

# BALANÇO HÍDRICO USANDO ESTIMATIVAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO REGIONAL ACUMULADA MENSAL ATRAVÉS DE UM MODELO OPERACIONAL. PARTE II.

Benedita Célia MARCELINO<sup>1</sup>, Mônica V. LIMA<sup>2</sup>

## RESUMO

Para a realização desta pesquisa utilizou-se os mesmos dados e a mesma metodologia usada na Parte I do trabalho. A diferença é que neste caso os balanços hídricos foram calculados para anos individuais e que foram anos anômalos, isto é, anos com precipitações abundantes e em anos muito secos. A análise dos balanços hídricos desses anos mostrou que, apenas a ocorrência de anomalias climáticas extremas, tais como forte estiagem de longa duração e precipitações excessivas, podem causar um impacto dramático na agricultura e na vida dos habitantes das regiões afligidas.

Palavras Chave: Evapotranspiração regional, anos anômalos e estiagem severa.

## INTRODUÇÃO

Entende-se por balanço hídrico a contabilidade de entrada e saída da água no solo. A interpretação do balanço hídrico trás informações de ganho (precipitação e/ou irrigação), perda (evapotranspiração) e armazenamento de água no solo. Os componentes do balanço hídrico são: precipitação, **P**, e/ou irrigação, **I<sub>r</sub>**, que representam a entrada de água na superfície do solo; escoamento superficial (“run-off”), **R**, isto é, a água que não entra no solo; a capacidade de armazenamento de água, **δM**, que uma vez satisfeita, permite a percolação, **D<sub>p</sub>**, da água excedente para o lençol freático; e finalmente a água que deixa a superfície do solo por evaporação e a superfície das plantas por transpiração, denominada evapotranspiração, **E<sub>t</sub>**. O balanço, no caso ideal, é nulo, isto é, a somatória de todos os parâmetros integrantes é zero (lei da conservação de massa). A equação de balanço é a seguinte:

$$\mathbf{P + I_r + E_t + \delta M + R + D_p = 0}$$

<sup>1</sup>Professora Doutora do Departamento de Meteorologia, Fmet/UFPel

<sup>2</sup>Estudante do Curso de Meteorologia, Fmet/UFPel

onde:  $P$ = precipitação,  $I_r$ = irrigação,  $E_t$ = evapotranspiração,  $\delta M$ = variação de armazenamento de água no solo,  $R$ = escoamento superficial (“run-off”) e  $D_p$ = percolação ou drenagem profunda

O solo é abastecido, normalmente, pelas precipitações atmosféricas ou, artificialmente, pela irrigação. A camada superior do solo que foi quase ou totalmente saturada durante a precipitação ou irrigação não retém toda esta água, surgindo um movimento descendente em resposta aos gradientes gravitacional ou de pressão. Esse movimento da água, após cessada a infiltração no solo, é denominado drenagem ou redistribuição interna. Dependendo das condições existentes, a velocidade com que a redistribuição ocorre pode ser apreciável por muitos dias ou tornar-se rapidamente desprezível (REICHARDT, 1985). A intensidade da redistribuição e sua duração determinam a capacidade de armazenamento do solo. Tal propriedade é importante no estudo de diversas questões da engenharia de Recursos Hídricos, tornando-se fundamental em projetos de Irrigação.

A presente pesquisa fez cálculos de balanços hídricos, para regiões distintas do Estado de São Paulo, em anos com precipitações bem acima da média climatológica e em anos de estiagem severa, com o objetivo de analisar as disponibilidades de água no solo nesses casos, cujo conhecimento é de grande importância para projetos de irrigação.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Para a realização desta pesquisa utilizou-se os mesmos dados e a mesma metodologia usada na Parte I do trabalho. A diferença é que neste caso os balanços hídricos foram calculados para anos individuais e que foram anos anômalos, isto é, anos com precipitações abundantes e anos em que ocorreram secas severas.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Adotou-se para o cálculo do balanço hídrico o mesmo método usado na Parte I do trabalho. Realizou-se, os balanços hídricos, também, considerando o solo como capaz de armazenar 100 mm de umidade.

Na presente pesquisa, os valores de precipitação e evapotranspiração regional são valores acumulados mensais para anos individuais. Para se ter idéia das informações sobre variação

de água armazenada, deficiência de umidade e excedentes de água sujeitos à percolação, o balanço é realizado para todos os locais onde as estações meteorológicas foram selecionadas (Parte I, Tabela 1), com os valores mensais para anos individuais.

Os balanços de anos individuais foram realizados em anos com precipitações abundantes e em anos muito secos. Os anos escolhidos de 1982 e 1983, deve-se ao excesso de precipitação que ocorreu, principalmente, no período de inverno, que normalmente é seco. Os anos de 1984 e 1985 escolhidos, foram extremamente secos.

Os balanços hídricos, dos anos individuais, são realizados para os vinte locais onde estão localizados os postos meteorológicos. Os balanços hídricos dos anos chuvosos (1982 e 1983) e dos anos de forte estiagem (1984 e 1985) foram resumidos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O objetivo destes balanços individuais foi o de verificar a disponibilidade de água no solo, nas distintas regiões do Estado de São Paulo, quando o regime de precipitação se apresenta muito acima ou muito abaixo da média anual de longo período, (MARCELINO, 1997).

A análise da Tabela 1 mostra que, de um modo geral, os maiores excedentes de água ocorrem do lado leste e nordeste do Estado de São Paulo, enquanto que os menores excedentes de água ocorrem no extremo oeste. Tal fato já foi observado na análise dos resultados anuais dos balanços hídricos, das médias mensais, para o período de 1980 a 1993 (Parte I). Pode-se observar que em Campos do Jordão, na Serra da Mantiqueira, e em Biritiba Mirim, na região da Serra do Mar, os excedentes anuais de água são muito elevados, atingindo cerca de 1764 mm e 1317 mm anuais, respectivamente, para o ano mais chuvoso (1983). Estes valores são bem superiores aos valores médios anuais de excedentes de água (Parte I, Tabela 3). Já do lado oeste do Estado, embora os excedentes de água sejam bem mais elevados do que os valores médios, são bem menores do que aqueles do lado leste e nordeste. Na região mais central do Planalto Paulista os valores são intermediários entre os das regiões leste e extremo oeste.

No ano de 1983 foi grande a ocorrência de enchentes, em cidades das regiões Sul e Sudeste do Brasil, no período de inverno. Nesse ano o aumento de precipitações foi devido, principalmente, à sistemas sinóticos estacionários na região, sendo tal fato associado ao evento Oscilação do Sul/El Niño (KOUSKY & CAVALCANTI, 1984). Segundo SUGAHARA(1991), as precipitações anuais anômalas que ocorreram no Estado de São

Paulo, foram todas observadas durante os anos em que ocorreu o evento Oscilação do Sul/El Niño de forte intensidade, como em 1965, 1972, 1976, 1982 e 1983.

Tabela 1 – Resumos anuais dos balanços hídricos, segundo Thornthwaite-Mather (1955), para os anos chuvosos (1982 e 1983), para as vinte localidades do Estado de São Paulo.

Estações Meteorológicas	Ano: 1982				Ano: 1983			
	Precip. (mm)	Evapotransp. (mm)	Exced. (mm)	Defic. (mm)	Prec. (mm)	Evapotransp. (mm)	Exced. (mm)	Defic. (mm)
Biritiba Mirim	2209	962	1247	0	2322	1009	1317	4
Campos do Jordão	2086	1022	1099	35	2765	1013	1764	12
Paraibuna	1314	1112	202	85	1657	1162	509	14
Pindamonhangaba	1523	965	591	33	2010	1066	952	8
Caconde	1885	1032	874	21	2451	1007	1459	15
Mococa	1539	1011	552	24	2072	978	1102	8
Barra Bonita	1740	1086	700	46	1735	1058	695	18
Botucatu	1862	1097	797	32	2116	1053	1076	13
Mojiguaçu	1454	1036	491	73	2269	1079	1201	11
Piraju	1993	1132	916	55	2086	1164	964	36
Salto Grande	1875	1082	813	20	1491	1053	473	34
Capivara	1662	1132	610	80	1996	1120	896	20
Ibitinga	1927	1108	838	19	2085	1104	1001	20
Pradópolis	1789	1110	738	59	2166	1130	1047	11
Promissão	2005	1228	817	40	1787	1252	569	34
Pontal	1826	1178	672	24	—	—	—	—
Água Vermelha	1659	1136	577	73	1606	1166	457	17
Urubupunga	1303	1119	237	53	1345	1122	275	26
Ilha Solteira	1483	1177	330	24	1397	1158	272	33
Votuporanga	1548	1104	476	32	1883	1206	743	66

As diferenças em relação as deficiências de umidade no solo nas diferentes localidades, apresentadas na Tabela 1, não são muito significativas nestes dois anos chuvosos (1982 e 1983), e os valores de deficiência de umidade, também, são baixos, variando de 0 mm (em Biritiba Mirim) à 85 mm, 80 mm e 73 mm, em Paraibuna (região leste), Capivara (região do planalto) e Água Vermelha (extremo noroeste, respectivamente, os valores mais altos).

Os anos de 1984 e 1985 foram de precipitações abaixo da média anual. Houve seca no Estado de São Paulo, principalmente, no ano de 1985. A análise da Tabela 2, mostra que nestes dois anos os excedentes de água são bem inferiores aos anos de 1982 e 1983, exceto nas regiões das serras do Mar e Mantiqueira, em Biritiba Mirim com cerca de 890 mm e Campos do Jordão com 828 mm, respectivamente. No Vale do Paraíba e região do Planalto Paulista os excedentes de água variaram de 0 mm (em Pindamonhangaba e Ibitinga) à 394 mm (em Pradópolis), e os menores valores são da região extremo oeste, como em Ilha Solteira com 0mm nos dois anos (1984 e 1985).

Tabela 2 – Resumos anuais dos balanços hídricos, segundo Thornthwaite-Mather (1955), para os anos secos (1984 e 1985), para as vinte localidades do Estado de São Paulo.

<b>Estações Meteorológicas</b>	<b>Ano: 1984</b>				<b>Ano: 1985</b>			
	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Evapotransp. (mm)</b>	<b>Exced. (mm)</b>	<b>Defic. (mm)</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Evapotransp. (mm)</b>	<b>Exced. (mm)</b>	<b>Defic. (mm)</b>
Biritiba Mirim	1581	1148	445	12	1911	1038	890	17
Campos do Jordão	1326	1168	261	103	1858	1126	828	96
Paraibuna	1001	1219	33	204	1261	1182	275	183
Pindamonhangaba	895	1066	0	153	1301	1076	252	45
Caconde	1327	1040	356	69	1197	993	328	101
Mococa	1113	1014	218	119	1233	942	358	67
Barra Bonita	1128	1066	237	175	1569	1339	277	47
Botucatu	1409	1331	167	89	1258	1037	358	75
Mojiguaçu	1060	1097	96	133	1121	1055	223	131
Piraju	1120	1162	99	147	1222	1175	349	206
Salto Grande	849	999	56	208	1111	1026	260	93
Capivara	1136	996	187	47	864	1107	34	185
Ibitinga	846	1110	0	204	1359	1104	299	104
Pradópolis	1024	1105	115	34	1304	1021	394	111
Promissão	1113	1247	0	129	959	1169	105	224
Pontal	1242	1120	275	153	943	1179	34	179
Água Vermelha	1087	1137	105	155	883	1046	69	150
Urubupunga	—	—	—	—	—	—	—	—
Ilha Solteira	807	1116	0	270	766	1023	0	202
Votuporanga	1157	1018	152	13	1197	976	273	33

A deficiência de água no solo, que causa maior preocupação, especialmente para a agricultura, também, foi bem mais alta do que nos anos de 1982 e 1983. Atingindo os maiores valores, de um modo geral, na região do planalto mais para oeste e, principalmente no extremo oeste, onde o clima já é quente e seco. As Tabelas 1 e 2 mostram que o período de estiagem, também, foi de vários meses e no extremo oeste durou quase todo o ano. A seca ocorrida na região de meados 1985 até o início de 1986, resultou em perdas significativas para o setor agrícola e colocou em posição crítica o setor de geração de hidroeletricidade, devido ao baixo nível dos reservatórios da região (Climanálise, 1987). Verificou-se que, nestes dois anos de 1984 e 1985, com estiagem muito severa no Sul e Sudeste do País, ocorreu o fenômeno Anti-El Niño (fase oposta à observada durante os episódios Oscilação do Sul/El Niño). A estiagem que ocorreu nas região Sudeste no período 1984 e 1985, foi grave, porque persistiu por vários meses incluindo a estação de primavera, e causou um impacto negativo na economia e agricultura regionais.

## **CONCLUSÕES**

A análise dos balanços hídricos dos anos individuais, para as diferentes regiões do Estado, mostrou que, apenas a ocorrência de anomalias climáticas extremas, tais como forte estiagem de longa duração e precipitações excessivas, podem causar um impacto dramático na agricultura e na vida dos habitantes das regiões afligidas. Embora não seja possível modificar os eventos climáticos extremos, pode-se contribuir para minimizar seus efeitos sobre a agricultura e população através do conhecimento das disponibilidades de água quando ocorrem esses eventos.

## **BIBLIOGRAFIA**

- KOUSKY, V.E. & CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação do Sul/El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, v.36, n.11, 1984.
- MARCELINO, B.C. Estimativas de Evapotranspiração Regional pelo Modelo de Morton e Aplicação no Cálculo de Balanço Hídrico, para o Estado de São Paulo. Botucatu-SP,

1997. 129p., Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista.
- MORTON, F.I. Operational estimatives of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, v.66, p.1-76, 1983a.
- REICHARDT, K. *Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*, 4ª ed. rev. e ampliada, Campinas, Fundação Cargill, 1985, 466p.
- SUGAHARA, S. Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais da precipitação no Estado de São Paulo. São Paulo, 1991. 145p., Tese, (Doutorado em Meteorologia), Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. *The Water Balance*. Publications in *Climatology*, Centerton N.J., v.8, n.1, 1955, 104p.