

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-

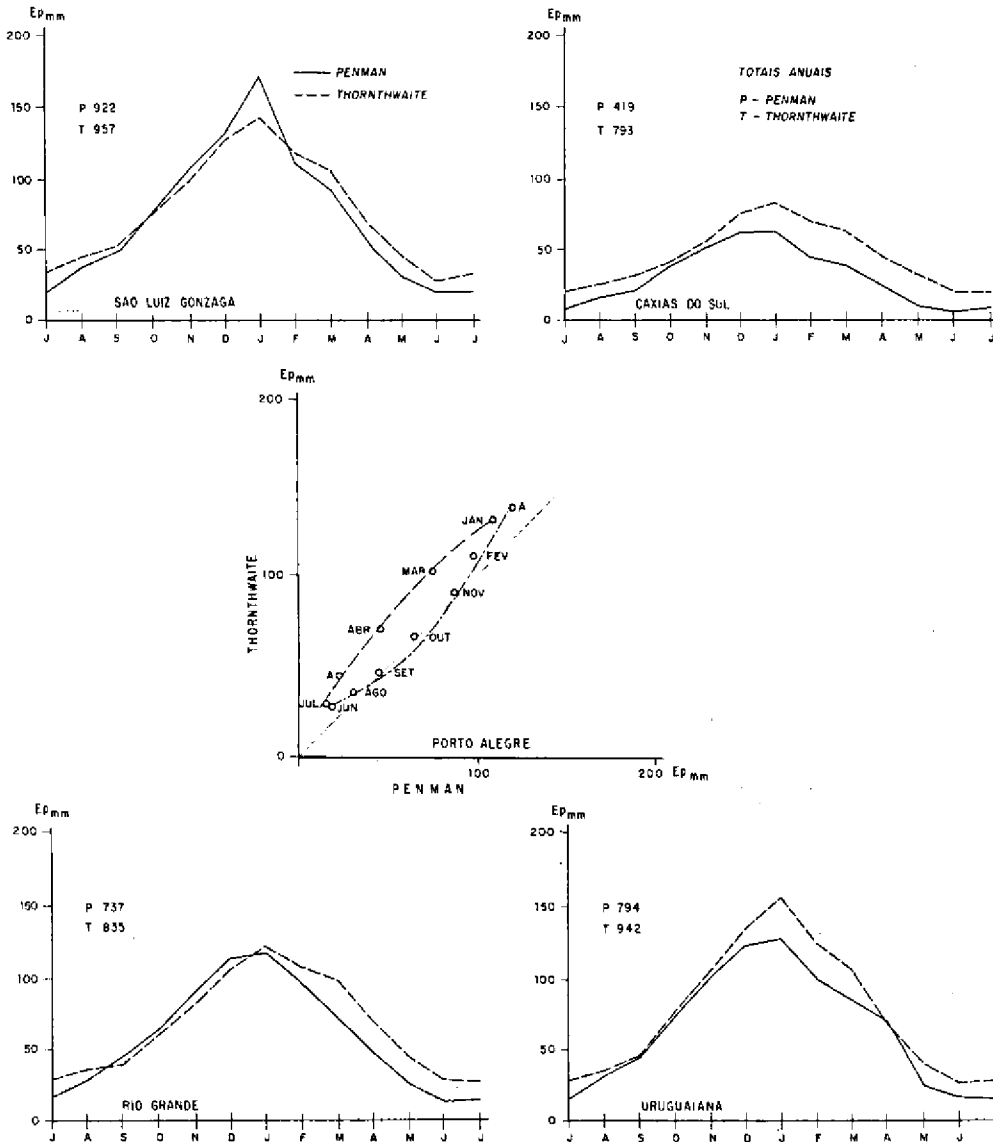


FIG. 1. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul, calculada segundo Thornthwaite e segundo Penman.

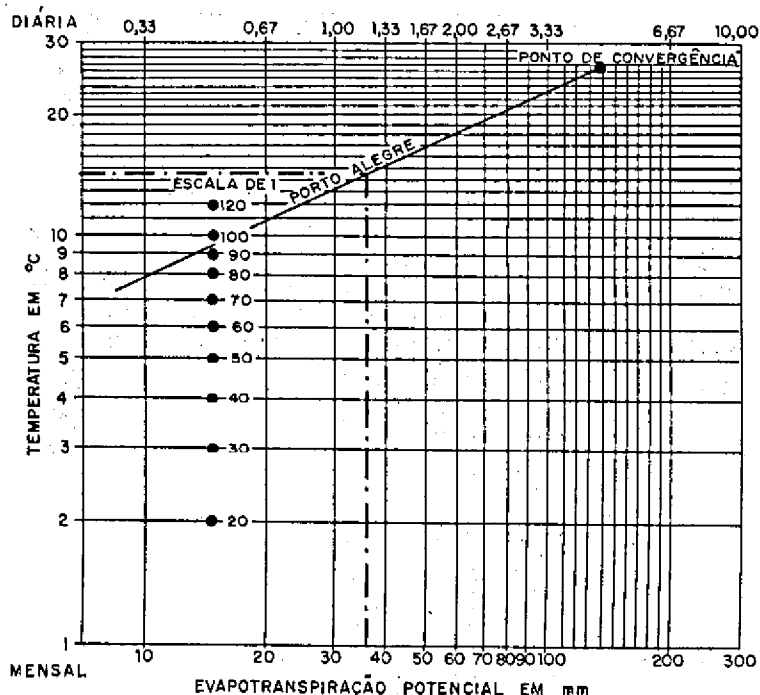


FIG. 2. Abaco para determinar a evapotranspiração potencial a partir da temperatura média.

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.

Daí 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.

Daí 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 umidade existente na região

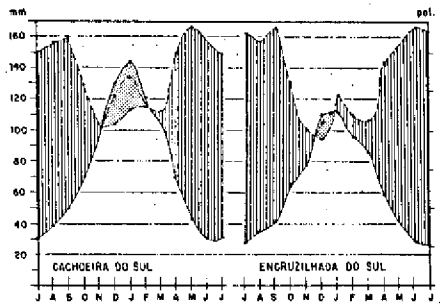
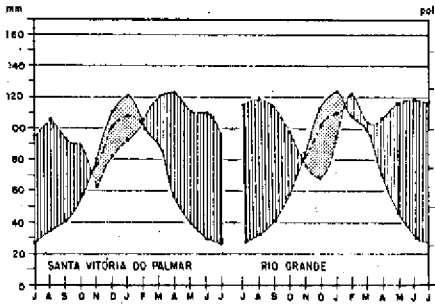
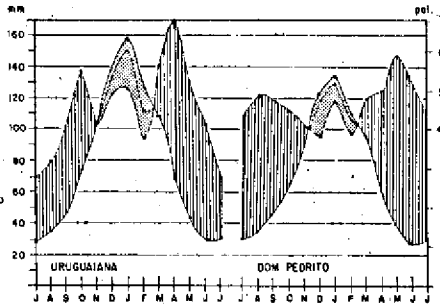
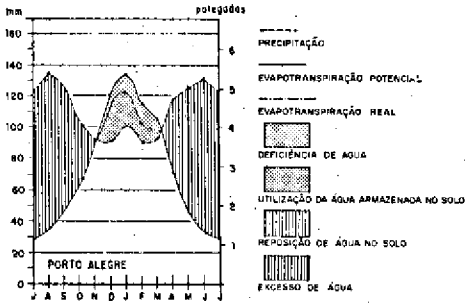


FIG. 3. Regime hídrico em Pôrto Alegre, Rio Grande do Sul.

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.

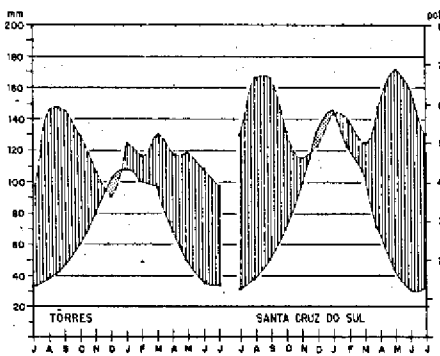
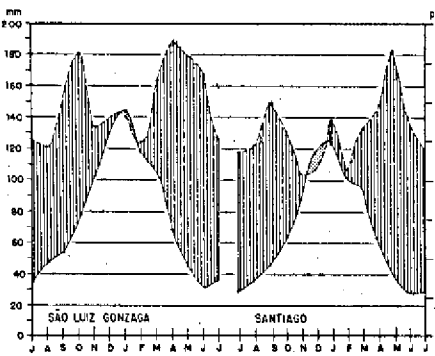
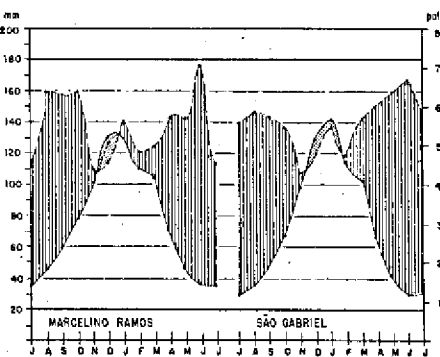
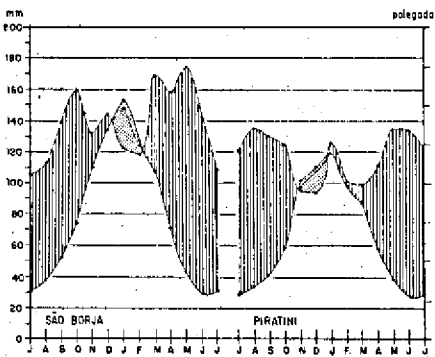


FIG. 7. Regime hídrico em São Borja e Piratini, Rio Grande do Sul.

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

FIG. 9. Regime hídrico em São Luiz 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:

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

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. Torna-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;
 Ds = deflúvio superficial;

Vejam os exemplos 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.

Vejam os exemplos de cálculo de 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.

Era (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	136	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	193	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

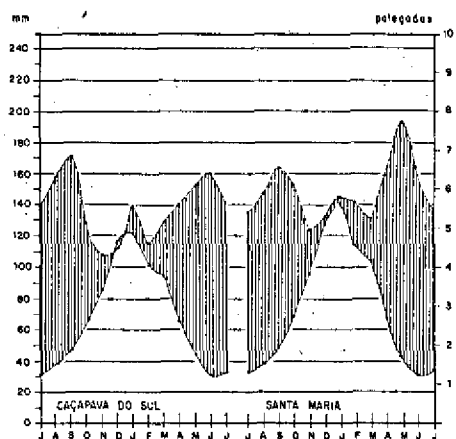


FIG. 11. Regime hídrico em Caçapava do Sul e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

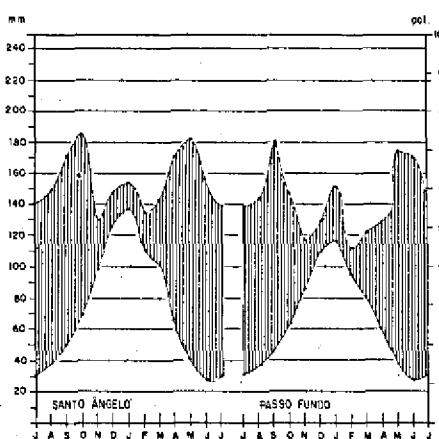


FIG. 12. Regime hídrico em Santo Ângelo e Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

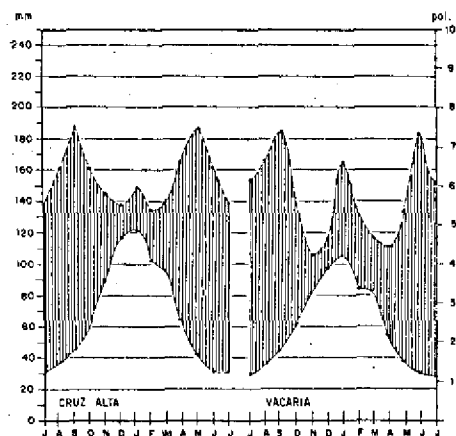


FIG. 13. Regime hídrico em Cruz Alta e Vacaria, Rio Grande do Sul.

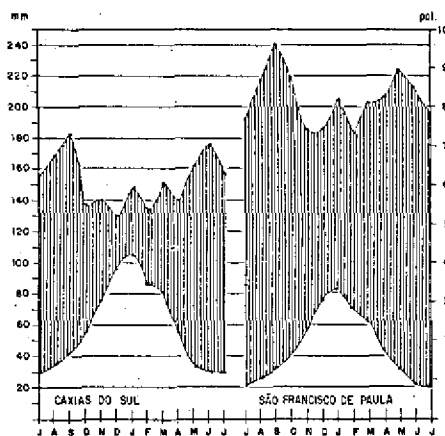


FIG. 14. Regime hídrico em Caxias do Sul e São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul.

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 V. 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
Livramento.....	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	57	89	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	54	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 no solo, as Fig. 19, 20 e 21 representam o consumo de água de acordo com as disponibilidades normais de umidade no 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,

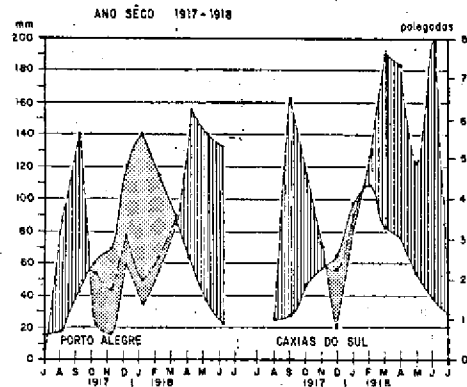


FIG. 15. Regime hídrico em Porto Alegre e Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, ano 1917 (Ano seco).

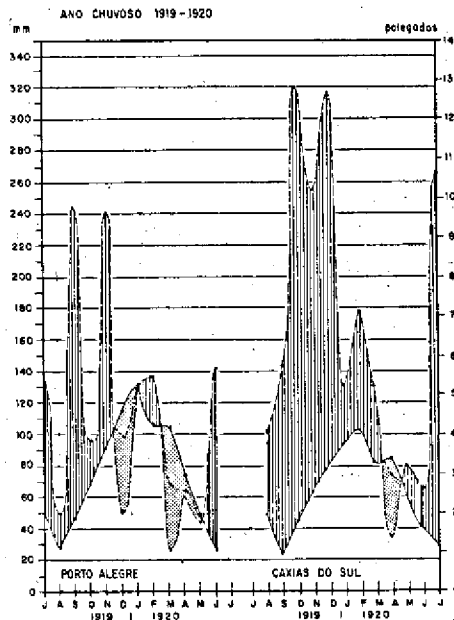


FIG. 16. Regime hídrico em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ano 1919/20 (Ano chuvoso).

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
Itaquí.....	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	96	64	41	29	94	196	341	201	832
Cacapava 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	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.....	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

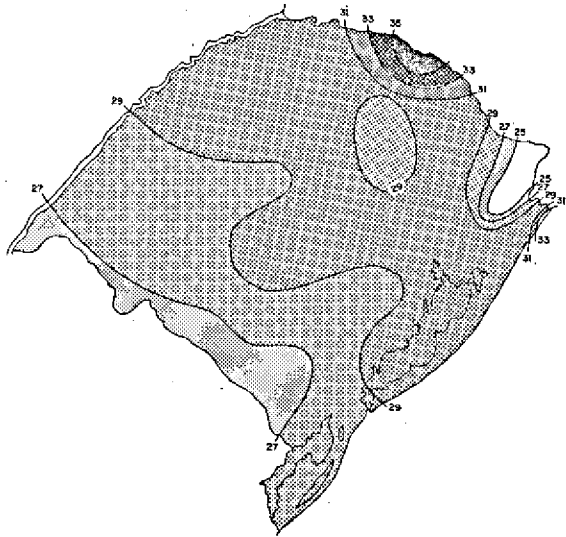
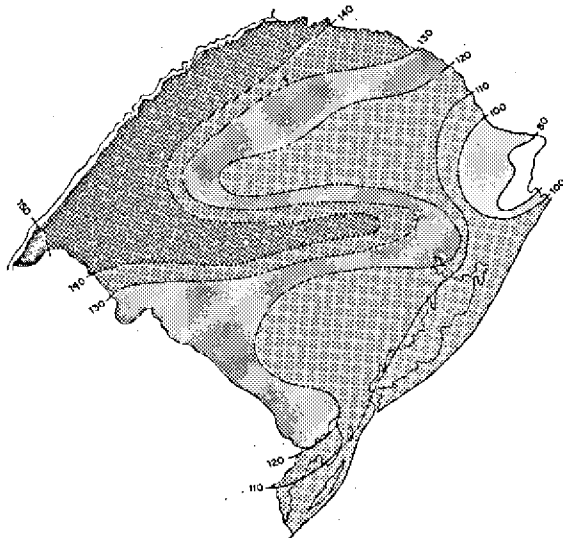
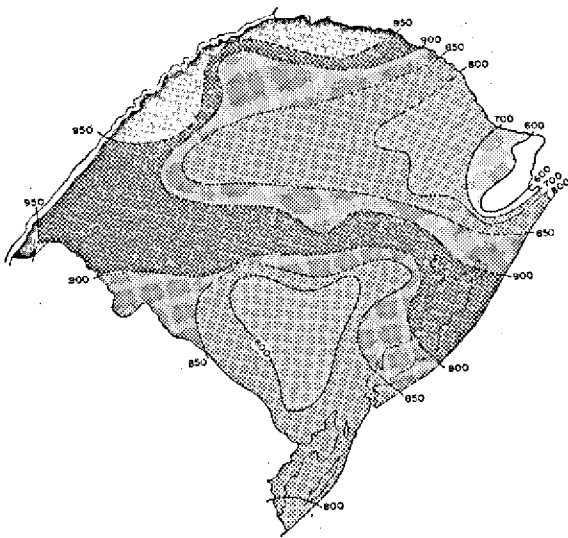


FIG. 18. Evapotranspiração potencial anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

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.	Set.	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

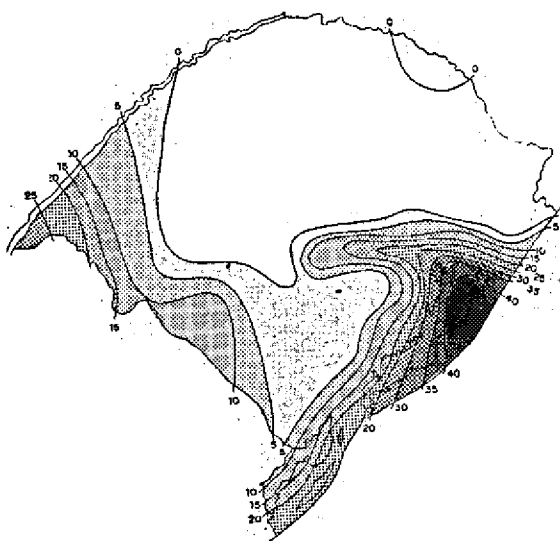


FIG. 22. Deficiência de água anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

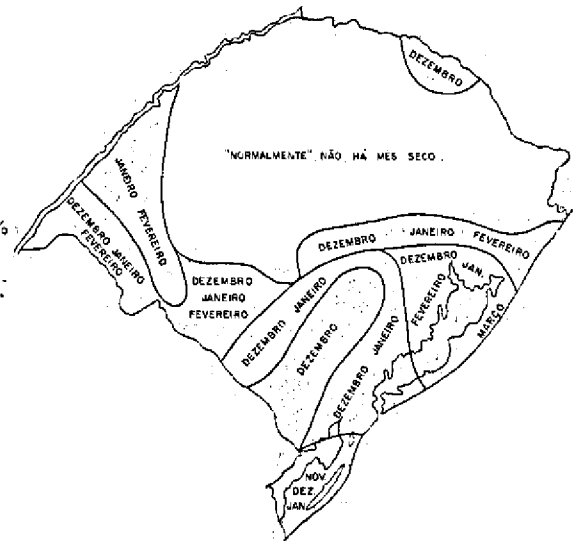


FIG. 23. Época normal da seca no Rio Grande do Sul.

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-

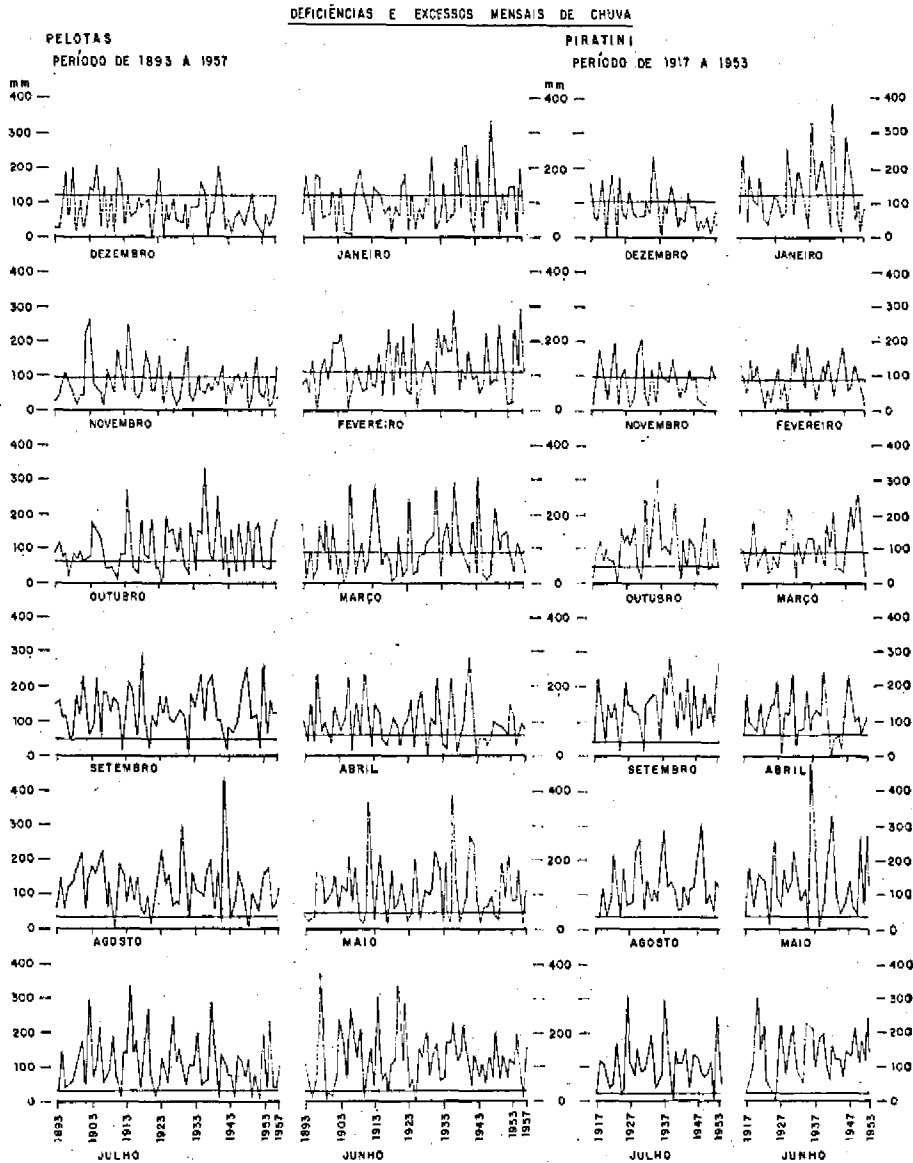


FIG. 24. Deficiências e excessos mensais de chuvas em Pelotas, Rio Grande do Sul, anos de 1893 a 1957.

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-

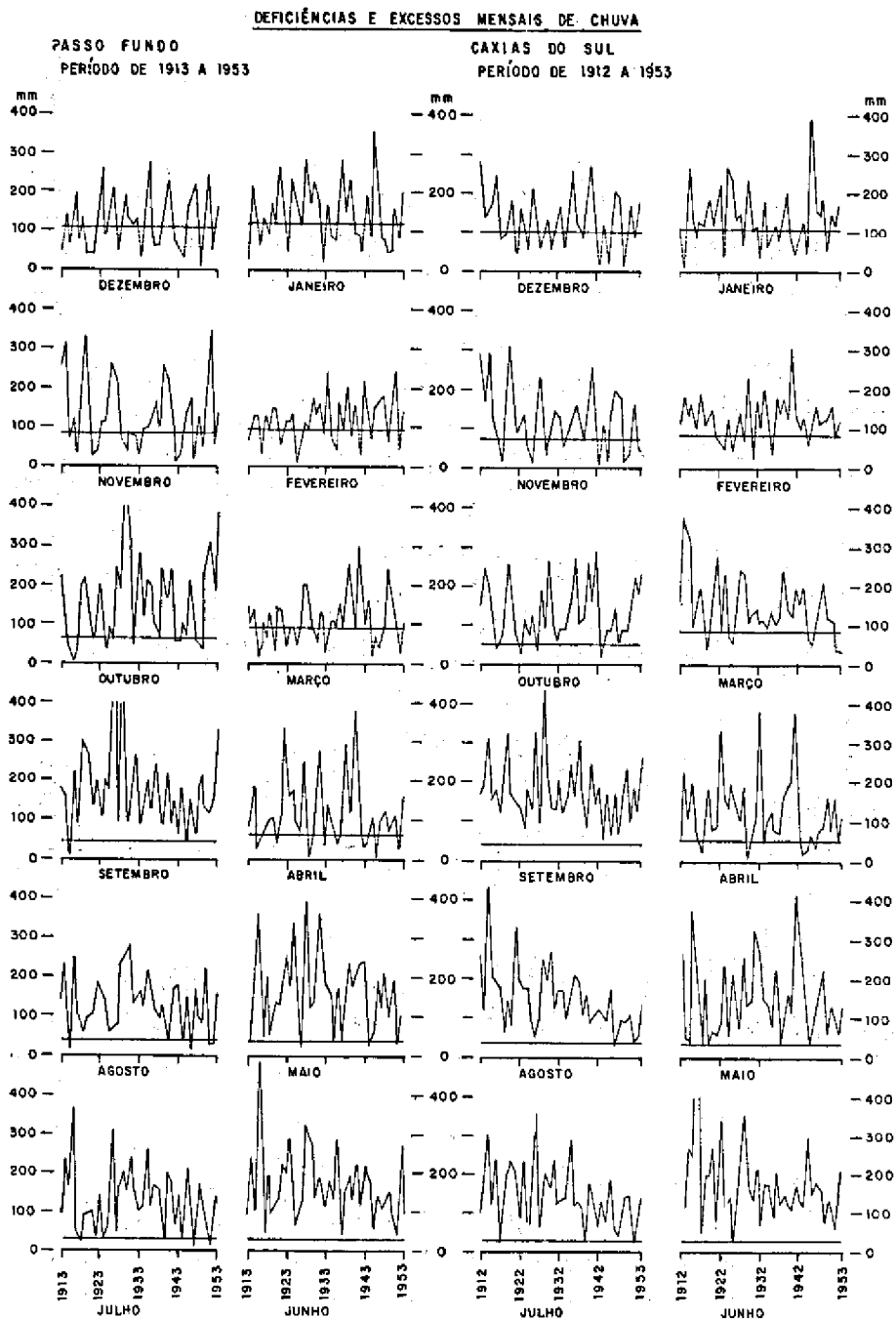


FIG. 26: Deficiências e excessos mensais de chuvas em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, anos de 1913 a 1953.

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-

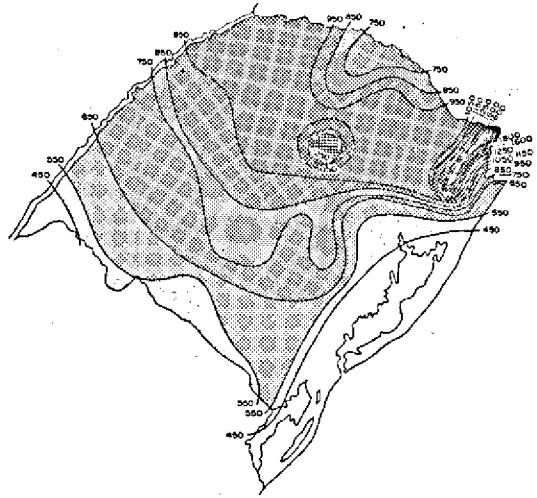


FIG. 28. Excesso de água anual (em mm) no Rio Grande do Sul.

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.

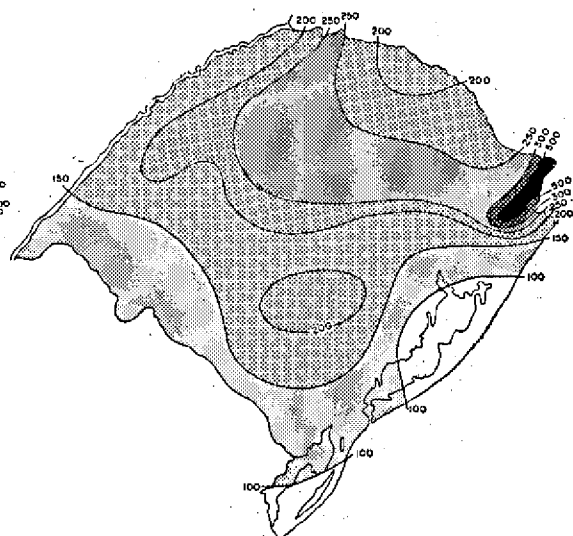
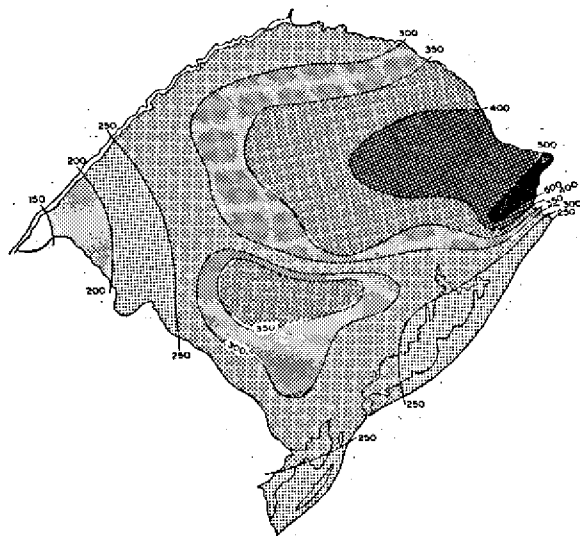
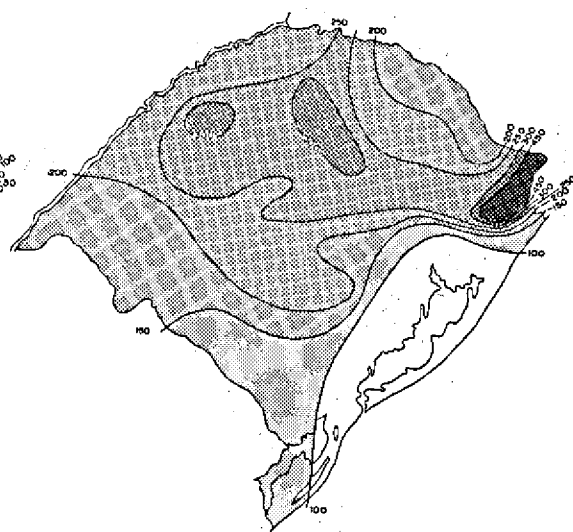
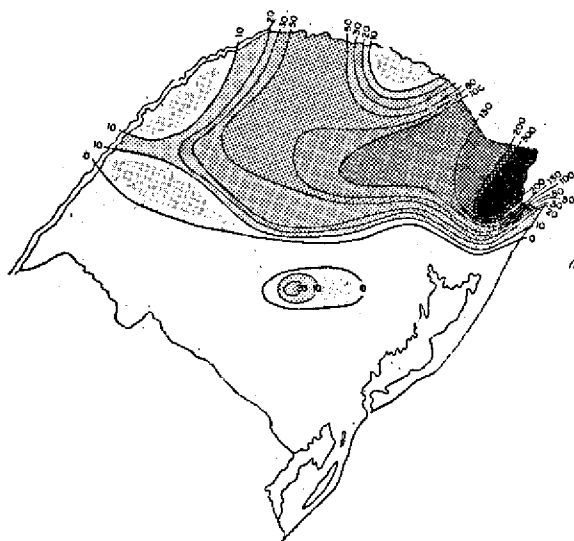


FIG. 29. Excesso de água no verão (em mm) no Rio Grande do Sul.

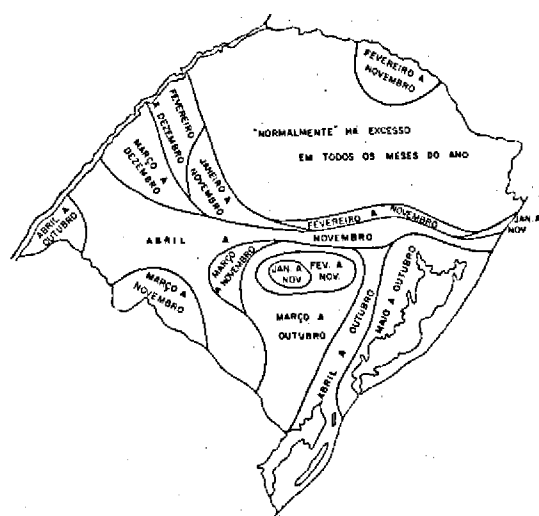
FIG. 31. Excesso de água no inverno (em mm) no Rio Grande do Sul.

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	330	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.