

## Modelos matemáticos do coeficiente de cultura em função da evolução do crescimento da palma forrageira irrigada e sob diferentes sistemas de plantio<sup>1</sup>

Herica Fernanda de Sousa Carvalho<sup>2</sup>, Thieres George Freire da Silva<sup>3</sup>; Carlos André Alves de Sousa<sup>2</sup>;  
Wellington Jairo da Silva Diniz<sup>4</sup>, Carlos Tiago Amâncio Rodrigues<sup>2</sup>, Magna Soelma Beserra de Moura<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dados experimentais de projetos de pesquisa coordenados pelo primeiro autor e financiado pelo CNPq e FACEPE

<sup>2</sup> Graduandos, Agronomia, UFRPE/UAST, e-mail: hericafernanda\_17@hotmail.com, carlosandre08\_@msn.com, tiagoamancio@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor Adjunto III, UFRPE/UAST, e-mail: thieres\_freire@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Mestrando do PPGPV, UFRPE/UAST, e-mail: wellingtonjairo@hotmail.com

<sup>5</sup> Pesquisadora de Agrometeorologia, Embrapa Semiárido, e-mail: magna.moura@embrapa.br

**RESUMO:** Objetivou-se determinar modelos matemáticos em função da evolução do crescimento para estimativa do coeficiente de cultura (Kc) da palma forrageira (*Opuntia stricta*), sob diferentes sistemas de plantio. O experimento foi conduzido em Serra Talhada, PE, com delineamento em blocos ao acaso, arranjo fatorial de 5 x 3, quatro repetições, sendo as parcelas compostas por cinco condições de disponibilidade hídrica (irrigação complementar de 583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>), baseados na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e as subparcelas por três sistemas de plantio (exclusivo, com cobertura e consorciado com sorgo granífero). A ET foi calculada pelo método do balanço de água no solo, e o Kc mediante a relação entre ET e ET<sub>o</sub>, para as condições de disponibilidade hídrica que proporcionaram o maior rendimento em cada um dos três sistemas. Foram avaliadas 32 variáveis biométricas, durante um ano de ciclo, e em seguida quantificados dados morfológicos da planta e dos cladódios. Esses dados e o Kc foram analisados por meio da estatística descritiva, e posteriormente, aplicou-se matriz de correlação de Pearson, seguida do teste multicolinearidade, análise de trilha, e por fim regressão para definir a equação de estimativa do Kc. Verificou-se que, a evolução das variáveis de crescimento responderam pelo menos por 92% da variabilidade dos valores de Kc, a depender do sistema de plantio. No sistema exclusivo, a estimativa do Kc pode ser feita pela evolução da altura da planta (cm mês<sup>-1</sup>), enquanto no sistema com cobertura pelo incremento da largura dos cladódios basais (cm mês<sup>-1</sup>), e no consórcio pela espessura dos cladódios de 1ª ordem (mm mês<sup>-1</sup>) e perímetro dos cladódios basal (cm mês<sup>-1</sup>). Conclui-se que, o monitoramento da evolução do crescimento pode ser adotado como ferramenta de manejo de irrigação para a palma forrageira.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação complementar, modelagem empírica, *Opuntia stricta*

### Mathematical models of the crop coefficient in function of the evolution of the growth of irrigated cactus forage on different planting systems

**ABSTRACT:** The objective was to determine mathematical models in function of the evolution of the growth to estimate crop coefficient (Kc) of cactus forage (*Opuntia stricta*) on different planting systems. The experiment was conducted in Serra Talhada, State of Pernambuco, Brazil, with random blocks design, factorial arrangement of 5 x 3, four repetitions, being composed of five parcels of water availability conditions (supplementary irrigation 583, 655, 703, 759 and 809 mm year<sup>-1</sup>), based on the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), and the subplots for three planting systems (sole system without mulching, exclusive with mulching and intercropping cactus-sorghum). The ET was calculated by the soil water balance method and the Kc by the relationship between ET and ET<sub>o</sub>, for water availability conditions that provided the greatest income in each of the three systems. 32 biometric variables were evaluated during a one-year cycle, and then quantified morphological data of the plant and the cladode.

***O desafio do uso sustentável dos biomás brasileiros***

These data and the  $K_c$  were analyzed through descriptive statistics, and subsequently applied Pearson's correlation matrix, followed by the multicollinearity test, and path analyze, and finally regression to define estimation equation of  $K_c$ . It was found that the evolution of growth variables responded at least 92% of the variability of the  $K_c$  values, depending on the planting system. In sole system, the estimate of the  $K_c$  may be made by the evolution of plant height ( $\text{cm month}^{-1}$ ), while in the system with mulching by increasing the width of the basal cladode ( $\text{cm month}^{-1}$ ), and in the intercropping cactus-sorghum by the thickness of the cladode of first order ( $\text{mm month}^{-1}$ ) and perimeter of the basal cladode ( $\text{cm month}^{-1}$ ). It is concluded that the monitoring of the evolution of the growth may be adopted as a tool for management of irrigation for the cactus forage.

**KEYWORDS:** supplementary irrigation, empirical modelling, *Opuntia stricta*

## INTRODUÇÃO

A palma forrageira possui a maioria de seus clones pertencentes aos gêneros *Opuntiasp.* e *Nopaleasp.*, com alta absorção, aproveitamento e acúmulo de água. É bastante explorada na alimentação animal, devido apresentar características morfofisiológicas que a torna apropriada para regiões semiáridas (DUBEUX JUNIOR et al., 2005).

Todavia, a melhoria do seu desempenho condicionada à adoção de sistemas de plantio (com cobertura morta sobre o solo e consórcios), uma vez que pode aumentar a produção por unidade de área, e ao uso de eventos de irrigação, que depende de informações de demanda hídrica, como o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), (LIMA, 2015).

Segundo Leal et al. (2004), o  $K_c$  varia conforme o crescimento da planta, e de acordo com as características da cultura e umidade do solo, e em escala menor à variação dos elementos meteorológicos. Ao passo que, estudos têm demonstrado que a demanda da cultura não pode ser, simplesmente, estabelecida para todas as situações climáticas, com um simples valor de  $K_c$  (BEZERRA et al., 2010), devendo, portanto, serem determinados para cada condição de cultivo.

Para solucionar este problema, uma alternativa é uso modelos matemáticos gerados a partir de características da planta, as quais refletem a condição de cultivo e o manejo adotado.

Assim, objetivou-se determinar modelos matemáticos para estimativa do coeficiente de cultura da palma forrageira (cv. Orelha de Elefante Mexicana, *Opuntia stricta*) em diferentes sistemas de plantio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados experimentais foram provenientes de uma área de cultivo situada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, localizado em Serra Talhada, PE. A área de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), no espaçamento 1,6 x 0,4 m, foi disposta em delineamento em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 5 x 3, com parcela subdividida e quatro repetições. As parcelas foram compostas por cinco lâminas de irrigação, aplicadas por sistema de gotejamento, com base na evapotranspiração de referência  $E_{To}$  (0%. $E_{To}$ , 8,75%. $E_{To}$ , 17,5%. $E_{To}$ , 26,25%. $E_{To}$  e 35%. $E_{To}$ , ou seja, irrigação complementar de 583, 655, 703, 759 e 809  $\text{mm ano}^{-1}$  acrescidas de 393  $\text{mm ano}^{-1}$  de precipitação pluviométrica), e as subparcelas por três sistemas de plantio (SC = sistema exclusivo da palma forrageira sem cobertura morta sobre o solo, CC = sistema da palma forrageira com cobertura morta sobre o solo e PS = sistema consorciado palma-sorgo).

O experimento teve duração 380 dias, de junho de 2012 a junho de 2013.

A  $E_{To}$  foi calculada com base no método de Penman Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO.

***O desafio do uso sustentável dos biomás brasileiros***

A umidade do solo foi monitorada ao longo do tempo em intervalos de três dias, em seis camadas de 0,10 m. Para isso foi usado o conjunto Diviner@2000 calibrado localmente e 60 tubos de acesso instalados um em cada subparcela experimental. A partir desses dados e de propriedades físico-hídricas do solo foi quantificada a evapotranspiração real dos sistemas exclusivo, com cobertura e consorciado palma-sorgo, para as diferentes lâminas de irrigação, por meio do somatório dos valores estimados pelo resíduo do balanço de água no solo, para intervalos de tempo de 14 dias.

O monitoramento do crescimento das plantas e dos cladódios foi realizado ao longo do tempo (10 datas), onde se registrou: altura da planta (AP), largura da planta (LP), número de cladódios totais (NCT), número de cladódios de primeira, segunda e terceira ordem (NC1, NC2, NC3), Comprimento dos cladódios basal (CCB), comprimento de cladódios de primeira, segunda e terceira ordem, (CC1, CC2, CC3), largura dos cladódios basal (LCB), largura dos cladódios de primeira, segunda, e terceira ordem, (LC1, LC2, LC3), perímetro dos cladódios basal (PCB), perímetro dos cladódios de primeira, segunda e terceira ordem, (PC1, PC2, PC3), espessura dos cladódios basal (ECB), espessura de cladódios de primeira, segunda e terceira ordem (EC1, EC2, EC3). Para essas medidas foram usadas fita métrica e paquímetro. Logo, a área do cladódio basal (ABS), área do cladódio de primeira, segunda e terceira ordem (AC1, AC2, AC3), índice de área do cladódio total (IACT), índice de área dos cladódios de primeira, segunda e terceira ordem (IAC1, IAC2, IAC3) foram estimados conforme procedimentos de Pinheiro et al. (2015).

Os dados dos tratamentos de lâmina de irrigação que promoveram maiores rendimentos em cada sistema de plantio (8,75.ET<sub>o</sub> para o Sistema SC; 17,5%.ET<sub>o</sub> para o Sistema CC; e, 26,25%.ET<sub>o</sub> para o Sistema PS) foram usados na estimativa do K<sub>c</sub>, pela razão ET<sub>c</sub>/ET<sub>o</sub>, e no cálculo do incremento das variáveis biométricas, entre as diferentes datas de monitoramento.

Os dados de K<sub>c</sub> foram submetidos à matriz de correlação de Pearson e análise de trilha, em função dos incrementos dos dados biométricos para avaliação da contribuição das mesmas na variação do K<sub>c</sub>, e depois para a escolha da(s) variável(is) a ser(em) utilizada(s) nos modelos matemáticos. Esse teste foi realizado considerando uma significância de 1 e 5% de probabilidade pelo teste t de Student, e esteve condicionada ao teste de multicolinearidade. Posteriormente, aplicou-se análise de regressão linear e não linear.

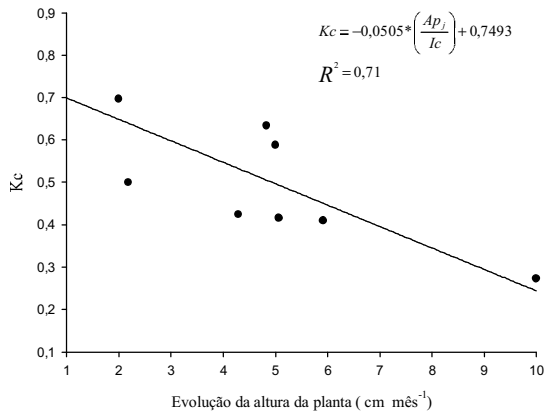
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela matriz de correlação, verificou-se efeito significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, para a maioria das variáveis de crescimento com os valores de K<sub>c</sub>. Todavia, após o teste de multicolinearidade apenas as seguintes variáveis e seus respectivos coeficientes de correlação foram desdobrados em seus efeitos direto e indireto: sistema SC - evolução da altura (-0,84) e da largura (-0,73) da planta, área dos cladódios de 2ª (-0,67) e 3ª ordem (-0,83), e índice de área dos cladódios de 2ª ordem (0,71); sistema CC: altura da planta (0,66), comprimento dos cladódios 3ª ordem (-0,63), largura dos cladódios basal (0,70), e espessura dos cladódios de 1ª ordem (-0,83); e, sistema PS: largura do cladódio basal (0,70), espessura dos cladódios de 1ª (-0,83), perímetro do cladódio basal (0,84) e área do cladódio de 3ª ordem (-0,70).

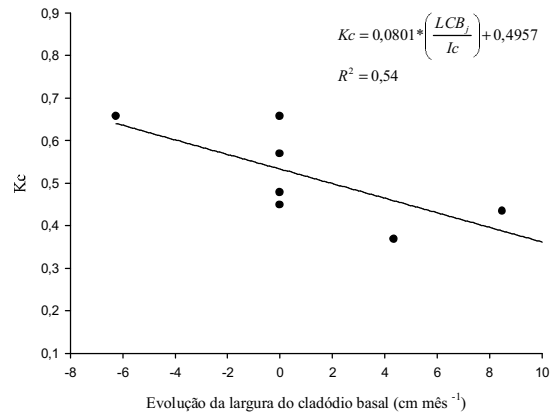
Independentemente do sistema de plantio, na análise de trilha o coeficiente de determinação foi superior ao do efeito residual, demonstrando que as variáveis de crescimento conseguem explicar a variável dependente (K<sub>c</sub>). As variáveis de crescimento em conjunto explicaram 92% da variabilidade do K<sub>c</sub> no sistema SC, enquanto nos sistemas CC e PS, as mesmas responderam por 98% e 98%, nessa ordem.

No sistema SC, a evolução da altura da planta (cm mês<sup>-1</sup>) foi a que mais contribuiu na variabilidade do K<sub>c</sub>, com coeficiente de determinação de 0,71 (Figura 1). Assim, de posse da equação linear definida, pode-se estimar o K<sub>c</sub> em função da altura da planta (A<sub>pj</sub>) e idade de corte (I<sub>cj</sub>) desejadas

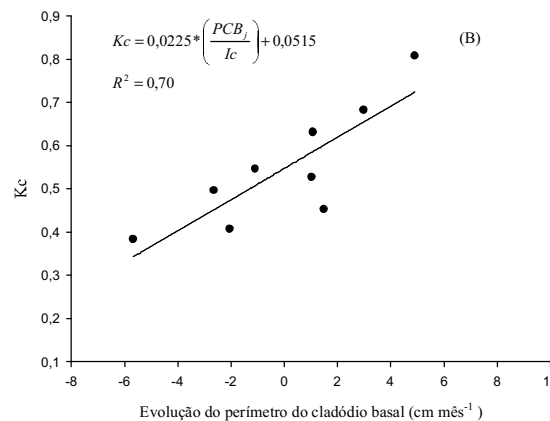
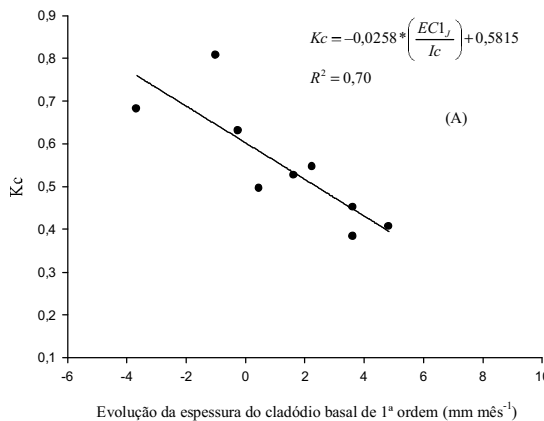
no momento do manejo de irrigação. Percebe-se que essa relação foi decrescente, demonstrando que os valores de  $K_c$  tendem ser maiores quando a evolução da altura da planta é baixa. Isso ocorre mais no final do ciclo, quando o desenvolvimento do dossel da cultura é mais lento. Por outro lado, no início do ciclo, quando a evolução da altura da planta é alta, a magnitude dos valores de  $K_c$  ainda é baixa.



**Figura 1.** Relação dos valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) da palma forrageira sob sistema de plantio exclusivo sem cobertura morta sobre o solo em função da evolução da altura da planta ( $\text{cm mês}^{-1}$ ), obtida a partir da altura da planta e idade de corte desejadas.



**Figura 2.** Relação dos valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) da palma forrageira sob sistema de plantio exclusivo com cobertura morta sobre o solo em função da evolução da largura dos cladódios basais ( $\text{cm mês}^{-1}$ ), obtida a partir da largura e idade de corte desejadas.



**Figura 3.** Relação dos valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) da palma forrageira sob sistema de plantio palma-sorgo em função da evolução da espessura dos cladódios de 1ª ordem ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) e perímetro dos cladódios basais ( $\text{cm mês}^{-1}$ ), obtida a partir da espessura e perímetro, e idade de corte desejados.

No sistema CC, apesar dos altos efeitos direto e indireto das variáveis de crescimento, observou-se que, de um modo geral, as magnitudes dos valores de correlação de cada uma foram baixos. Segundo Montardo et al. (2003), esse resultado pode estar associado a pouca variabilidade de uma das características (resposta ou explicativa), ao passo que, a análise de trilha identifica uma eventual associação na variável explicativa. Nesse sistema, a variável que apresentou maior expressão foi a evolução da largura dos cladódios basais. No momento em que, as taxas de evolução são maiores, no início do ciclo da cultura,



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

é quando as magnitudes dos valores de  $K_c$  são reduzidas. Ao passo que a evolução negativa da largura do cladódio basal, no final do ciclo da cultura resulta em altos valores de  $K_c$ .

No sistema PS, os modelos matemáticos gerados em função da evolução da espessura dos cladódios de 1ª ordem e do perímetro dos cladódios basais, apresentaram coeficientes de determinação de 0,70. Na Figura 3A, percebe-se que, quando a evolução da espessura dos cladódios de 1ª ordem é alta, os valores de  $K_c$  ainda são baixos, enquanto que, sob taxas negativas, as magnitudes do  $K_c$  é alta. Logo na Figura 3B, a taxa de evolução do cladódio basal positiva implica em maiores valores de  $K_c$ . O aumento da evolução do perímetro do cladódio basal em detrimento a espessura dos cladódios de 1ª ordem pode ser evidenciado no final do ciclo da cultura.

## CONCLUSÕES

A evolução das variáveis de crescimento da palma forrageira (*Opuntia stricta*) explica a variabilidade dos valores de coeficiente de cultura, de modo a permitir a sua estimativa ao longo do ciclo, e ser adotado como ferramenta de manejo de irrigação para essa espécie.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, C. V. de.; SILVA, B. B. da.; Dias, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.625-632, 2010.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: **A palma no Nordeste do Brasil**. PE. UFRPE, p.105-108, 2005.

LEAL, B. G.; SEDIYAMA, G. C. Modelo matemático para determinação da curva do coeficiente de cultura,  $K_c$ . **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.2, p.124-133, 2004.

LIMA, L. R. **Viabilidade econômica do sistema consorciado palma forrageira-sorgo em condições irrigadas no Semiárido pernambucano**. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada.

MONTARDO, D.P.; DALL'AGNOL, M.; CRUSIUS, A.F. Análise de trilha para rendimento de sementes de trevo vermelho (*Trifolium pratense L.*) **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p. 1076-1082, 2003.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. da.; DINIZ, W. J. da S.; CARVALHO, H. F. de S.; MOURA, M. S. B. Métodos indiretos para determinação do índice de área do cladódio da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.163-171, 2015.