 58:105-110.
- De Martonne, E. 1926. Compt. rend. 182:1395-1398.
- Izozaki, M. 1933. Thornthwaite's new classification of climate and its application to the climate of Japan. J. Geogr., Tokyo Geogr. Soc., 45:234-245.
- Lang, R. 1920. Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde, Stuttgart.
- Machado, F.P. 1950. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Cons. Nac. Geogr., Rio de Janeiro.
- Maximov, N.A. 1929. The plant in relation to water, Unwin Bros. Ltd., London.
- Meyer, A. 1926. Chemie der Erde 2:209-347.
- Mota, F.S. da & Goedert, C.O. 1966. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul. Pesq. agropec. bras. 1: 155-163.
- Multon, K.B. 1957. Evaporation control at Broken Hill. Weather, London, 12(7):223-225.
- Papadakis, J. 1954. Ecología de los cultivos. Tomo 1 y 2. Min. Agric. Ganadería, Buenos Aires.
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. A. 193:120-145.
- Perrin, H. 1931. Compt. rend. 192:1271-1282.
- Schwerdtfeger, W. 1951. Consideraciones acerca de la compensación global de la precipitación anual, em relación con el problema de la producción artificial de eluvias. Meteoros, Buenos Aires, 1(2-3):189-197.
- Szymiekwicz, D. 1925. Acta. Soc. Botan. Pol. 2:239-253.
- Thornthwaite, C.W. 1931. The climates of North America according to a new classification. Geogr. rev. 21(4): 633-655.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38(1):55-91.
- Thornthwaite, C.W. & Holzman, B. 1942. Measurement of evaporation from land and water surfaces. Techn. Bull. n.º 817, U.S. Dep. Agriculture, Washington.
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. Publ. in Climatology, Drexel Inst. Technol., New Jersey, 8(1).
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1957. Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. in Climatology, Drexel Inst. Technol., New Jersey, 10(3).
- Trumble, H.C. 1937. Trans. Roy. Soc. S. Australia 61:41-62.
- Trumble, H.C. 1939. Trans. Roy. Soc. S. Australia 63:36-43.
- Wilsie, C.P. & Shaw, R.A. 1954. Crop adaptation and climate. Adv. Agron. 6:200-252.

THE WATER BALANCE IN RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

Abstract

A study of the water balance in Rio Grande do Sul, Brazil, was made to give a climatological basis for the solution of serious problems of the regional agriculture. Summer droughts, excess rainfall in winter, spring and fall, and tremendous year-to-year variability in total rainfall are examples of these problems.

Due to the work of Ladislau Coussirat de Araujo, started in 1910, the State of Rio Grande do Sul has a very well distributed climatological network, with more than 40 years of continuous and uniform observations. These data made the present study possible.

The great contribution of C.W. Thornthwaite's methods for the study of the water balance was used here for analysis of the Rio Grande do Sul data. The concept of potential evapotranspiration is discussed and its method of calculation as well as those for the water balance are presented.

The State of Rio Grande do Sul may be divided into three zones corresponding to three distinct types of water balance.

In the south, there is a dry season, a season of soil moisture recharge and one of water surplus. A certain amount of water, stored from previous rains, is used during the dry season, but this is not enough to meet the water needs. The dry season, of 1 to 4 months duration depending on the region considered, begins in the spring and continues through the summer in the driest localities. During the initial period of soil moisture recharge, beginning in Autumn, the rains are greater than the potential evapotranspiration, but the difference is not enough for the saturation of the soil and hence a water surplus does not occur. The water surplus season occurs during the interval from late autumn to early spring.

This type of water balance also occurs in a restricted zone around Marcelino Ramos, in the northern part of the state.

In the central area of the state (São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Santiago, Santa Cruz, Caçapava, etc.) there is a season in which moisture needs are not met by rainfall but are met by soil moisture stored during the preceding period. This season during which supplemental moisture requirements are met from residual soil moisture occurs in late spring and early summer. Following this, soil moisture recharge occurs and saturation of storage capacity is reached by the end of summer. From late summer to early spring precipitation is in excess of storage capacity of the soil. Both in this central zone as well as the entire state, the rainy season has two maxima, one in May-June and the other in August-September.

A type of moisture regime, normally without a true dry period, but in which stored water is utilized also occurs along the northern coast of Rio Grande do Sul (Torres).

In the northern area of the state, especially in the Planalto, there normally is no dry season, excess precipitation occurring all months of the year.

Examples of year-to-year variations in deficiencies and excesses of moisture are given and attention is called to their economic importance. These variations are shown in four graphs. The so-called invisible droughts in reality correspond to the types of hydrologic patterns prevailing in the state.

Means of controlling the effects of deficiencies and excess of water are discussed, with attention directed to need for expansion of solutions already in used (dams for irrigation, drainage, erosion control, forage reserves, cattle shelters, etc.).

In twelve maps, data showing geographic distribution of potential and actual evapotranspiration and of water deficits and excesses by season are presented. Seasonal variations of these data are shown in 15 graphs.