

ESTIMATIVA DA CHUVA EFETIVA PARA O CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO POR SUBMERSÃO COM LÂMINA CONTÍNUA

ESTIMATIVE OF THE EFFECTIVE RAINFALL FOR RICE CROP IRRIGATED BY CONTINUOUS SUBMERSION WATER DEPTH

Alvaro Moreira Rota¹ Raul Dorfman²

RESUMO

O trabalho consistiu na simulação da chuva efetiva da lavoura de arroz irrigado com lâmina contínua de submersão, através da utilização de planilha eletrônica para computador. O modelo considerou condições específicas do cultivo de arroz irrigado, na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, em planossolo de textura argilosa (albaqualf). Foram considerados dois manejos de irrigação. Um deles retratando a situação existente na região mencionada, o qual considera a aplicação da lâmina de inundação de modo uniforme, através de um incremento constante e diário de altura, até atingir o valor máximo de 100mm; e o segundo, preconizado pelas entidades de pesquisa locais, no qual a lâmina tem o mesmo incremento, porém apenas até a altura de 35mm, permanecendo fixa nesse valor, até o período de maior necessidade de altura, quando é elevada para 75mm e assim mantida até a supressão da irrigação. Os resultados obtidos demonstraram valores de chuva efetiva mais elevados, quando considerada a metodologia que utiliza lâmina máxima de inundação de 75mm, do que aqueles obtidos quando o modelo considerou a lâmina máxima de 100mm. A utilização dessa lâmina de inundação pode gerar uma economia no volume líquido de água de irrigação, da ordem de 20%.

Palavras-chave: chuva efetiva, irrigação, submersão.

SUMMARY

A computer model was developed based on computerized spread sheet to estimate the effective rainfall for irrigated rice by inundation. The model has considered the specific conditions of irrigated rice in the Rio Grande do Sul State in albaqualf soil. Two different irrigation water managements were considered: (i) using

the actual situation used by farmers and; (ii) the management recommended by local research centers. In the first one, a water depth of 25mm was used since the beginning of irrigation and a progressive increase in the water table wafs used until a value of 100mm was reached. However, in the second one, the initial water depth of 25mm was increased only until reached 35mm, then was kept at this value, and when a higher water depth is recommended, it was elevated to 75mm. It was observed higher values of effective rainfall in the water depth management recommended by the research centers compared to water managements mainly used by farmer. The implementation of this water depth managements can reduce water application up to 20%.

Key words: effective rainfall, irrigation, submersion.

INTRODUÇÃO

A área cultivada com arroz, no Sul do Brasil, oscila em torno de 900.000ha, constituindo-se na maior superfície irrigada do País. O consumo de água dessa cultura é elevado e, segundo MOTA *et al.* (1994), a evapotranspiração da cultura varia de 6,7 a 7,7mm por dia, correspondendo a 42% da água normalmente consumida, sendo o restante utilizado para saturar o solo até a camada de impedimento, estabelecer a lâmina de inundação e compensar as perdas por percolação lateral e profunda.

¹Engenheiro Agrônomo, Mestre, Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia Agrícola/UFPel. Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Pelotas, CP 354, 96010-900. PELOTAS, RS. E-Mail: arota@ufpel.tche.br. Autor para correspondência.

²Professor Titular do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Os altos índices de precipitação, 435,4mm, registrados na região representativa dos dados, Município de Capão do Leão, RS, no período compreendido entre 30/10 e 22/02, os quais apresentam, conforme pode ser observado nos dados utilizados, boa distribuição no período (EMBRAPA, 1996), sugerem que a participação da chuva efetiva, no atendimento das demandas hídricas, pode vir a ser bastante significativa. A sua estimativa no entanto, hajam vista as características específicas do método de irrigação por submersão utilizado, difere por completo das metodologias usualmente recomendadas para estimativa de chuva efetiva de culturas mesófitas.

No método de submersão, os tabuleiros de irrigação são contornados por pequenos diques que impedem a saída da água dos mesmos, a não ser quando ocorrer transbordamento ou esses diques forem propositalmente abertos para realizar a drenagem. Desse modo, o aproveitamento da chuva diferencia-se dos demais métodos de irrigação, onde não existe nenhuma barreira física que impeça o escoamento superficial. Neste caso, a chuva efetiva irá depender da potencialidade que apresentarem os tabuleiros de irrigação de reter água sobre a superfície do terreno. Considerando que os diques apresentam praticamente a mesma altura, em torno de 30 cm, (GOMES, *et al.* 1996), então a chuva efetiva irá depender da altura da lâmina de inundação no momento da precipitação. Segundo os mesmos autores, uma lâmina de inundação de apenas 25mm viabiliza ótimos rendimentos para o cultivo do arroz, entretanto lâminas com alturas superiores, variando até 75mm, embora aumentem o consumo de água, são menos exigentes quanto ao nivelamento da superfície do solo. Os autores recomendam que, para a fase vegetativa, a altura da lâmina deve ser mantida tão baixa quanto possível e que, na fase reprodutiva, deva ser elevada para valores máximos entre 70 a 100mm. Segundo FIETZ *et al.* (1986), as alturas de lâminas adotadas no Rio Grande do Sul variam entre 50 e 150mm.

Este trabalho teve como objetivo estimar a chuva efetiva, para as condições específicas da lavoura de arroz irrigado na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, sob duas condições de manejo da água de irrigação: uma delas considerando uma lâmina de inundação máxima de 100mm, característica da altura normalmente adotada pelos produtores na região, e outra com lâmina máxima de 75mm, recomendada pela pesquisa (GOMES *et al.*, 1996).

MATERIAIS E MÉTODOS

A chuva efetiva é a parcela da precipitação que pode vir a ser utilizada pelo cultivo e, assim, con-

seqüentemente deduzida do volume total de água a ser aplicado na irrigação. Desse modo, a expressão matemática que a representa é a que segue (LOUZADA, 1994):

$$CE + DI = LI + LS + ET + PP \quad (1)$$

Onde CE é a chuva efetiva (L), DI é a demanda líquida de irrigação (L), LI é a lâmina de inundação (L), LS é a lâmina de saturação (L), ET é a evapotranspiração (L) e PP é a perda por percolação (L).

O modelo simulou, para os dados considerados, as variáveis evapotranspiração, lâmina de saturação e lâmina de inundação. Em virtude da pequena profundidade da camada de impedimento e da baixa condutividade hidráulica da camada superficial desta unidade de mapeamento (BELTRAME, 1996) as perdas por percolação foram consideradas nulas.

A determinação da evapotranspiração de referência foi obtida através do produto da evaporação do tanque classe A pelo coeficiente de evapotranspiração do tanque (kt) (DOORENBOS & PRUITT, 1975); enquanto que a evapotranspiração da cultura é o produto da evapotranspiração de referência pelo coeficiente de evapotranspiração da cultura (kc). O coeficiente do tanque (kt), adequado às condições climáticas do Rio Grande do Sul, é de 0,75, e o coeficiente da cultura (kc), para a maior parte do período, é de 1,15, (MOTA, 1976). O modelo considerou, para o coeficiente da cultura (kc), valores que variaram desde 0,85, na fase que antecede à aplicação da lâmina de inundação, até 1,15, na fase de estabilização da lâmina de inundação.

A lâmina de saturação foi definida como a altura de água necessária para elevar o conteúdo de umidade do solo até o ponto de saturação. O modelo simulou a aplicação dessa lâmina, sempre que a tensão de umidade fosse superior a 0,1 Mpa. Desse modo, foi definida como efetiva, para esta fase, a parcela da chuva diária responsável por elevar o conteúdo de água do solo até o ponto de saturação. O excedente foi considerado como sendo drenado artificialmente. Tendo em vista o fato de, nesta etapa, a lavoura encontrar-se com os diques já implantados, o escoamento superficial foi considerado nulo. Para estimar o conteúdo de água no momento inicial de aplicação do modelo, foi realizado um balanço hídrico durante os 30 dias precedentes ao início da irrigação. Durante esse período, foi considerada a redução do conteúdo de água do solo, de acordo com a taxa de evaporação, que, para as condições de solo nu, sem vegetação,

conforme sugerido por Baier *et al.*, citado por MOTA (1976), pode variar de 0,7 a 1,0; neste caso adotou-se o valor de 0,85.

A partir da aplicação da lâmina contínua de inundação, o modelo simulou manejos de irrigação diferenciados para cada uma das metodologias consideradas. Para a primeira, que retratou o manejo de aplicação de água usado pelos produtores da região, o procedimento foi o seguinte: no início de dezembro (neste caso, adotou-se o dia 6 de dezembro como data básica) é aplicada uma lâmina de água, suficiente para recobrir todo o tabuleiro. A partir daí, essa lâmina cresce linearmente a razão de 2mm por dia, até atingir o limite máximo de 100mm, no dia 13 de janeiro, assim permanecendo até a supressão da irrigação, em 22 de fevereiro

O segundo manejo de irrigação avaliado, segue a orientação das entidades de pesquisa da região (EMBRAPA e UFPEL), conforme é descrito a seguir. Segundo GOMES *et al.* (1996) é recomendado que o início da aplicação da lâmina de inundação realize-se 30 dias após a emergência, com uma altura que apenas recubra o tabuleiro em toda sua extensão. Tendo em vista haver sido considerado um desnível entre taipas de 50mm, em ambos os manejos, a altura média de lâmina de inundação, quando do início de sua aplicação, é de 25mm, a qual é gradativamente elevada a razão de 2mm por dia, até atingir 35mm, permanecendo nesse valor até o momento de maior necessidade de altura, que, segundo o mesmo autor, ocorre na formação do grão de pólen (microesporogênese), quando o arroz é mais sensível às variações térmicas, sendo então elevada para 75mm. Para a cultivar considerada pelo modelo, Br-IRGA 410, esta fase se processa entre 65 a 70 dias após a emergência, o que neste caso corresponde a 31 de dezembro. A partir deste momento, a altura da lâmina de inundação é mantida constante até a supressão da irrigação em 28 de fevereiro.

Para esta fase, em ambas situações, o modelo considerou que, após cada precipitação, a lâmina que ultrapassasse as necessidades diárias de evapotranspiração e de incremento de altura da lâmina de inundação, quando fosse o caso, seria drenada a razão de 2mm por dia. Foi então considerada como efetiva a parcela da chuva total que, durante o período da retirada do excesso de água, atende às necessidades hídricas diárias mencionadas.

As expressões matemáticas que definem os valores de chuva efetiva são:

(i) antes da aplicação da lâmina de inundação;

$$\text{Se } CT_n \bullet \bullet S - \bullet A_n \quad CE_n = CT_n \quad (2)$$

Sendo:

$$\bullet A_n = \bullet A_{n-1} - ET$$

$$\text{Se } CT_n > \bullet S - \bullet A_n \quad CE_n = \bullet S - \bullet A_n \quad (3)$$

(ii) após a aplicação da lâmina

$$\text{Se } CT_n \bullet 100 - NI_{n-1} + ET_n + 10 + 2 \\ CE_n = CT_n \quad (4)$$

$$\text{Se } Ct_n > 100 - Ni_{n-1} + Et_n + 10 + 2 \\ Ce_n = 100 - Ni_{n-1} + ET_n + 10 + 2 \quad (5)$$

$$\text{Se } Ni_{n-1} = 100 \\ Ce_n = 0 \quad (6)$$

Onde: CT_n é a chuva total do dia considerado (L), CE_n é a chuva efetiva do dia considerado (L), $\bullet S$ é a umidade volumétrica do solo no ponto de saturação (L), $\bullet A_n$ é a umidade volumétrica do solo no dia considerado (L) e NI_n é o nível da lâmina de inundação no dia considerado (L)

Na simulação realizada, foi considerado para a situação em que a lâmina plena de inundação é de 100mm, que os diques durante o período em que a lâmina encontra-se no seu nível máximo, não apresentam efetivamente borda livre disponível para armazenar eventuais sobrelevações da lâmina. Assim sendo, toda a chuva ocorrida nesta fase, transbordaria por sobre os diques, sendo considerada nula a chuva efetiva.

Os dados climáticos utilizados no modelo foram precipitação diária e evaporação diária do tanque classe A, para o período de 1971 a 1990, obtidos junto à Estação Agroclimatológica da EMBRAPA/CPACT, localizada no Município do Capão do Leão, RS, Brasil (lat. 32^0 ; long. 52^0). A cultivar de arroz utilizada como referência foi a Br-IRGA 410 a qual apresenta em média um ciclo de 128 dias. A data base de semeadura considerada foi 30 de outubro. Foi considerado um cultivo, utilizando-se os níveis tecnológicos recomendados pelos trabalhos de pesquisa realizados pela EMBRAPA/CPACT e relevo médio da unidade de mapeamento considerada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se as Tabelas 1 e 2, observa-se que o aproveitamento da água da chuva foi relativamente baixo, 53%, durante a fase sem lâmina de inundação para ambas as situações consideradas. Isso se deve ao fato de haver um menor consumo de água nesta etapa e da exigência de drenar toda a lâmina de água que exceder o ponto de saturação. Durante a fase

Tabela 1 - Médias dos valores diários de chuva, chuva efetiva e da relação entre as mesmas, para as respectivas alturas da lâmina de inundação, ao longo do período irrigado, para a situação de 100mm de lâmina máxima.

| Dia e mês | Lâmina de inundação mm | Chuva mm | Chuva efetiva mm | CE/CT % |
|---------------|------------------------|----------|------------------|---------|
| 30/10 - 05/12 | 0,0 | 9,6 | 5,1 | 53,1 |
| 06/12 | 25,0 | 5,6 | 5,6 | 100,0 |
| 07/12 | 27,0 | 5,4 | 5,4 | 100,0 |
| 08/12 | 29,0 | 7,5 | 7,5 | 100,0 |
| 09/12 | 31,0 | 4,6 | 4,6 | 100,0 |
| 10/12 | 33,0 | 0,6 | 0,6 | 100,0 |
| 11/12 | 35,0 | 23,4 | 8,8 | 37,6 |
| 12/12 | 37,0 | 15,1 | 5,9 | 39,1 |
| 13/12 | 39,0 | 13,4 | 6,9 | 51,5 |
| 14/12 | 41,0 | 7,0 | 7,0 | 100,0 |
| 15/12 | 43,0 | 14,1 | 14,1 | 100,0 |
| 16/12 | 45,0 | 5,5 | 5,5 | 100,0 |
| 17/12 | 47,0 | 14,1 | 9,3 | 66,0 |
| 18/12 | 49,0 | 19,9 | 6,2 | 31,2 |
| 19/12 | 51,0 | 6,4 | 6,4 | 100,0 |
| 20/12 | 53,0 | 20,2 | 8,0 | 39,6 |
| 21/12 | 55,0 | 5,0 | 5,0 | 100,0 |
| 22/12 | 57,0 | 17,2 | 4,4 | 25,6 |
| 23/12 | 59,0 | 8,8 | 8,8 | 100,0 |
| 24/12 | 61,0 | 6,3 | 6,3 | 100,0 |
| 25/12 | 63,0 | 9,0 | 2,4 | 26,7 |
| 26/12 | 65,0 | 4,9 | 4,9 | 100,0 |
| 27/12 | 67,0 | 7,3 | 5,2 | 71,2 |
| 28/12 | 69,0 | 6,7 | 2,2 | 32,8 |
| 29/12 | 71,0 | 3,4 | 3,4 | 100,0 |
| 30/12 | 73,0 | 7,7 | 3,7 | 48,1 |
| 31/12 | 75,0 | 5,4 | 4,0 | 74,1 |
| 01/01 | 77,0 | 3,8 | 3,8 | 100,0 |
| 02/01 | 79,0 | 6,2 | 3,1 | 50,0 |
| 03/01 | 81,0 | 12,9 | 3,4 | 26,4 |
| 04/01 | 83,0 | 3,7 | 1,4 | 37,8 |
| 05/01 | 85,0 | 15,8 | 3,8 | 24,1 |
| 06/01 | 87,0 | 10,2 | 2,7 | 26,5 |
| 07/01 | 89,0 | 15,5 | 3,6 | 23,2 |
| 08/01 | 91,0 | 6,7 | 2,3 | 34,3 |
| 09/01 | 93,0 | 13,4 | 1,5 | 11,2 |
| 10/01 | 95,0 | 3,1 | 1,2 | 38,7 |
| 11/01 | 97,0 | 6,7 | 0,5 | 7,5 |
| 12/01 | 99,0 | 9,7 | 0,7 | 7,2 |
| 13/01 - 22/02 | 100,0 | 11,9 | 0,0 | 0,0 |

CE = chuva efetiva; CT = chuva total

da aplicação da lâmina de inundação, o aproveitamento é inicialmente bastante elevado, decrescendo à medida que aumenta a altura da lâmina de inundação. Isto é explicado pelo fato de que, à medida que a lâmina de inundação aumenta, a altura disponível de borda

Tabela 2 - Médias dos valores diários de chuva, chuva efetiva e da relação entre as mesmas, para as respectivas alturas da lâmina de inundação, ao longo do período irrigado, para a situação de 75mm de lâmina máxima.

| Dia e mês | Lâmina de inundação mm | Chuva mm | Chuva efetiva mm | CE/CT % |
|---------------|------------------------|----------|------------------|---------|
| 30/10 - 05/12 | 0,0 | 9,6 | 5,1 | 53,1 |
| 06/12 | 25,0 | 5,6 | 5,6 | 100,0 |
| 07/12 | 27,0 | 5,4 | 5,4 | 100,0 |
| 08/12 | 29,0 | 7,5 | 7,5 | 100,0 |
| 09/12 | 31,0 | 4,6 | 4,6 | 100,0 |
| 10/12 | 33,0 | 0,6 | 0,6 | 100,0 |
| 11/12 - 30/12 | 35,0 | 10,2 | 7,2 | 70,6 |
| 31/12 - 22/02 | 75,0 | 11,9 | 4,3 | 36,1 |

CE = chuva efetiva; CT = chuva total

livre, para reter maior altura de água sobre a superfície do terreno, diminui.

Na Tabela 3, onde são apresentados os valores totais anuais de demanda líquida de irrigação, chuva total e chuva efetiva anuais de ambas situações consideradas, pode-se observar grande variação, de ano, para ano nos valores de chuva efetiva em relação à total, menor para a situação de lâmina máxima de 100mm, a qual varia de 7,3 a 28,1% do que para a de 75mm, que varia de 11,8 a 58,9%, alcançando neste caso um aproveitamento médio da chuva total anual de 30,8%, para uma chuva efetiva média anual de 203,1mm, contra 16% da situação de lâmina máxima de 100mm, para uma chuva efetiva média anual de 109,6mm.

Pela confrontação dos resultados obtidos para a situação de lâmina máxima de 100mm, utilizada de modo geral pelos produtores, com aqueles relativos à lâmina máxima de 75mm, recomendada pela pesquisa, conclui-se que a chuva efetiva é 1,9 vezes superior nesta situação, e que a utilização desta prática de manejo resultaria em uma economia no volume líquido de água de irrigação, de 20%.

CONCLUSÕES

Através da execução do modelo desenvolvido e com os dados utilizados, concluiu-se que:

a chuva efetiva é inversamente proporcional à altura da lâmina de inundação;

a chuva efetiva resultante da utilização de lâmina máxima de 75mm é 1,9 superior àquela de lâmina máxima de 100mm.

Tabela 3 - Valores totais anuais de demanda líquida de irrigação, chuva efetiva e chuva total, para as duas situações de lâmina máxima.

| Período agrícola | Demanda total mm | | Chuva total mm | | Chuva efetiva total mm | | CE/demanda mm | |
|------------------|-----------------------------------|-------|----------------|-------|------------------------|-------|---------------|------|
| | Lâminas máximas de inundação (mm) | | | | | | | |
| | 100 | 75 | 100 | 75 | 100 | 75 | 100 | 75 |
| 71/72 | 736,1 | 711,1 | 437,3 | 437,3 | 111,4 | 258,4 | 15,1 | 36,3 |
| 72/73 | 669,9 | 644,9 | 474,1 | 474,1 | 58,7 | 132,3 | 8,8 | 20,5 |
| 73/74 | 585,5 | 560,5 | 355,8 | 355,8 | 74,9 | 167,6 | 12,8 | 29,9 |
| 74/75 | 687,3 | 662,3 | 453,4 | 453,4 | 109,6 | 188,0 | 15,9 | 28,4 |
| 75/76 | 687,1 | 662,1 | 318,4 | 318,4 | 68,5 | 136,5 | 10,0 | 20,6 |
| 76/77 | 663,7 | 638,7 | 513,7 | 513,7 | 186,7 | 339,9 | 28,1 | 53,2 |
| 77/78 | 709,6 | 684,6 | 286,3 | 286,3 | 80,8 | 80,8 | 11,4 | 11,8 |
| 78/79 | 756,5 | 731,5 | 344,5 | 344,5 | 103,6 | 144,4 | 13,7 | 19,7 |
| 79/80 | 703,6 | 678,6 | 311,8 | 311,8 | 127,3 | 159,9 | 18,1 | 23,6 |
| 80/81 | 647,5 | 622,5 | 517,9 | 517,9 | 154,7 | 228,7 | 23,9 | 36,7 |
| 81/82 | 715,9 | 690,9 | 486,2 | 486,2 | 167,0 | 244,5 | 23,3 | 35,4 |
| 82/83 | 663,7 | 638,7 | 621,1 | 621,1 | 135,4 | 262,5 | 20,4 | 41,1 |
| 83/84 | 619,8 | 594,8 | 660,1 | 660,1 | 144,3 | 350,3 | 23,3 | 58,9 |
| 84/85 | 723,8 | 698,8 | 202,2 | 202,2 | 53,1 | 137,3 | 7,3 | 19,6 |
| 85/86 | 746,6 | 721,6 | 387,3 | 387,3 | 67,0 | 190,5 | 9,0 | 26,4 |
| 86/87 | 690,8 | 665,8 | 430,5 | 430,5 | 128,1 | 222,2 | 18,5 | 33,4 |
| 87/88 | 668,7 | 643,7 | 489,7 | 489,7 | 170,1 | 293,3 | 25,4 | 45,6 |
| 88/89 | 800,2 | 775,2 | 359,7 | 359,7 | 94,4 | 171,4 | 11,8 | 22,1 |
| 89/90 | 714,3 | 689,3 | 622,0 | 622,0 | 52,7 | 150,5 | 7,4 | 21,8 |
| Média | 694,2 | 669,3 | 435,4 | 435,4 | 109,9 | 203,1 | 16,0 | 30,8 |

CE = chuva efetiva

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRAME, L.F.S. **Caracterização físico-hídrica dos solos formadores da várzea arrozeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: IPH/UFRGS, 1996, 31 p. (Recursos Hídricos 32).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 56. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA/UFPe/INMET. **Precipitação pluviométrica e evaporação no tanque classe A diárias**. Estação Agroclimatológica de Pelotas, 1996.
- FIETZ, C.R., CAUDURO, F.A., BELTRAME, L.F.S. **Modelo de cálculo de demanda hídrica em lavoura de arroz irrigado (*Oriza sativa* L.)**. VII CONIRD, VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Anais p. 155 – 166, 1986.
- GOMES, A.S., PAULETTO, E.A., SOUZA, R.O. **Manejo de água em arroz irrigado**. In: PESKE, S.T. NEDEL, J.L. BARROS, A.C.S.(eds) Produção de Arroz Irrigado. Editora da UFPel. 1996. v. 1. p. 89 -115.
- LOUZADA, J. A. S., BELTRAME, L. F. S., LANNA, A. E. L. La lluvia efectiva como un factor para disminuir el consumo de agua en áreas de riego por inundación. Ingeniería Hidráulica en México v. IX, n 3, p. 35 - 39, 1994.
- MOTA, F.S. da, **Análise agroclimatológica das necessidades semanais de irrigação em Pelotas-RS**. UFPel. **Boletim técnico n° 1**. Pelotas 1976.
- MOTA, F.S. da, ZAHLER, P.J.M. **Clima, agricultura e pecuária no Rio Grande do Sul**. 1ª ed. Pelotas: Mundial, 1994. 166 p.