

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DA BATATA (*SOLANUM TUBEROSUM* L.), NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE SANTA MARIA, RS¹

ALBERTO ELVINO FRANKE² e OSVALDO KONIG³

RESUMO - Determinou-se o coeficiente de cultura (Kc) para a cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), sob irrigação por aspersão, bem como evapotranspiração total no ciclo, para as condições edafoclimáticas de Santa Maria, RS. A evapotranspiração de referência estimou-se a partir da evaporação do tanque Classe A, e a evapotranspiração máxima, através do método do balanço hídrico. O limite inferior de tensão da água no solo foi de 45 kPa, dentro da faixa de produtividade máxima. Os coeficientes de cultura obtidos, foram: 0,51; 1,43; 1,14; 1,01 e 0,89 nos subperíodos P2, P3, P4, P5 e P6, respectivamente. Constatou-se que os valores dos coeficientes de cultura encontrados assemelham-se aos recomendados pela FAO (Doorenbos & Kassan, 1979).

Termos para indexação: irrigação, evapotranspiração, manejo.

DETERMINATION OF CROP COEFFICIENT (Kc) OF POTATO (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) FOR SANTA MARIA, RS, SOIL-CLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT - The crop coefficient (Kc) has been determined for potato (*Solanum tuberosum* L.), under sprinkler irrigation, as well the total evapotranspiration in the cycle for Santa Maria, RS, soil-climatic conditions. The reference evapotranspiration has been estimated as from evaporation of the Class A pan and the maximum evapotranspiration through the water balance method. The lower limit of water tension in the soil was 45 kPa, inside of the maximum productivity range. The crop coefficients obtained were: 0,51; 1,43; 1,14; 1,01; and 0,89 in the P2, P3, P4, P5, and P6 subperiod, respectively. It was concluded that the crop coefficient values found resembled with those recommended by the FAO (Doorenbos & Kassan, 1979).

Index terms: irrigation, evapotranspiration, management.

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das principais hortaliças no país, com área plantada estimada em 200 mil ha/ano e produtividade média de 10 t/ha/ano. No Rio Grande do Sul, a situação da produtividade é crítica, atingindo 5,2 t/ha/ano (Agroanalysis, 1986).

Além de minimizar os riscos inerentes às variações aleatórias da precipitação pluvial, a adoção da irrigação na cultura da batata objetiva a produção escalonada nas diversas regiões de produção do País e na entressafra.

Uma das exigências para o manejo adequado

desta tecnologia é o conhecimento da demanda hídrica da cultura. Então, para estimativa da evapotranspiração atual dos cultivos, os valores da evapotranspiração potencial devem ser corrigidos por coeficientes próprios, denominados coeficientes de cultura (Kc) (Jensen et al., 1970; Hargreaves, 1974). Este coeficiente adimensional foi proposto por Van Wijk & De Vries, e determinado através da relação:

$$Kc = ETm/ETo \dots \dots \dots [1]$$

onde: Kc = coeficiente de cultura, adimensional;
ETm = evapotranspiração máxima, mm;
ETo = evapotranspiração de referência, mm.

Esta relação é uma função do tipo de solo, das características biológicas da planta das condições climáticas e do estágio de crescimento. A evapotranspiração de referência (ETo) é definida como

¹ Aceito para publicação em 9 de dezembro de 1993
Extraído da Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFSM-RS, pelo primeiro autor.

² Eng. - Agr., M.Sc., IPH/UFRGS, CEP 90000 Porto Alegre, RS.

³ Eng. - Agr., M.Sc., Prof. - Adjunto, Dep. de Engenharia Rural, UFSM-RS, CEP 97119 Santa Maria, RS.

o total de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta com vegetação de porte baixo, e bem suprida de água (Penman citado por Berlato & Molion, 1981). Quando se tem uma cultura qualquer em condição potencial, isto é, em condição ótima de umidade e nutrientes no solo, permitindo produção máxima dessa cultura, temos evapotranspiração máxima (ET_m).

Em função das dificuldades para determinar a evapotranspiração potencial, Thornthwaite (1954) propôs um método com base em dados de temperatura média; Blaney & Criddle (1950) desenvolveram um método baseado na correlação entre a temperatura média mensal e a percentagem mensal de horas anuais de luz solar; Hargreaves (1974) apresentou uma fórmula que utiliza dados de umidade relativa do ar, temperatura média do ar e radiação solar; Makkink & Heemst (1956) baseou-se na radiação solar para a estimativa da evapotranspiração potencial, e Penman (1948) fez uso do conceito de balanço de energia e do método aerodinâmico. Doorenbos & Pruitt (1977) recomendam que as estimativas da evapotranspiração de referência E_{TO} sejam feitas pelo método de Penman, Blaney & Criddle (1950) e Makkink & Heemst (1956) bem como a utilização do Tanque Classe A. Encarnação (1987) verificou que a estimativa da E_{TO} através do método Tanque Classe A, entre outros métodos estudados, fornece valores de K_c mais próximos aos sugeridos pela FAO (Doorenbos & Kassan, 1979).

Para Doorenbos & Kassan (1979), uma variedade de batata com um ciclo de 120 a 150 dias consome de 500 a 700 mm de água, dependendo das condições do clima. Para os mesmos autores, os coeficientes de cultura médios para a batata são 0,4 a 0,5 de 0 a 25 dias; 0,7 a 0,8 de 25 aos 60 dias; 1,05 a 1,20 de 60 aos 110 dias e 0,85 a 0,95 de 110 a 140 dias após o plantio.

Encarnação (1987) conduziu um experimento com a cultura da batata, em lisímetros com nível freático constante, no qual o consumo foi de 271,3 mm para completar o ciclo, com um consumo diário de 1,7 mm durante a emergência; 2,3 mm na fase vegetativa; 3,1 mm na fase de floração e formação dos tubérculos; 3,4 mm na fase

de desenvolvimento dos tubérculos I; 3,7 mm na fase de desenvolvimento dos tubérculos II e 1,4 mm na fase de maturação. A fase de maior exigência ocorreu durante o desenvolvimento dos tubérculos, com um K_c maior que a unidade.

Scalopi & Scardua (1975) obtiveram evapotranspiração real da cultura da batata variando de 183,8 mm a 311,8 mm durante o ciclo, para o tratamento de manejo da umidade do solo ao nível de 500 kPa, e o tratamento com limite inferior de 50 kPa, respectivamente. Nestas condições, o consumo médio foi de 1,74 mm/dia e 2,56 mm/dia, respectivamente.

Rebour & Deloye (1971) afirmam que as exigências hídricas da cultura da batata começam claramente inferiores à ETP com 59%, durante a tuberação (período crítico) alcança 162% da ETP, e quando se aproxima a maturação, alcança uma ETr de 76% da ETP.

O período crítico ao déficit hídrico ocorre segundo Winter (1960) e Taylor & Rognerud (1959) após a formação do tubérculo, para Struchtemeyer (1960) e Lis et al. (1964) desde o início da estolonização até início da tuberação, para Nijensohn et al. (1966) na floração e na colheita e conforme Doorenbos & Pruitt (1977) desde a floração até a colheita.

O presente estudo teve como objetivo determinar o coeficiente de cultura K_c, na cultura da batata, nos diversos subperíodos de desenvolvimento, identificando os mais críticos ao déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento realizou-se em área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (29°41'S; 53°42'W; 153 m), em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. O tipo fundamental de clima que predomina é o "Cfa", temperado moderado chuvoso, de acordo com a classificação climática de Koeppen (Moreno, 1961).

A evapotranspiração máxima (ET_m), durante todo ciclo da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), determinou-se pelo método do balanço hídrico, calculado para cada parcela experimental, aplicando-se a expressão geral de conservação de massa, conforme Libardi (1984) e Reichardt (1985).

ET_m = P + I ± D - R ± A (mm) [2]
onde: ET_m = evapotranspiração máxima;

- P = precipitação;
 I = irrigação;
 D = percolação profunda ou ascensão capilar no nível $Z = 0,53$ m;
 R = deflúvio superficial;
 ΔA = variação do armazenamento no volume de controle

Os dados referentes à precipitação, bem como os demais dados meteorológicos, foram obtidos da estação climatológica principal da UFSM, localizada a cerca de 100 m da área experimental.

Realizou-se irrigação por aspersão sempre que a tensão matricial da água no solo atingia 45 kPa, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, segundo Pew (1958) e Wittum & Flocher (1963) dentro da faixa de produtividade máxima.

O deflúvio superficial coletou-se através de calhas coletoras, adaptando-se a metodologia citada por Mondardo et al. (1978). A variação de armazenamento estimou-se a partir de perfis consecutivos de umidade do solo θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), como sugerido por Reichardt (1985), os quais foram determinados pelo método de moderação de nêutrons rápidos.

A drenagem profunda foi estimada a partir da equação de Darcy, onde são considerados a condutividade hidráulica ($K\theta$) - método do perfil instantâneo - e o gradiente de potencial hidráulico. Considerou-se, também, um volume de controle de 0,53 m de profundidade, suficiente para conter o sistema radicular das plantas.

De posse dos vários componentes do balanço hídrico, estimou-se a ETm em intervalos de sete dias. Também realizou-se tal procedimento toda vez que

terminava um subperíodo de desenvolvimento. A ETm para cada subperíodo obteve-se através do somatório dos vários ciclos ocorridos durante este. Os subperíodos considerados para a determinação da evapotranspiração foram os que podem ser vistos na Tabela 1.

As dimensões das parcelas experimentais, no total de três, foram de 6,0 m de comprimento por 4,8 m de largura, perfazendo uma área de 28,8 m^2 . A declividade média da área experimental era de 4%. O plantio realizou-se em 19 de setembro de 1989.

A evapotranspiração de referência ETo foi estimada, utilizando-se o método do Tanque Classe A. Os valores de K_t , usados para o tanque, foram os das tabelas apresentadas por Doorenbos & Pruitt (1977). Nas condições de Santa Maria, RS, o valor encontrado foi de 0,75. Os cálculos do coeficiente de cultura K_c foram feitos para cada subperíodo de desenvolvimento por intermédio da relação apresentada na Equação 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de evapotranspiração da cultura constitui um dado fundamental em projetos de irrigação, sendo indispensável para caracterizar a aptidão agroclimática de uma região. Ao analisar-se os dados da Tabela 2, verifica-se a ocorrência de consumos diferenciados no decorrer do ciclo de crescimento da cultura. Estas diferenças estão associadas unicamente às variações no poder evaporativo da atmosfera e nas exigências de água pelas plantas de batata durante o período vegetativo. O estado de energia da água no solo não variou significativamente durante o experimento.

TABELA 1. Subperíodos de desenvolvimento, característica dos estádios fenológicos, duração dos subperíodos em dias, para a cultura da batata, cultivar "Baronesa", adaptado de Lis et al. (1964) e Costa & Lopes (1982).

Subperíodos	Características morfológicas observadas nas plantas	Nº de dias	
		DSP	AE
P2	desde emergência até aparecimento dos estolões	14	14
P3	início de estolonização até início tuberação	10	23
P4	início da tuberação até 1/3 peso máx. tubérculos	12	35
P5	desde 1/3 do peso máx. até 2/3 peso máx. tubérc.	18	53
P6	desde 2/3 do peso máx. até maturação e senescência	37	91

DSP - duração do subperíodo;

AE - nº de dias após a emergência

TABELA 2. Evapotranspiração máxima (ETm), evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultura (Kc), durante o ciclo da cultura da batata, em Santa Maria, RS, no ano agrícola de 89/90 (média de três repetições).

Subperíodos	Duração do subperíodo	ETm	ETo	Kc
	--- dias ---	-- mm --	-- mm --	-mm-
P2	14	35,63	69,96	0,51
P3	10	72,79	50,92	1,43
P4	12	112,91	98,46	1,14
P5	18	68,13	67,34	1,01
P6	37	235,39	264,59	0,89
Total	91	524,86	550,37	
Média		5,77	6,05	

Na Fig. 1, visualizam-se três fases distintas de exigências hídricas na cultura da batata. A primeira, caracterizada por um menor consumo, abrange a emergência das plantas e até o aparecimento dos estolões, estendendo-se, aproximadamente, até aos 15 dias após a emergência. A segunda fase, revela um aumento acentuado na evapotranspiração, compreendendo desde início da estolonização até 2/3 o peso máximo dos tubérculos, para, em seguida, declinar até a maturação. Estes resultados também foram encontrados nos trabalhos de Scalopi et al. (1978) e Lis et al. (1964).

Quando se analisam os resultados de evapotranspiração total no ciclo, verifica-se que os valores concordam com os encontrados por Doorenbos & Kassan (1979). Porém, quando se comparam com os resultados encontrados por Encarnação (1987) e Scalopi & Scardua (1975), observa-se

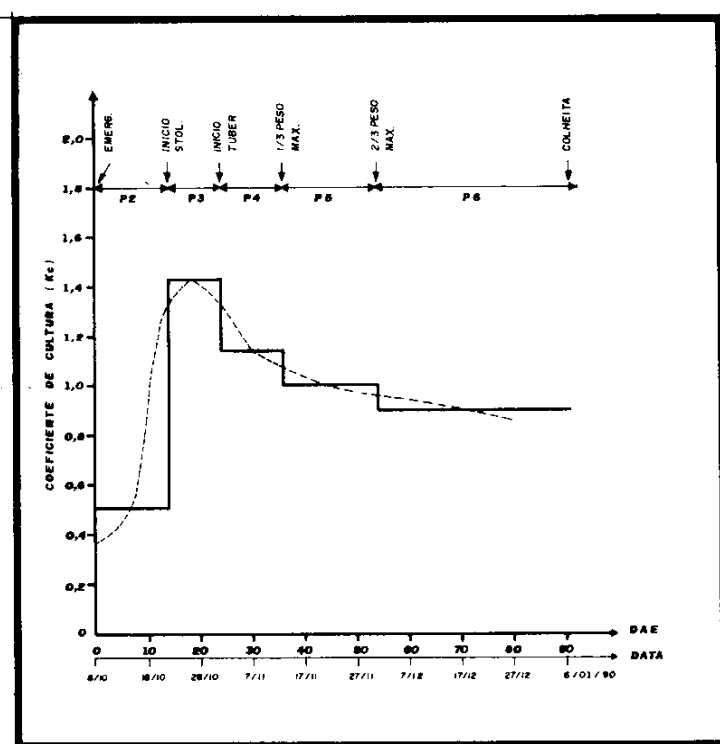


FIG. 1. Variação do coeficiente de cultura (Kc), durante o ciclo da cultura da batata, em Santa Maria (RS), no ano agrícola 89/90 (Média de três repetições).

uma evidente diferença. Os valores superiores, encontrados neste experimento, devem-se a diferenças nas condições edafoclimáticas e de cultivar.

Verifica-se, na Tabela 2, que os valores do coeficiente de cultura, bem como o subperíodo em que ocorreu o maior valor, concordam com os de Doorenbos & Kassan (1979) e Rebour & Deloye (1971). Verifica-se, também, que o valor máximo do Kc igual a 1,43, desde o início da estolonização até início da tuberização, indica ser este o período mais crítico em relação ao manejo da irrigação, apesar de discordar dos trabalhos de: Winter (1960), Taylor & Rognerud (1959), Nijensohn et al. (1966) e Doorenbos & Pruitt (1977). Porém, concordam com Struchtemeyer (1960), Lis et al. (1964) e Doorenbos & Kassan (1979).

Na Fig. 1, pode-se verificar que o valor do Kc começa inferior à unidade durante o estabelecimento da cultura P2; aumenta bruscamente, superando a unidade no subperíodo P3 e volta a decrescer lentamente, ficando inferior à unidade no subperíodo P6.

A variação do coeficiente de cultura é típico de culturas que têm um rápido desenvolvimento da massa foliar logo após a emergência. Verifica-se, assim, que o manejo da irrigação, na cultura da batata, deve ser criterioso após completada a emergência.

CONCLUSÕES

1. O subperíodo crítico ao déficit hídrico é o P3 (início da estolonização até início da tuberização).

2. O Kc recomendado pela FAO, para a cultura da batata, pode ser adotado nas condições edafoclimáticas de Santa Maria.

REFERÊNCIAS

- AGROANALYSIS. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, v.10, n.1, p.4-5, jan. 1986.
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1981. 96p. (Boletim Técnico, 7).
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. [S.l.]: USDA, 1950. 48p. (USDA (SCS) TP-96).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Potato. In: _____. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. p.121-124. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 212p. (Technical note, 24).
- ENCARNAÇÃO, E.A. **Coefficientes culturais na cultura da batata**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 87p. Tese de Doutorado.
- HARGREAVES, G.H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, v.17, p.701-705, 1974.
- JENSEN, M.E.; ROBB, D.C.; FRAZOY, E. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. **Journal the Irrigation and Drainage**, v.96, p.25-38, 1970.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no sistema solo-atmosfera**. Piracicaba: ESALQ/CENA/USP, 1984. 232p.
- LIS, B.R.; PONCE, I.; TIZIO, R. Studies on water requirement of horticultural crops. I. Influence of drought at different growth stages of potato on tubers' yield. **Agronomy Journal**, v.56, n.4, p.377-381, jul./ago. 1964.
- MAKKINK, G.F.; HEEMST, H.D.J. van. The actual evapotranspiration as a function of the potential evapotranspiration and the soil moisture tension. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.4, p.67-72, 1956.
- MONDARDO, A.; FARIAS, G.S.; CASTRO, C.; VIEIRA, M.J.; HENKLAIN, J.C.; RUFINO, R.L. Metodologia e procedimentos para a avaliação de perdas por erosão em condições de chuva natural no Paraná. In: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 2., Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. p.67-71.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.
- NIJENSOHN, L.; MIHAJLOVICH, D.L.; GARMARINI, H.; GRASSI, C.J. Respuesta de la papa (cv. White Rose) a diferentes regimenes de riego. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v.3, n.6, p.63-108, 1966.

- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, v.193, p.120-146, 1948.
- PEW, W.D. Effects of soil moisture on cantaloupe growth and production. *Western Grower and shipper*, v.29, p.22-24, 1958.
- REBOUR, H.; DELOYE, M. La realización de los riegos. In: _____. *El riego*. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1971. Cap. 8. p.245-286.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- SCALOPI, J.E.; KLAR, A.F.; VILLA NOVA, N.A. Avaliação de métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração. *Anais da ESALQ/USP*, v.35, p.77-92, 1978.
- SCALOPI, J.E.; SCARDUA, R. Variação do regime de umidade do solo durante o ciclo fenológico de plantas de batata. *Anais da ESALQ/USP*, v.32, p.33-46, 1975.
- STRUCHTEMEYER, R.A. Efficiency of the use of water by potatoes. *American Potato Journal*, v.38, p.22-24, 1960.
- TAYLOR, S.A.; ROGNERUD, B. Water management for potato production. *Utah farm and Home Science*, v.20, p.82-84, 1959.
- THORNTHWAITE, C.W. A re-examination of the concept and measurement of potential evapotranspiration. *Climatology*, v.7, n.1, p.200-209, 1954.
- WINTER, E.J. The irrigation of potatoes. *Agriculture*, London, v.66, p.549-551, 1960.
- WITTUM, M.T.; FLOCHER, W.J. *Crop response to irrigation in the Northeast*. New York: State Agric. Exp. Station, 1963. (N.Y. State Agricultural Exp. Station Bulletin, 800).