

INTERPOLADOR PARA DADOS DE INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO PROVENIENTES DE PLUVIOGRAMAS

E.M. SILVA¹, L.N. RODRIGUES²

INTRODUÇÃO

A precipitação natural desempenha um papel de fundamental importância dentro do ciclo hidrológico. Uma das principais características da precipitação é a sua intensidade. Informações a respeito da variação e da magnitude da intensidade de precipitação são fundamentais para estudos referentes à infiltração da água no solo, ao escoamento superficial, à erosão e ao transporte de poluentes.

Em algumas situações é interessante representar a variação da intensidade de precipitação por meio de perfis teóricos. Pruski et. al. (2001) utilizaram um perfil exponencial para representar a intensidade de precipitação instantânea e, assim, estudar a variação do escoamento superficial em uma área agrícola. Este tipo de representação é adequado quando se deseja fazer estudos de cenários visando fornecer subsídios técnicos para o tomador de decisão. Entretanto, sempre que possível, deve-se utilizar os dados observados em pluviógrafos, sob a forma de pluviogramas, para representar tal parâmetro, uma vez que tais dados são mais representativos da variação da intensidade de precipitação de um evento chuvoso.

Quando se utilizam modelos para representação de processos hidrológicos, surgem alguns pontos de interesse que são de grande importância para a correta estimativa daqueles processos. Por exemplo, se o processo de interesse for o escoamento superficial, sob uma área vegetada, então toda chuva precipitada ficará retida na cobertura vegetal, antes de atingir a superfície do solo, enquanto a capacidade de retenção de água pela cultura não for superada. Esse momento é normalmente denominado de tempo de fim da interceptação. A partir deste tempo, a chuva começa a atingir a superfície do solo dando início ao processo de infiltração. Assim, para a correta estimativa do tempo de início da infiltração, o tempo de fim da interceptação da chuva pela cobertura vegetal deve ser adequadamente estimado.

Outro exemplo dessa aplicação é quando se utiliza a equação de Green-Ampt (GA) para predição da taxa de infiltração de água no solo, os tempos de início e de fim de empoçamento devem ser determinados com grande precisão. A utilização de perfis teóricos para representação da intensidade de precipitação facilita a exata determinação destes tempos de interesse. O problema surge quando se utilizam pluviogramas para estimativa da intensidade de precipitação, uma vez que eles produzem um resultado na forma de degrau, sendo o comprimento de cada lance do degrau (inferior ou superior) definido pelo intervalo de tempo utilizado e altura do degrau pela magnitude da intensidade de chuva registrada. Observa-se nestes casos que em cada degrau ascendente ou descendente a intensidade de precipitação correspondente ao tempo onde o degrau muda de nível possui dois valores distintos resultando, assim, em uma descontinuidade matemática. A relação tempo versus intensidade de chuva neste ponto não é, portanto, diferenciável, fato que limita aplicação de algumas técnicas numéricas, como, por exemplo, Newton Raphson.

Visando apresentar uma solução para este problema é que foi desenvolvido o presente trabalho, cujo objetivo principal foi propor uma função de interpolação para uso em

dados de intensidade de precipitação expressos na forma de pluviogramas.

METODOLOGIA

A função de interpolação proposta, para cada degrau, baseia-se na função Weibull, utilizando a intensidade de precipitação e o tempo do evento, de maneira normalizada, da seguinte forma:

$$i = \frac{I_o - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (1) \quad \text{e} \quad t = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (2)$$

em que: I_o = valor observado; I_{\min} = valor inferior; I_{\max} = valor superior; T = tempo observado; T_{\min} = tempo mínimo e T_{\max} = tempo máximo.

A função Weibull já parametrizada pode então ser representada pela equação 3, para o caso em que se deseja representar a transição de um valor menor de intensidade para um maior, e pela equação 4, em caso contrário.

$$i = 1 - e^{-(\alpha t)^\lambda} \quad (3) \quad \text{e} \quad i = e^{-(\alpha t)^\lambda} \quad (4)$$

em que: α = parâmetro de escala; λ : parâmetro de forma.

Esta transformação faz com que tanto os valores de i como de t fiquem compreendidos entre 0 e 1. Aplicando-se tal transformação aos valores observados, tem-se que t será sempre 0, 0,5 ou 1,0 e i sempre 0 ou 1. Especificamente para o valor de $t=0,5$ existem dois valores distintos de i , tornando este ponto não diferenciável. Tomando-se como exemplo o caso em que o valor da variável passa de um degrau inferior para um superior, tem-se no $t=0,5$ que o limite de i pela esquerda é zero, enquanto que o limite de i pela direita é 1. Para resolver este problema, propõe-se que o valor de i em $t=0,5$ seja igual a 0,5, ou seja, metade da magnitude de i . Deste modo, tanto a equação 3 como a equação 4 pode ser utilizada para estabelecer os limites dos parâmetros α e λ para ajuste dos modelos propostos, podendo-se para isto utilizar qualquer metodologia de otimização não linear.

O parâmetro α depende da escala utilizada, enquanto que o parâmetro λ representa o grau de inclinação da função, quanto maior for o valor de λ maior será a inclinação da função no ponto de transição. Após a realização de diversas simulações pode-se constatar que os valores mais adequados para α e λ , ou seja, aqueles valores que produzem uma função com a inclinação mais acentuada, reduzindo assim o erro associado à transição de degraus, são 1,999083927 e 799,9999159, respectivamente.

O procedimento apresentado foi incorporado ao modelo desenvolvido por RODRIGUES et. al. (2003) para estimativa da precipitação efetiva em áreas agrícolas. Neste modelo a infiltração é estimada pela equação de GA e a intensidade de precipitação por dados provenientes de pluviogramas. Para exemplificar a utilização do procedimento, este foi aplicado a uma série sintética de precipitação (Figura 1) visando à obtenção dos tempos de início e de fim de empoçamento.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Na Figura 1 é apresentado esquema representativo da intensidade de precipitação, destacando-se os tempos de início (TIE) e de fim (TFE) de empoçamento. As estimativas de TIE e de TFE foram feitas utilizando-se técnicas numéricas juntamente com o procedimento de interpolação

descrito anteriormente. A correta estimativa desses tempos é de grande importância quando se utiliza a equação de GA para a estimativa da infiltração da água no solo, uma vez que o procedimento a ser utilizado no cálculo da lâmina de água infiltrada no solo depende de onde o tempo que está sendo analisado se encontra em relação TIE e TFE. Por exemplo, toda a lâmina precipitada irá se infiltrar no solo quando o tempo em análise for menor que TIE ou maior que TFE, ou seja, a lâmina infiltrada será igual ao resultado da integral da intensidade de precipitação, uma vez que nesta situação a capacidade de infiltração de água no solo é superior à intensidade de precipitação. Por outro lado, nem tudo que precipita se infiltra no solo quando o tempo em análise está entre TIE e TFE. Assim erros cometidos na estimativa desses tempos acarretarão em erros na estimativa da lâmina infiltrada, devido a um retardamento ou a um adiantamento na utilização de um ou de outro procedimento de estimativa da lâmina infiltrada o que implicará em erros na estimativa da taxa de infiltração de água no solo.

Observa-se na Figura 1 que o TIE está localizado no ponto cujo tempo é 5,0028 min e a intensidade de precipitação é 59,98 mm h⁻¹. Ou seja, o tempo de interesse se localiza na transição entre o degrau inferior (31,69) e superior (73,69), ficando claro que se não tivesse sido adotado o procedimento proposto ter-se-ia que utilizar o tempo de 5 min e o valor da intensidade igual a 31,69 mm h⁻¹ ou igual a 73,69 mm h⁻¹. No primeiro caso ter-se-ia uma subestimativa da lâmina infiltrada e no segundo caso uma superestimativa da mesma.

No Quadro 1 são apresentados os valores observados (O em minutos) e normalizados (P) do tempo e os valores observados (O em mm h⁻¹), normalizados (P) e calculados (C) referentes à intensidade de precipitação, para o caso de uma transição decrescente.

Neste quadro pode-se observar que o tempo normalizado varia de 0 a 1 e que a intensidade de precipitação normalizada varia de 1 a 0, sendo, neste caso, 1 o valor correspondente ao degrau superior (59,40 mm h⁻¹), 0,5 o valor correspondente ao ponto de transição onde se observa dois valores simultâneos de precipitação (59,40 e 39,60 mm h⁻¹) e 0 o valor referente ao degrau inferior, ou seja, 39,60 mm h⁻¹.

Ao se utilizar o procedimento proposto a transição entre um degrau e outro fica suavizada passando a ser contínua. Neste caso específico, a transição inicia-se no tempo normalizado de 0,48502994 e finaliza-se aproximadamente o tempo de 0,50179641 (Quadro 1).

CONCLUSÃO

A utilização de pluviogramas para representar a intensidade de precipitação gera um gráfico na forma de degrau, onde no ponto de transição entre degraus ocorre uma descontinuidade matemática. O procedimento de interpolação apresentado transforma esta transição abrupta em contínua, tornando-a diferenciável. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o procedimento é adequado para suavização da transição entre degraus, podendo, portanto, ser utilizado para esta finalidade.

REFERÊNCIA

PRUSKI, F.F., RODRIGUES, L.N., SILVA, D.D. 2001. Methodology to estimate runoff on agricultural lands. p. 253-264. In: Environment and the water: competitive use and conservation strategies for water and natural resources, ed. A.A. SOARES and H.M. SATURNINO (Org.). ABID, Brasília, Brazil.

RODRIGUES, L.N., PRUSKI, F.F., SILVA, E.M. Metodologia para estimativa da precipitação efetiva em áreas agrícolas. In: XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Goiânia, 2003. Anais... Goiânia, GO, 2003 (aceito para apresentação).

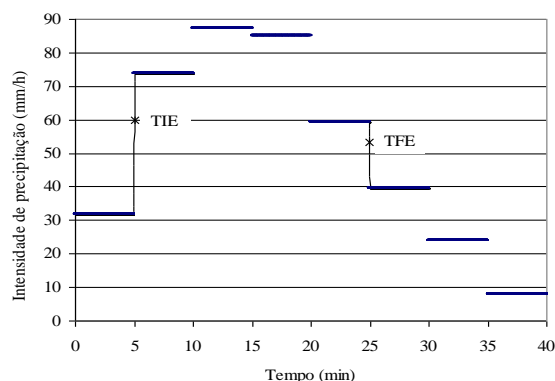


Figura 1 - Esquema representativo da intensidade de precipitação, destacando-se os tempos de início (TIE) e de fim (TFE) de empoçamento.

Quadro 1 - Valores observados (O em minutos) e normalizados (P) do tempo e valores observados (O em mm h⁻¹), normalizados (P) e calculados (C) referentes à intensidade de precipitação

Tempo		Intensidade de precipitação (Transição decrescente)		
O	P	O	P	C (mm h ⁻¹)
20	0	59,40	1	59,40
	0,0005988		1	59,40
	0,0011976		1	59,40
	0,00179641		1	59,40
	0,00239521		1	59,40
	0,00299401		1	59,40

	0,48502994		1	59,40047961
	0,48562874		1	59,40047961
	0,48622754		1	59,40047961
	0,48682635		1	59,4004796
	0,48742515		0,999999999	59,40047956
	0,48802395		0,999999997	59,40047948
	0,48862275		0,999999993	59,40047925
	0,48922156		0,999999981	59,40047864
	0,48982036		0,999999951	59,40047701
	0,49041916		0,999999869	59,40047271
	0,49101796		0,999999651	59,4004613
	0,49161677		0,999999075	59,40043111
	0,49221557		0,99999755	59,40035133
0,49281437	0,999993521	59,40014071		
0,49341317	0,999982884	59,39958535		
0,49401198	0,999954836	59,39812279		
0,49461078	0,99988097	59,39427585		
0,49520958	0,999686682	59,38417142		
0,49580838	0,999176363	59,35767702		
0,49640719	0,997838279	59,2883921		
0,49700599	0,994339083	59,10812603		
0,49760479	0,985234846	58,6444305		
0,49820359	0,961816163	57,4844437		
0,4988024	0,90323168	54,77959847		
0,4994012	0,766624987	49,5003599		
25	0,5	59,40 e 39,60	0,500000002	42,854305
	0,5005988		0,164344724	39,7804972
	0,5011976		0,009103784	39,60033831
	0,50179641		4,96023E-06	39,60
	0,50239521		1,69031E-14	39,60
...	
30	1	39,60	0	39,60

