

BALANÇO HÍDRICO AGRÍCOLA PROVÁVEL PARA AS CULTURAS MILHO E SOJA NO ESTADO DO PARANÁ

GURSKI, B.C.¹; SOUZA J.L.M.²; XAVIER, A.C.³; GRABARSKI, F.A.P.¹; UMLAUF, C.R.⁴

¹Pós-Graduando em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br;

³Professor UFES; ⁴Graduando em Agronomia

RESUMO

Teve-se como objetivo no presente trabalho calcular o balanço hídrico agrícola (*BHA*) provável no Estado do Paraná, para as culturas milho e soja. A série de dados climáticos teve 34 anos (1980 a 2013) e 189 pontos de coleta. Os dados climáticos foram espacializados com o melhor interpolador, obtido por validação cruzada, em *grid* regular de 0,25° x 0,25°, gerando 279 pontos para análise, cobrindo todo o Estado do Paraná. A evapotranspiração de referência (*ET_o*) foi calculada diariamente com o método de Penman-Monteith. O *BHA* foi calculado diariamente com o programa AquaCrop, que forneceu como dados de saída: evapotranspiração real (*ET_r*), deficiência hídrica (*Def*) e armazenamento de água no solo (*S*). Os dados diários de saída foram somados e agrupados em dez dias (decêndios) totalizando 37 decêndios por ano. Foram realizadas distribuições de frequência e aplicados testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade aos valores decendiais para realizar o ajustamento a funções densidade de probabilidade (*fdp*'s) para cada localidade. Determinou-se os valores decendias prováveis de *S* a 50%, 75% e 90% de probabilidade (*S*_{50%}, *S*_{75%}, *S*_{90%}), *ET_r* e *Def* a 50%, 25% e 10% (*ET_r*_{50%}, *ET_r*_{25%}, *ET_r*_{10%}, *Def*_{50%}, *Def*_{25%}, *Def*_{10%}), respectivamente. De modo geral, as *fdp*'s Normal e Gama são as que melhor se ajustam às componentes de saída do *BHA*. Por outro lado, a distribuição Uniforme teve baixa frequência de ocorrência, podendo ser descartada para ajustes futuros. As componentes do *BHA* médias nem sempre são iguais aos valores prováveis a 50%, visto que as componentes hídricas decendiais estudadas ajustaram-se melhor à *fdp* diferente da Normal.

Palavras-chave: função densidade de probabilidade; evapotranspiração; armazenamento de água no solo; deficiência hídrica; Aquacrop

INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico está mudando sensivelmente nos últimos anos. O Brasil tem a agricultura como uma de suas maiores atividades econômicas, mas vem sofrendo com secas extremas, relacionadas principalmente com baixas precipitações, resultando no esgotamento da umidade do solo. A redução de 20% na precipitação durante um período prolongado de três anos (2013 a 2015) foi suficiente para causar sérias condições de escassez de água no País, o que ocasionou sérios problemas sociais e econômicos (Famiglietti e Rodell, 2013; Getirana, 2016).

O balanço hídrico agrícola (*BHA*) é essencial para obtenção das condições reais da água no sistema solo-planta-atmosfera para diferentes locais e períodos. Suas componentes podem ser medidas diretamente em campo ou estimadas, a partir de dados climatológicos, utilizando modelos específicos (Khazaei e Hosseini, 2015). No entanto, Yan et al. (2012) enfatizaram a dificuldade da mensuração em campo, a qual é extremamente onerosa do ponto de vista econômico e prático, além da grande variabilidade espacial intrínseca de suas componentes. Por isso, o modelo AquaCrop, disponibilizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO, vem se destacando na literatura, pois não necessita de medidas diretas. O AquaCrop se destaca também pela facilidade de uso, necessidade de poucos dados de entrada, possibilitando acurácia na estimativa de componentes hídricas e produtividades de várias culturas agrícolas, inclusive no Brasil (Raes et al., 2016).

No entanto, diversos autores consideram que o simples cálculo do *BHA* não é suficiente, sendo necessário estudos mais aprofundados para grandes regiões, considerando a variabilidade espacial e a probabilidade de ocorrência das componentes hídricas, uma vez que o uso de valores médios pode resultar em erros (Silva et al., 2015). Por sua vez, o estudo probabilístico da distribuição das componentes hídricas demonstra que suas ocorrências consistem em fenômenos aleatórios influenciados pela localização geográfica. Por isso, muitos trabalhos se limitam a estudar pequenas regiões, como cidades, o que não contribui para macroplanejamentos, como vem ocorrendo inclusive no Estado do Paraná. Outra dificuldade encontrada está na obtenção de séries históricas consistentes, que sejam longas, sem falhas ou oscilação no número de anos, e que apresentem o mesmo padrão instrumental de mensuração (Souza et al., 2013; Jerszurki et al., 2015).

Dessa forma, estudos em grandes regiões, que minimizem os problemas mencionados devem ser priorizados e valorizados. Com isso, é possível aumentar as aplicações do *BHA*: melhorar a acurácia das estimativas; planejamento das operações da atividade agropecuária; manejo de irrigação; previsão de safras; definição de zoneamentos agrícolas; entre outros (Stagge et al., 2015).

Diante das considerações dispostas, teve-se por objetivo no presente trabalho calcular o balanço hídrico agrícola provável para as culturas milho e soja, no Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo e dados meteorológicos

O Estado do Paraná está localizado na região Sul do Brasil e sua área é de 199.307,922 km² (Maack, 2012). No Estado predominam dois tipos climáticos distintos, de acordo com a classificação de Köppen: Cfa e Cfb. O clima Cfa é subtropical, tem boa distribuição de chuvas, temperatura média anual de 19 °C e pluviosidade de 1500 mm anuais. O clima Cfb é subtropical, tem boa distribuição de chuvas durante o ano e verões amenos. A média anual das temperaturas é de 17 °C e a pluviosidade é superior a 1200 mm (Alvares et al., 2013).

O conjunto de dados meteorológicos incluiu dados observados recolhidos diariamente a partir de pluviômetros (em média 151), bem como estações meteorológicas convencionais e automáticas (em média 38), no período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de Dezembro 2013 (34 anos). As fontes dos dados foram o "Instituto Nacional de Meteorologia" (INMET) e "Agência Nacional de Águas" (ANA). Os dados da ANA foram limitados à precipitação pluviométrica (P). Os dados do INMET foram constituídos de: temperaturas máxima (T_{max} ; °C), mínima (T_{min} ; °C) e média (T_{med} ; °C) do ar, umidade relativa do ar (UR ; %), velocidade do vento a 2 m de altura (U_2 , m s⁻¹), precipitação pluviométrica (P ; mm), brilho solar diário (n ; horas) de estações meteorológicas convencionais, e radiação solar diária (Rs , MJ m⁻²) a partir de estações automáticas.

Vários interpoladores foram testados para espacializar os dados meteorológicos: ponderação da distância inversa; *krigagem* ordinária; *spline*; interpolação natural; média aritmética. O melhor interpolador foi obtido por meio de validação cruzada, e os dados meteorológicos foram espacializados em *grid* regular de 0,25° x 0,25°, cobrindo todo o Estado do Paraná (Xavier et al., 2016). Como resultado obteve-se os dados meteorológicos (P , T_{max} , T_{min} , T_{med} , UR , U_2 , n , Rs) diários (34 anos) para o *grid* regular contendo 279 pontos (Figura 1).

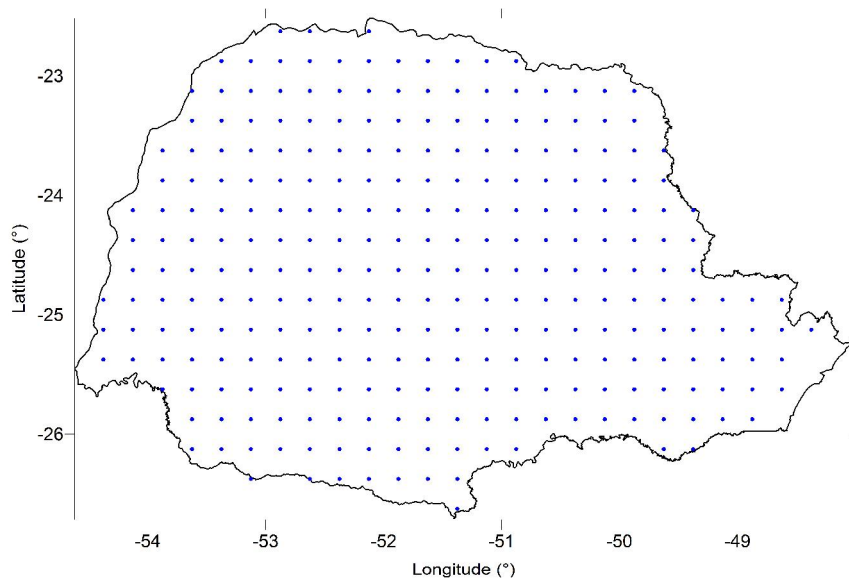


Figura 1 – *Grid* regular de 0,25° x 0,25° do Estado do Paraná, em que foram analisados os valores diários das componentes de saída do balanço hídrico agrícola.

Cálculo do balanço hídrico agrícola (*BHA*)

O cálculo do *BHA* foi realizado para as culturas milho e soja com o modelo AquaCrop, versão 5.0, disponibilizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (Raes et al., 2016). Não foram considerados estresses decorrentes de salinidade e fertilidade. O *BHA* foi realizado com periodicidade diária, resultando em séries de 34 anos de dados de saída. Os dados de entrada foram divididos em categorias: climáticos (dispostos no item anterior), de solo e da cultura. A *ET_o* (dado climático) foi calculada com o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Os parâmetros de solos consideraram a classificação de solos e texturas predominantes na localidade do Estado do Paraná, onde os dados climáticos foram obtidos (Figuras 1 e 2).

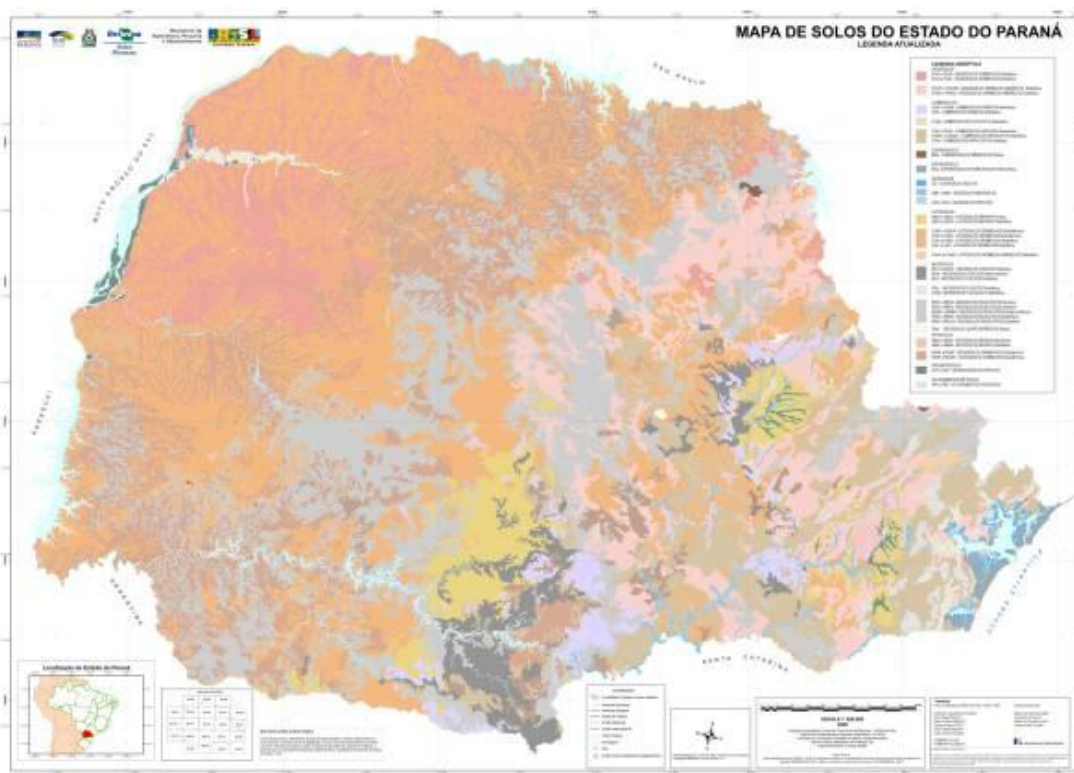


Figura 2 – Mapa de solos do Estado do Paraná (Bhering et al, 2007).

Os parâmetros das culturas milho e soja (Tabela 1) consideraram quatro períodos de desenvolvimento, sendo que o período II (crescimento vegetativo a florescimento) foi estendido ao longo de todo o ano. Portanto, nos períodos I, III e IV as culturas tiveram apenas 1 dia. Assim, o período II, que é o de maior demanda hídrica, perdurou ao longo de todo o ano, nos 34 anos de *BHA* simulados.

As componentes de saída diárias do *BHA* (série de 34 anos) utilizadas foram armazenamento de água no solo na zona da raiz (*S*), evapotranspiração real (*ET_r*) e deficiência hídrica (*Def*), pois são as componentes que mais contribuem para o *BHA*.

Tabela 1. Parâmetros das culturas agrícolas utilizados no Aquacrop para o cálculo do balanço hídrico agrícola para soja e milho

----- Parâmetro -----	Milho	Soja
Ciclo (dias)	365	365
Estádio de desenvolvimento I – semeadura a emergência (dias)	1	1
Estádio de desenvolvimento II – crescimento vegetativo a florescimento (dias)	363	363
Estádio de desenvolvimento III – senescência (dias)	364	364
Estádio de desenvolvimento IV – maturação (dias)	365	365
Dossel (plantas ha ⁻¹)	65.000	300.000
Temperatura base inferior (°C)	15,5	13
Temperatura base superior (°C)	30	40
Fração de água disponível no solo (p) na camada superior do solo (adimensional)	0,25	0,20
Fração de água disponível no solo (p) na camada inferior do solo (adimensional)	0,55	0,50
Porosidade livre de aeração mínima (β_{min} ; m ³ m ⁻³)	0,10	0,10
Coefficiente de cultivo máximo (K_{CTx} ; adimensional)	1,20	1,10
Profundidade inicial do sistema radicular (z_o ; m)	0,10	0,10
Profundidade efetiva máxima do sistema radicular (z_m ; m)	1,35	1,00
Fator de forma (n ; adimensional)	15	15
Cobertura do dossel máxima (CDm ; %)	85	85

Balanço hídrico agrícola provável para o Estado do Paraná

Considerando os procedimentos metodológicos de Souza et al. (2013), foram realizados os seguintes passos:

- Agrupamento dos valores diários das componentes do *BHA* (ETr , Def e S) em períodos de dez dias (decêndios);
- Estabelecimento das distribuições de frequência com os dados das séries observadas;
- Cálculo dos parâmetros estatísticos das funções densidade de probabilidade (fdp) Exponencial, Gama, Normal, Triangular e Uniforme, com as séries de valores decendiais;
- Verificação da aderência dos valores decendiais às cinco fdp 's com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade;
- Escolha da fdp que melhor se ajustou a cada decêndio observado;
- Determinação dos valores prováveis para diferentes níveis de probabilidade de ocorrência.

Os valores diários das componentes de saída do *BHA* (S , ETr , Def) foram organizados em 37 decêndios por ano. O trigésimo sétimo decêndio de cada ano foi composto pelos cinco ou seis (ano bissexto) últimos dias do ano.

A aderência dos valores decendiais às fdp 's foi obtida por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. O teste avalia por meio de um valor D_{max} , o ajuste entre a distribuição de frequência acumulada teórica $F'(x)$ e outra, $F(x)$, proveniente dos dados amostrados.

Depois de testada a aderência da fdp que melhor se ajustou às séries de dados de S , ETr e Def , para cada decêndio, determinou-se os valores decendiais prováveis de S a 50%,

75% e 90% de probabilidade, bem como, ETr e Def , a 10%, 25% e 50% de probabilidade, para cada localidade, respectivamente:

$$S_{50\%} = P(S_{50\%} \in S \mid S_i \geq S_{50\%}) = 50\%$$

$$S_{75\%} = P(S_{75\%} \in S \mid S_i \geq S_{75\%}) = 75\%$$

$$S_{90\%} = P(S_{90\%} \in S \mid S_i \geq S_{90\%}) = 90\%$$

$$ETr_{10\%} = P(ETr_{10\%} \in ETr \mid ETr_i \geq ETr_{10\%}) = 10\%$$

$$ETr_{25\%} = P(ETr_{25\%} \in ETr \mid ETr_i \geq ETr_{25\%}) = 25\%$$

$$ETr_{50\%} = P(ETr_{50\%} \in ETr \mid ETr_i \geq ETr_{50\%}) = 50\%$$

$$Def_{10\%} = P(Def_{10\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{10\%}) = 10\%$$

$$Def_{25\%} = P(Def_{25\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{25\%}) = 25\%$$

$$Def_{50\%} = P(Def_{50\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{50\%}) = 50\%$$

Logo, para cada decêndio, o $S_{75\%}$ refere-se ao valor de S que tenha 75% de probabilidade de ser igualado ou superado, o que corresponde à probabilidade do armazenamento S_i ocorrer três vezes a cada quatro anos ou com tempo de retorno $T = 1,33$ anos, em média. Para cada decêndio, a $Def_{25\%}$ refere-se ao valor de deficiência Def_i que tenha 25% de probabilidade de ser igualado ou superado, o que corresponde à probabilidade da deficiência Def_i ocorrer uma vez a cada quatro anos ou com tempo de retorno $T = 4$ anos, em média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Funções densidade de probabilidade

Várias distribuições de probabilidade têm sido utilizadas para ajustar as componentes de saída do balanço hídrico agrícola (BHA), apresentando variabilidade quanto à adequação às séries históricas. No entanto, não houve diferença entre os ajustes obtidos para as culturas milho e soja. Logo, a natureza do fenômeno não se modificou, por isso, não será tratado a diferença na frequência de ocorrência entre as culturas, sendo abordados apenas aspectos em relação às componentes hídricas (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência das funções densidade de probabilidade (N – Normal; G – Gama; T – Triangular; E – Exponencial; U – Uniforme) de melhor ajuste para evapotranspiração real (ETr), déficit hídrico (Def) e armazenamento de água no solo (S), para milho e soja no Estado do Paraná.

Decêndio	----- ETr -----					----- Def -----					----- S -----				
	N	G	T	E	U	N	G	T	E	U	N	G	T	E	U
----- Milho -----															
Frequência	6039	1325	1290	906	356	2338	4159	472	2879	327	4567	3466	1344	0	909
Percentual (%)	60,9	13,4	13,0	9,1	3,6	23,0	40,9	4,6	28,3	3,2	44,4	33,7	13,0	0,0	8,9
----- Soja -----															
Frequência	5499	1758	1194	666	355	2453	4323	484	2870	193	4614	3529	1288	0	855
Percentual (%)	58,0	18,6	12,6	7,0	3,8	23,7	41,9	4,7	27,8	1,9	44,9	34,3	12,5	0,0	8,3

A *fdp* Uniforme não obteve bom ajuste às componentes de saída do *BHA* (*S*, *ETr* e *Def*). Como apresentou baixa frequência de melhor ajuste, acredita-se que a *fdp* Uniforme pode ser descartada para ajustes futuros envolvendo o estudo das relações.

Pruitt et al. (1972) consideram que as *fdp*'s mais utilizadas para o ajuste da *ETr* são a Normal, Gama, Beta e Gumbel, confirmando com os ajustes obtidos, principalmente para as distribuições Normal e Gama. No entanto, Blain e Brunini (2007) testando as melhores *fdp*'s para se ajustar à *ETr* no Estado de São Paulo, obtiveram melhores resultados para a *fdp* Beta, seguida da Normal, Log-normal e Gama. No entanto, o problema da *fdp* Beta está no fato de que ela é restrita ao intervalo de valores compreendidos entre o menor e maior valor da série utilizada para o cálculo de seus parâmetros.

Silva et al. (2008) comentam que a distribuição de frequência dos dados de deficiência hídrica do solo se assemelha à distribuição dos dados de precipitação, porém, ocorrendo concentração de frequência para os valores próximos de zero. Essa constatação torna a distribuição dos dados de deficiência hídrica do solo tendendo mais à forma das *fdp*'s Lognormal, seguidas da Exponencial e Gama. O ajuste melhora para as *fdp*'s Exponencial e Gama quando são realizadas transformações nos dados pela raiz cúbica e raiz quadrada, respectivamente. De forma geral, os resultados encontrados por Silva et al. (2008) para o Sul do Rio Grande do Sul não concordam com os obtidos no presente trabalho. Contudo, os autores não utilizaram a metodologia da distribuição mista para a função Gama, o que pode ter diminuído consideravelmente seu ajuste aos valores de *Def*. Contrariamente, talvez por esse motivo, Nied et al. (2005) concluíram que a melhor *fdp* para a *Def* em Santa Maria-RS foi a Gama, bem como Stagge et al. (2015), que destacaram os bons resultados da *fdp* Gama após testarem as *fdp*'s Gama, Gumbel, Logística, Log-Logística, Lognormal, Normal e Weibull para toda a Europa.

Não teve nenhum decêndio de *S* que se ajustou à distribuição Exponencial, devido à natureza do fenômeno. Para Liu e Shao (2014) a *fdp* que melhor se ajusta aos dados de *S* é a Normal. Tal afirmativa foi confirmada por Siqueira et al. (2008), em Campinas-SP, e com os ajustes obtidos no presente trabalho.

Componentes hídricas prováveis do balanço hídrico agrícola

As componentes de saída do *BHA* (*ETr*, *Def* e *S*) no Estado do Paraná tiveram grande variação ao longo do ano. A Evapotranspiração Real (*ETr*) média nem sempre foi igual ao valor da *ETr*_{50%}, decendial, principalmente quando a componente se ajustou melhor à função densidade de probabilidade (*fdp*) diferente da Normal (Tabela 3). Esse aspecto é importante, visto que são casos em que a média não reflete o valor provável a 50% de probabilidade. Nessa situação, a obtenção de melhor ajustamento com outras *fdp*'s, diferente da Normal, possibilita a obtenção de valores prováveis mais confiáveis.

Verificou-se, em média, que a cultura do milho teve consumo hídrico provável maior que a cultura da soja, confirmando com os resultados obtidos por Doorenbos e Pruitt (1977), que estabeleceram metodologia para determinar o consumo hídrico de diversas culturas agrícolas em várias regiões do mundo.

Tabela 3. Valores prováveis médios decendiais de evapotranspiração real (ETr ; mm decêndio⁻¹), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no Estado do Paraná.

Cultura Decêndio	----- Milho -----				----- Soja -----			
	ETr média	$ETr_{50\%}$	$ETr_{25\%}$	$ETr_{10\%}$	ETr média	$ETr_{50\%}$	$ETr_{25\%}$	$ETr_{10\%}$
1	34,24	34,32	38,67	42,41	13,43	12,60	16,65	21,00
2	33,49	33,55	38,24	42,27	12,68	11,96	15,62	19,51
3	32,70	33,17	38,29	42,63	16,73	16,45	19,16	21,82
4	33,03	33,30	37,87	41,69	34,69	34,81	38,79	42,23
5	32,51	32,51	37,10	41,19	32,74	32,79	37,21	41,08
6	31,82	31,87	36,77	41,03	31,74	31,88	36,69	40,90
7	28,33	28,55	33,30	37,29	28,42	28,59	33,33	37,30
8	25,97	26,12	30,90	34,98	26,07	26,27	31,06	35,14
9	23,92	24,09	28,64	32,35	23,85	23,98	28,58	32,36
10	21,93	22,25	26,47	29,96	21,82	22,05	26,34	29,86
11	19,66	19,96	23,85	27,02	19,53	19,66	23,62	26,91
12	18,47	18,80	22,32	25,42	18,81	19,03	22,50	25,51
13	15,67	15,94	19,11	21,77	15,76	15,92	19,14	21,86
14	14,51	14,58	17,86	20,61	14,61	14,72	17,97	20,73
15	14,40	14,53	17,14	19,37	14,39	14,48	17,13	19,40
16	13,36	13,40	15,70	17,69	13,29	13,35	15,63	17,60
17	13,09	13,13	15,47	17,40	13,08	13,13	15,49	17,46
18	13,14	13,16	15,70	17,83	13,25	13,30	15,82	17,93
19	13,64	13,65	16,38	18,73	13,60	13,63	16,37	18,71
20	13,55	13,46	16,28	18,83	13,60	13,53	16,37	18,93
21	14,22	14,15	17,37	20,29	14,22	14,12	17,39	20,41
22	14,08	14,02	17,24	20,06	14,05	14,06	17,28	20,11
23	13,38	13,04	16,99	20,65	13,43	13,08	17,06	20,77
24	11,59	11,04	15,30	19,46	13,84	13,18	18,41	23,46
25	12,79	12,59	17,00	20,89	15,30	14,92	20,58	25,78
26	14,41	14,44	18,24	21,39	17,36	17,50	22,67	26,76
27	17,53	17,59	20,44	22,94	21,96	22,05	26,25	29,94
28	18,06	18,10	22,13	25,65	20,46	20,57	24,08	27,11
29	17,46	15,78	22,37	29,79	21,98	22,02	25,07	27,74
30	17,69	16,02	22,63	30,02	23,46	23,46	26,07	28,39
31	18,00	16,13	21,94	28,87	23,50	23,33	26,28	29,02
32	17,13	15,76	20,62	26,19	18,67	17,68	22,76	28,17
33	17,22	16,34	20,58	25,11	17,70	16,35	21,36	27,11
34	16,29	15,33	19,63	24,35	16,42	14,74	20,06	26,42
35	14,93	14,27	18,03	22,04	14,60	13,56	17,75	22,42
36	15,17	14,32	18,41	22,77	14,55	13,56	17,83	22,53
37	14,65	14,65	16,39	17,93	7,16	6,68	8,82	11,20
Média	19,24	19,03	23,01	26,73	18,40	18,19	21,98	25,50
Soma	712,05	703,95	851,37	988,86	680,72	672,97	813,16	943,58

Farias et al. (2001), considerando todo o Estado do Paraná, verificaram que o período de plantio entre 21 a 31 de dezembro proporcionam menor Def para a cultura da soja. Os autores realizaram cenários de simulações considerando Def a 80% de probabilidade de ocorrência, cultivar precoce (120 dias) e solo com média retenção de água (50 mm). Assim, comparando os valores da soma entre Def média e $Def_{50\%}$ verificou-se diferença de mais de 65

mm, para as culturas milho e soja, concordando com os resultados obtidos no presente trabalho (Tabela 4). Os resultados concordam também com Nied et al. (2005) e Stagge et al. (2015), que consideraram que a *fdp* Normal, e consequentemente a sua média, não reflete bem a tendência e estudos de valores prováveis da *Def*. Por outro lado, não se verificou para o *S* divergência entre *Def* média e *Def*_{50%} (Tabela 5).

Tabela 4 – Média da deficiência hídrica (*Def*) decendial provável (mm decêndio⁻¹), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no Estado do Paraná.

Cultura Decêndio	Milho				Soja			
	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}
1	12,66	10,69	17,62	25,41	27,86	26,68	30,89	35,45
2	12,30	8,30	16,75	28,02	21,37	20,51	24,24	28,24
3	11,64	8,14	15,89	26,07	9,70	7,70	12,90	19,33
4	11,38	7,89	15,54	25,64	9,89	6,77	13,52	22,40
5	9,32	6,14	12,68	21,52	9,26	6,22	12,72	21,37
6	9,25	6,71	12,67	20,38	9,29	6,73	12,81	20,53
7	13,56	11,07	18,65	27,74	13,64	11,13	18,86	28,05
8	12,37	10,61	17,42	24,97	12,68	11,05	17,79	25,19
9	12,60	9,58	17,40	27,14	12,71	9,61	17,54	27,57
10	12,47	10,51	16,79	24,21	12,76	10,92	17,12	24,41
11	11,34	8,66	15,46	24,02	11,46	8,70	15,61	24,45
12	9,09	6,61	12,32	19,64	8,70	6,44	11,80	18,69
13	9,12	7,54	12,55	18,38	8,95	7,40	12,30	18,04
14	7,15	4,96	9,66	15,77	7,17	4,88	9,67	15,94
15	5,83	3,91	7,78	12,81	5,98	4,08	8,03	13,07
16	5,51	3,90	7,36	11,64	5,60	3,98	7,50	11,84
17	5,65	4,04	7,66	12,24	5,80	4,16	7,88	12,52
18	5,10	3,12	6,66	11,43	5,23	3,31	6,95	11,68
19	6,13	4,45	8,23	13,07	6,21	4,43	8,40	13,39
20	6,88	5,53	9,45	14,00	6,81	5,37	9,41	14,05
21	8,08	6,96	11,18	15,65	8,24	7,17	11,54	15,90
22	10,26	8,76	14,07	20,04	10,06	8,59	13,87	19,65
23	14,01	12,75	19,45	26,58	13,99	12,61	19,51	26,88
24	12,49	11,44	17,68	23,98	16,11	15,24	22,89	30,12
25	11,66	9,85	16,40	23,70	17,04	14,95	23,84	33,35
26	11,21	8,11	15,41	24,92	15,98	11,84	22,00	35,17
27	9,20	8,31	12,22	16,49	11,90	9,23	16,24	24,93
28	12,56	11,93	17,55	22,50	9,27	6,89	12,88	20,12
29	17,86	17,54	23,43	28,78	6,85	5,20	9,48	14,62
30	21,66	21,42	28,15	33,70	6,99	5,84	9,75	13,99
31	26,08	25,84	31,21	36,05	11,82	11,40	15,33	18,91
32	29,62	29,09	33,66	38,13	22,42	22,13	27,13	31,70
33	32,42	31,33	35,39	39,56	27,89	27,48	31,58	35,55
34	33,83	32,71	36,83	41,32	29,80	28,73	33,08	37,51
35	32,37	31,13	35,11	39,53	29,28	28,11	32,74	37,28
36	31,01	29,55	34,78	40,59	30,38	29,25	33,93	38,76
37	8,34	7,58	10,47	13,67	15,47	14,78	17,45	20,12
Média	13,84	12,07	17,61	24,03	13,37	11,61	17,00	23,26
Soma	512,01	446,63	651,51	889,27	494,53	429,51	629,18	860,73

Tabela 5. Armazenamento provável médio de água no solo (S), para período decendial (mm decêndio⁻¹), obtido para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no Estado do Paraná.

Cultura Decêndio	----- Milho -----				----- Soja -----			
	S médio	$S_{50\%}$	$S_{75\%}$	$S_{90\%}$	S médio	$S_{50\%}$	$S_{75\%}$	$S_{90\%}$
1	325,49	325,61	318,44	312,22	245,02	244,67	238,69	233,49
2	327,49	327,59	319,72	313,01	247,19	246,99	241,18	236,07
3	327,88	327,94	321,16	315,16	247,87	247,75	243,28	239,57
4	328,96	328,85	322,85	317,61	243,87	243,56	239,46	235,90
5	330,34	329,71	324,06	319,05	243,56	243,33	238,92	235,00
6	330,26	330,45	325,38	320,83	243,31	243,30	239,04	235,25
7	328,08	327,81	323,32	319,37	241,07	240,99	236,95	233,43
8	327,97	328,14	323,37	319,31	240,65	240,56	236,64	233,30
9	328,50	328,40	323,37	319,39	241,43	241,07	236,77	233,35
10	327,68	327,46	322,90	319,06	240,58	240,41	236,41	233,04
11	328,16	328,38	323,74	319,73	241,06	241,10	236,89	233,31
12	330,12	330,36	325,85	321,82	243,33	243,32	239,27	235,67
13	329,17	329,17	324,39	320,26	242,39	242,42	238,22	234,54
14	330,29	330,60	325,56	321,29	243,29	243,25	238,53	234,49
15	331,33	331,79	327,11	323,04	244,03	244,04	239,70	235,91
16	331,18	331,21	326,46	322,42	243,96	243,94	239,61	235,95
17	331,21	331,45	327,35	323,81	244,10	243,73	240,05	236,87
18	332,48	332,50	327,74	323,67	244,92	244,71	240,58	237,05
19	331,05	331,19	327,14	323,61	243,78	243,72	239,86	236,49
20	330,25	330,21	326,45	323,19	243,29	243,17	239,67	236,65
21	329,79	329,79	325,58	322,11	242,61	242,52	238,66	235,47
22	328,09	328,12	324,20	320,90	241,21	241,07	237,39	234,27
23	326,66	326,54	322,42	318,84	239,80	239,63	235,65	232,17
24	326,46	326,42	321,32	317,16	239,17	239,07	234,28	230,43
25	326,85	327,00	321,77	317,73	238,81	238,73	233,82	230,11
26	328,36	328,62	323,03	318,55	240,00	239,78	234,29	230,05
27	330,80	330,80	326,02	321,89	241,78	241,72	237,25	233,39
28	332,59	332,97	328,00	323,65	243,70	243,72	239,02	234,88
29	332,68	332,91	328,32	324,31	244,85	244,85	240,92	237,45
30	333,59	333,47	328,80	324,68	245,78	245,73	242,30	239,32
31	332,42	332,75	328,35	324,47	245,25	245,24	242,05	239,21
32	331,70	331,65	326,80	322,54	245,72	245,65	241,48	237,78
33	329,52	329,51	323,77	318,91	244,00	243,91	238,58	233,83
34	328,08	327,95	321,79	316,49	242,46	242,11	235,75	230,15
35	329,08	328,02	321,69	316,35	243,44	243,22	236,02	229,92
36	328,90	328,49	321,62	315,75	243,49	242,79	235,47	229,18
37	172,60	171,47	161,54	152,89	127,97	126,24	118,88	112,47
Média	325,30	325,28	320,04	315,54	239,97	239,78	235,18	231,23
Soma	12036	12035	11841	11675	8879	8872	8702	8555

No entanto, é importante observar que valores médios de S podem variar bastante, dependendo do clima, solo e cultura cultivada no local. Liu e Shao (2014) encontraram valores médios de S de 166,7 mm para soja na China, em solo com 1,0 m de profundidade, textura franca (classificação textural da USDA, com 45-51% de areia, 30-45% de silte e 11-

14% de argila), massa específica de 1500 kg m^{-3} e condutividade hidráulica da camada superior do solo (0,0-0,2 m) de $0,94 \text{ mm min}^{-1}$. Os autores também encontraram valores médios de S de 255,40 mm para milho irrigado na China, em diferentes tipos de solo (Inceptosols e Aridsols), com 1,0 m de profundidade.

CONCLUSÕES

As funções densidade de probabilidade (fdp 's) Normal e Gama se ajustam melhor às componentes de saída (ETr , Def e S) do balanço hídrico agrícola. A fdp Uniforme não é adequada para realizar ajustes às componentes hídricas (ETr , Def e S) de saída do balanço hídrico agrícola;

Os valores decendiais médios das componentes de saída do balanço hídrico agrícola (ETr , Def e S) não são iguais aos valores prováveis a 50%, devido às séries de valores decendiais das componentes se ajustarem melhor à fdp 's (Exponencial, Gama, Triangular e Uniforme) diferentes da Normal;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1.ed. Rome: FAO, 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.J.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.2, p. 711-728, 2013.
- BHERING, S.B.; SANTOS, H.G.; MANZATTO, C.V.; BOGNOLA, I.; CARVALHO, A.P.; POTTER, O.; AGLIO, M.L.D.; SILVA, J.S.; CHAFFIN, C.E.; CARVALHO JUNIOR, W. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2007.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Caracterização do regime de evapotranspiração real, em escala decendial, no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 75-82, 2007.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. FAO – Irrigation and Drainage Paper, 24, Roma, 1977. 144p.
- FAMIGLIETTI, J.S.; RODELL, M. Water in the balance. **Science**, v. 340, n. 6138, p. 1300-1301, 2013.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.
- GETIRANA A. Extreme water deficit in Brazil detected from space. **Journal of Hydrometeorology**, v. 17, n. 2, p. 591-599, 2016.

- JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; EVANGELISTA, A. W. P. Probabilidade e variação temporal da evapotranspiração de referência na região de Telêmaco Borba – PR. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p. 118-129, 2015.
- KHAZAEI, B.; HOSSEINI, S.M. Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 538-548, 2015.
- LI, D.; SHAO, M. Temporal stability analysis for estimating spatial mean soil water storage and deep percolation in irrigated maize crops. **Agricultural Water Management**, v. 144, p. 140-149, 2014.
- LIU, B.; SHAO, M. Estimation of soil water storage using temporal stability in four land uses over 10 years on the Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 517, p. 974-984, 2014.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4 ed. Curitiba: IBPT; 2012.
- NIED, A.H.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J.C.; ALBERTO, C.M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.
- PRUITT, W.O.; OETTINGEN, S.V. e MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 98, p. 177-184, 1972.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. **AquaCrop version 5.0 Reference manual**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- SILVA, A.O.; CORREIA, J.S.; BASSOI, L.H.; TEIXEIRA, A.H.C. Evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação em Petrolina, PE. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 1, p. 30-38, 2015.
- SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B.; TRENTIN, G.; STRECK, N.A.; MARTINS, F.B. Funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1893-1899, 2008.
- SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; CAMARGO, M.B.P. Variabilidade espacial do armazenamento e perda média diária de água pelo solo no sistema de semeadura direta em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 213-223, 2008.
- SOUZA, J.L.M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E.C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 693-702, 2013.
- STAGGE, J.H.; TALLAKSEN, L.M.; GUDMUNDSSON, L.; LOONC, A.F.V.; STAHL, K. Candidate distributions for climatological drought indices. **International Journal of Climatology**, v. 35, p. 4027-4040, 2015.
- XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 1, p. 2644-2659, 2016.
- YAN, Z.; GOTTSCHALK, L.; LEBLOIS, E.; XIA, J. Joint mapping of water balance components in a large Chinese basin. **Journal of Hydrology**, v. 450, p. 59-69, 2012.