

Regionalização de coeficiente de cultivo no planejamento da agricultura irrigada em Sinop-MT

Regionalization of cultivation coefficient in irrigated agriculture planning in Sinop-MT

*Jhonata Santos Santana*¹; *Gustavo Costa de Oliveira*²; *Nara Priscila Barbosa Bravim*²; *Régia Karolyny Lopes Nunes*²

¹ Graduado em Engenharia Agrônômica, Bolsista BATI-II UEMASUL, Imperatriz – Maranhão.
E-mail: agro.starf@gmail.com

² Mestrando em Agricultura e Ambiente, UEMA, campus Balsas-Maranhão.

Resumo: O conhecimento de valores precisos do coeficiente de cultivo (Kc) é de fundamental importância para um planejamento eficiente da quantidade de água a ser aplicada nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas, devendo ser regionalizado para cada cultura e região específica, evitando-se utilizar valores tabelados, que normalmente foram determinados para condições climáticas diferentes da região onde a cultura será desenvolvida. Assim, o estudo objetivou estimar os coeficientes de cultivos das principais culturas de interesse econômico, para a região de Sinop-MT. A metodologia permitiu obter os valores de Kc regionalizados para as diferentes fases de desenvolvimento da soja, milho, arroz, trigo, algodão herbáceo, feijão e sorgo, utilizando-se uma série histórica contínua de 25 anos de dados meteorológicos. Os valores de Kc obtidos neste estudo foram diferentes dos preconizados pela FAO para as diferentes culturas estudadas em suas diferentes fases de desenvolvimento. Nas fases I, II e III, a maioria das culturas apresentaram valores de Kc maiores quando comparados com os tabelados da FAO e certamente passariam por estresse hídrico, em todo o seu ciclo, acarretando reflexos negativos na produção. Os resultados encontrados neste estudo reforçam a necessidade de estudos locais dos parâmetros empregados nas estimativas do consumo de água das culturas.

Palavras-chave: Condições climáticas. Kc regionalizado. Fases de desenvolvimento.

Abstract: Knowing the precise values of the crop coefficient (Kc) is of fundamental importance for the efficient planning of the amount of water to be applied in the different stages of crop development, and should be regionalized for each specific crop and region, avoiding use tabulated values, which were normally determined for different climate conditions from the region where the crop will be grown. Thus, the study aimed to estimate the cultivation coefficients of the main crops of economic interest for the Sinop-MT region. The methodology allowed to obtain regional Kc values for the different development stages of soybean, maize, rice, wheat, herbaceous cotton, beans and sorghum, using a continuous historical series of 25 years of meteorological data. The values of Kc obtained in this study were different from those recommended by the FAO for the different crops studied in their different stages of development. In phases I, II and III, most cultures presented higher Kc values when compared to FAO tabulated ones and would certainly undergo water stress throughout their cycle,

causing negative effects on production.. The results found in this study reinforce the need for local studies of the parameters used in the estimates of the water consumption of the crops.

Keywords: Climate conditions. Regionalized Kc. Stages of development.

Introdução

A estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ET_c) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que ela totaliza a quantidade de água necessária nos processos de evaporação e transpiração das culturas, durante determinado período (SOUSA *et al.*, 2010). Dentre as abordagens empregadas para a estimativa do consumo de água das plantas, se destaca o uso de coeficientes de cultivo (K_c) associados a estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) (SILVA *et al.*, 2017). A FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) sugere estimar a evapotranspiração das culturas de interesse econômico (ET_c) por meio do método do coeficiente de cultivo único (ET_c = K_c.ET_o), em que ET_o é a evapotranspiração de referência e K_c é o coeficiente de cultivo empírico da cultura (LYRA *et al.*, 2012).

O coeficiente de cultivo (K_c) é um parâmetro largamente utilizado na estimativa do consumo de água pelas plantas, se caracterizando como fator essencial no cálculo das estimativas das necessidades hídricas de culturas específicas às condições edafoclimáticas do local onde a cultura se desenvolve (SILVA; TAVARES; SOUSA, 2013). Segundo Barbosa, Oliveira e De Figueiredo (2015), o K_c está diretamente relacionado com o estágio de desenvolvimento da cultura, sendo esses valores determinados por meio de pesquisas, para auxiliar os produtores a manejar a irrigação de uma lavoura o mais correto possível.

Os valores do coeficiente de cultivo K_c para as diversas culturas de interesse econômico, em suas diferentes fases de desenvolvimento, podem ser obtidos no boletim FAO-56, conforme Allen *et al.* (1998). Entretanto, o emprego de valores de K_c tabelados pode resultar em uma menor precisão na estimativa da demanda hídrica dos cultivos, uma vez que foram estimados para condições climáticas e agrônômicas distintas da maioria das regiões de cultivo brasileiras, havendo a necessidade de calibração *in situ* desses coeficientes para evitar sub ou superestimar as lâminas de água aplicadas às culturas agrícolas em cada região.

Estudos desenvolvidos por vários pesquisadores chamam a atenção para a necessidade de se obterem valores regionalizados do coeficiente de cultivo (K_c), em que, na maioria das vezes, se constataram que os valores de K_c regionais estimados para diversas localidades foram superiores ou inferiores aos valores de referência sugeridos pela FAO para as diferentes fases de desenvolvimento das culturas (LYRA *et al.*, 2012, ANDRADE *et al.*, 2013, SILVA *et al.*, 2017). A estimativa de valores regionalizados de K_c para um determinado local de cultivo é um passo importante para determinações precisas das necessidades hídricas das culturas e para o manejo racional da água de irrigação, de modo que a quantidade de água aplicada não falte e não exceda a capacidade de absorção e de aproveitamento do sistema radicular das plantas (SILVA; TAVARES; SOUSA, 2013).

Considerando a importância da estimativa regional dos valores do coeficiente de cultivo e sua influência na precisão da determinação das lâminas de irrigação, associados também à falta de informações locais, buscou-se com este trabalho estimar os valores regionais de Kc para a região de Sinop-MT, onde, a partir dessas informações, será possível estimar com maior precisão o consumo de água das principais culturas de interesse econômico da região de estudo, enquanto não existem os valores locais medidos por métodos diretos. Os resultados obtidos neste trabalho poderão contribuir para um adequado planejamento e manejo racional de sistemas de irrigação, contribuindo para o sucesso da agricultura irrigada em uma das maiores fronteiras agrícolas do Brasil.

Material e Métodos

O presente estudo utilizou-se de dados da estação meteorológica convencional localizada em Sinop-MT, dados esses utilizados para representar as condições climáticas da região do médio norte do Estado de Mato Grosso. As coordenadas geográficas do município de Sinop são 11° 50' 53" de latitude S e 55° 38' 57" de longitude W, com altitude média de 384 metros acima do nível do mar. O clima é classificado pelo método de Köpen como do tipo (Aw), tropical, com regime de chuvas equatorial. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média pluviométrica anual é de 1818 mm, a do mês mais chuvoso (fevereiro) é de 309 mm e do mês mais seco (julho) de 2 mm. A temperatura média anual é de aproximadamente 25°C e a umidade relativa média do ar é de aproximadamente 80%.

O estudo foi desenvolvido com a base de dados meteorológicos diários da estação meteorológica convencional denominada Gleba Celeste localizada no município de Sinop-MT (pertencente a rede de estações do INMET). Assim, adotou-se uma série histórica contínua de 25 anos de dados climáticos, cujo período base variou de janeiro de 1990 a dezembro de 2014, referentes à umidade relativa mínima do ar, velocidade do vento e temperatura máxima, mínima e média do ar. A estação meteorológica está localizada em 12°16'S e 55°17'W, com altitude de 415m. Na Tabela 1 estão apresentadas as informações da estação meteorológica utilizada no estudo.

Tabela 1. Código, nome, tipo, latitude, longitude e altitude da estação utilizada

Código	Nome	Tipo	Lat. (S)	Long. (W)	Altitude
83264	Gleba Celeste-MT	Convencional	12°16'	55°17'	415 m

Fonte: Informações retiradas da estação meteorológica Gleba Celeste.

Segundo Mendonça *et al.* (2007), a estimativa correta do coeficiente de cultivo (Kc) é um passo importante para o manejo racional da irrigação, entretanto, na maioria das situações, pesquisadores e praticantes da agricultura irrigada se utilizam de valores médios de Kc disponibilizados pela FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, o que pode implicar em erros, pois deveriam ser, preferencialmente, determinados para as condições locais nas quais será utilizado.

Neste estudo, para estimativa regional dos coeficientes de cultivo inicial (Kci), utilizou-se a equação proposta por Albuquerque *et al.* (2001), e já utilizada por outros

autores em outras regiões do país, como Silva *et al.* (2017), que realizaram a aplicação da mesma equação para a estimativa regional do Kc do milho para o estado do Maranhão, e Carvalho *et al.* (2006), que utilizaram para o estado do Rio de Janeiro. As equações propostas por Albuquerque utilizam valores de ETo e intervalo de umedecimento do solo (IE) na estimativa dos coeficientes de cultivo regionais iniciais (Kci), e velocidade dos ventos a 2 m de altura, umidade relativa mínima, altura média da cultura na fase II (h1), altura média da cultura na fase III (h2) na estimativa dos coeficientes de cultivo regionais médios e finais (Kcm e Kcf). Mendonça *et al.* (2007) constataram em seus estudos que os coeficientes culturais determinados para as diferentes fases de cultivo do feijoeiro por estas equações de correção foram semelhantes aos valores estimados por lisímetros de pesagem. Os coeficientes de cultivos iniciais regionalizados foram obtidos pela Equação 1.

$$Kci = 1,42 - 0,09.ETo - 0,11.IE + 0,004.ETo^2 + 0,003.IE^2 + 0,0003.ETo.IE \quad (1)$$

em que:

Kci – Coeficiente de cultura inicial regionalizado, Adimensional;

ETo – Evapotranspiração de referência na fase I, mm.dia⁻¹;

IE – Intervalo entre eventos de umedecimento do solo (chuva ou irrigação), dias.

Os valores de Evapotranspiração de referência (ETo) foram estimados pelo método de método Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 1998), cujo período base variou de (1990-2014).

$$ETo = \frac{[0,408.\Delta.(Rn - G) + \left(\frac{900.U_2}{T+273}\right).(es - ea)]}{\Delta + \gamma.(1 + 0,34.U_2)} \quad (2)$$

em que:

ETo = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

Δ = declividade da curva de pressão, kPa °C⁻¹;

Rn = saldo de radiação, MJ m⁻² dia⁻¹;

G = fluxo de calor, MJ m⁻² dia⁻¹;

γ = constante psicrométrica, MJ kg⁻¹;

T = temperatura média, °C);

U₂ = velocidade do vento, m s⁻¹;

es = pressão de saturação de vapor, kPa;

ea = pressão de vapor, kPa.

O processo utilizado para o preenchimento de falhas, isto é, ausências de dados utilizados para o cálculo da ETo pelo método de Penman-Monteith-FAO, foi rigorosamente observado e foi estabelecido o padrão recomendado no boletim da FAO Nº 56 de 1998, ou seja, para os dias com ausência de dados no mês, foi considerada a média do mês em questão para o preenchimento da falha. Para estimativa dos coeficientes de cultivos médios (Kcm) e finais (Kcf), foram utilizadas as equações 2 e 3, propostas por Pereira e Allen (1997), que utilizam dados climáticos diários referentes à

umidade mínima e velocidade média do vento, dados referentes à altura média do dossel de plantas, conforme as equações descritas abaixo.

$$K_{cm} = K_{cm}(\text{Padrão}) + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(UR_{\text{mim}} - 45)] \cdot \left(\frac{h_1}{3}\right)^{0,3} \quad (3)$$

$$K_{cf} = K_{cf}(\text{Padrão}) + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(UR_{\text{mim}} - 45)] \cdot \left(\frac{h_2}{3}\right)^{0,3} \quad (4)$$

em que:

K_{cm} – Coeficiente de cultura médio regionalizado, Adimensional;

K_{cf} – Coeficiente de cultura final regionalizado, Adimensional;

K_{cm} (Padrão) – Coeficiente de cultura médio recomendado pela FAO segundo Doorenbos e Pruitt (1977), Adimensional;

K_{cf} (Padrão) – Coeficiente de cultura final recomendado pela FAO segundo Doorenbos e Pruitt (1977), Adimensional;

E_{To} – Evapotranspiração de referência na fase I, mm.dia⁻¹;

IE – Intervalo entre eventos de umedecimento do solo (chuva ou irrigação), dias;

U_2 – Velocidade dos ventos a 2 m de altura, m.s⁻¹;

UR_{mim} – Umidade relativa mínima, %;

h_1 – Altura média da cultura na fase II, m;

h_2 – Altura média da cultura na fase III, m.

Os valores de K_{cm} (Padrão) e K_{cf} (Padrão) foram adotados do boletim FAO 56 correspondente a cada uma das culturas estudadas. A altura das plantas nas fases II e III e o intervalo entre eventos de umedecimento adotados para cada uma das culturas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Altura de plantas nas fases II e III e intervalo entre eventos de umedecimento adotados.

Cultura	Altura média na fase II (h1)	Altura média na fase III (h2)	Intervalo entre eventos de umedecimento do solo (IE)
Soja	0,60m	0,60m	4 dias
Milho	2,00m	2,00m	4 dias
Arroz	0,95m	0,95m	4 dias
Trigo	0,90m	0,90m	4 dias
Algodão herbáceo	1,50m	1,50m	4 dias
Feijão	0,40m*	0,40m*	4 dias
Sorgo granífero	1,70m	1,70m	4 dias

*Altura máxima da cultura adotada nos Kcs (padrão) da FAO.

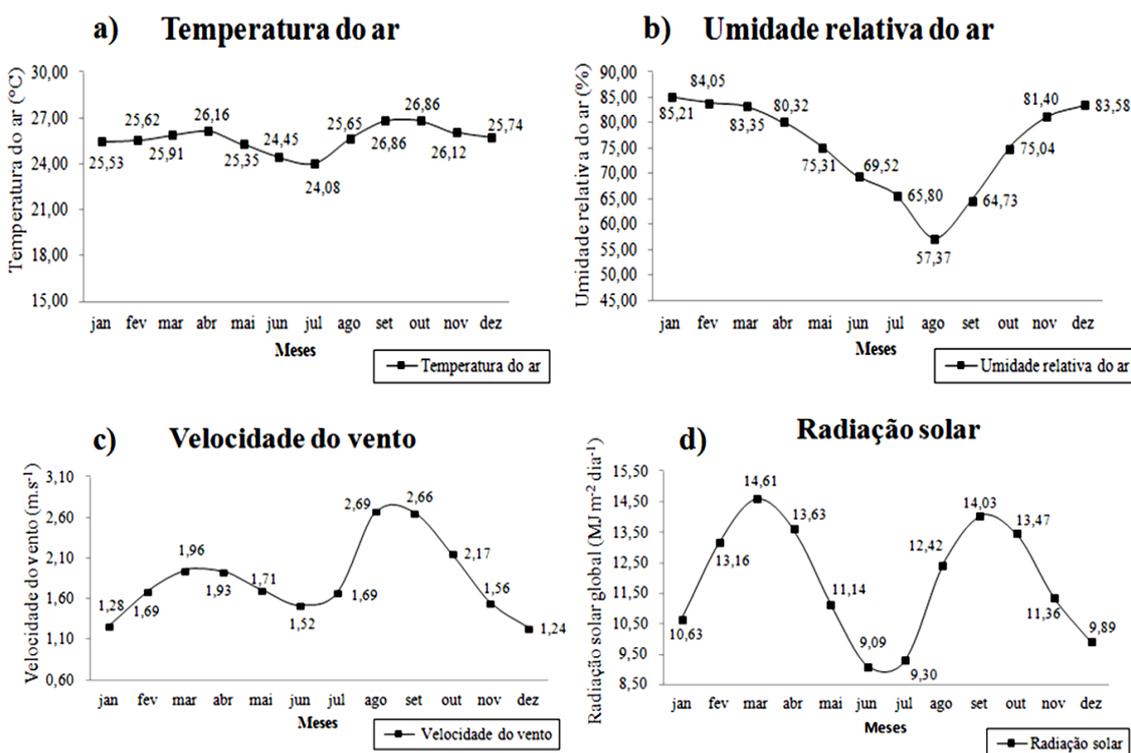
Fonte: Dados desta pesquisa.

De posse dos valores de K_c regionalizados para cada uma das culturas de interesse econômico avaliadas para a microrregião de Sinop-MT, foram geradas tabelas que apresentam esses valores para os meses mais secos do ano (maio, junho, julho e agosto), permitindo compará-los com os apresentados no boletim 56 da FAO.

Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra a variação média dos principais elementos meteorológicos utilizados para a estimativa ETo, durante o período de estudo (1990-2014). Tais elementos meteorológicos são os de maior influência na evapotranspiração de referência, pois a demanda atmosférica por vapor d'água é resultante do efeito combinado da radiação solar, da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, além disso, são essenciais para a aplicação do método de Penman-Monteith-FAO 56.

Figura 1. Variação dos principais elementos meteorológicos no período do estudo para a região de Sinop-MT (1990-2014)



Fonte: Dados desta pesquisa.

A temperatura média variou entre 24,45 e 26,86 °C e a umidade relativa do ar entre 85,21 e 57,32%. A velocidade média mensal do vento variou pouco, com valor mínimo de 1,24 m.s⁻¹ (dezembro) e máximo de 2,64 m.s⁻¹ (agosto). Já a radiação solar variou entre 9,09 MJ.m⁻².dia⁻¹ e 14,61 MJ.m⁻².dia⁻¹ (Figura 1).

Os valores de coeficientes de cultivos regionais estimados para a cultura da soja na microrregião de Sinop-MT foram de 0,86 para o Kc inicial, 1,17 para o Kc médio e de 0,52 a 0,55 para o final (Tabela 3). Nota-se que esses valores são superiores aos recomendados pela FAO, especialmente para a fase inicial, em que o Kc inicial regionalizado para a cultura foi mais que o dobro do que o sugerido pela FAO,

demonstrando a importância da calibração *in locu* de coeficientes de cultivo para condições climáticas específicas.

Tabela 3. Valores de Kc da soja recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

SOJA						
Fases do Ciclo					Início da Fase	
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (S-V2)					01/05	
Fase II - Crescimento Vegetativo (V2-R5/R6)					14/05	
Fase III - Floração, enchimento dos grãos até a maturação (R6-R8)					30/07	
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,4	1,15		0,86	1,17	
Jun		1,15			1,17	
Jul		1,15	0,5		1,17	0,52
Ago			0,5			0,55

S- Semeadura; V2- folha desenvolvida no primeiro nó acima do unifoliolado; R1- início da floração; R5-legume contendo grãos com três mm em um dos quatro nós superiores; R6- legume contendo grãos completamente desenvolvidos em um dos quatro nós superiores; R8-maturação dos grãos.

Fonte: Dados desta pesquisa.

De acordo com Farias *et al.* (2001), a cultura da soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água, que são as fases da sementeira à emergência e enchimento dos grãos. Assim, a adoção dos coeficientes de cultivo sugeridos pela FAO poderia resultar numa subestimativa da lâmina de irrigação aplicada, especialmente na fase inicial de cultivo, acarretando em perda de produtividade, pois, segundo Mundstock e Thomas (2005), a deficiência hídrica no início do ciclo da cultura da soja resulta em forte redução na emissão de novos ramos, reduzindo potencialmente o número de nós que iriam produzir legumes.

Na cultura do milho, os valores de Kc inicial, médio e final regionalizados, para todos os meses, foram maiores que os valores preconizados pela FAO, especialmente para as fases I e III, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de Kc do milho recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

MILHO						
Fases do Ciclo						Início da Fase
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (VE-V3)						01/05
Fase II - Crescimento Vegetativo (V4-V18)						31/05
Fase III - Floração, enchimento dos grãos até a maturação (VT-R5/R6)						10/07
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,3	1,20		0,86	1,29	
Jun		1,20			1,30	
Jul		1,20	0,35		1,29	0,44
Ago			0,35			0,47

VE – Emergência; V3 – terceira folha; V4 – quarta folha; V18 – décima oitava folha; VT – pendoamento; R5 – formação de dente; R6 – maturidade fisiológica.

Fonte: Dados desta pesquisa.

Os valores de Kc inicial, médio e final para a cultura do milho encontrados neste estudo, para a microrregião de Sinop-MT, foram aproximados dos valores de Kc encontrados por Silva *et al.* (2017), para o Estado do Maranhão. Souza *et al.* (2008) obtiveram valores de Kc inicial de 0,86 e médio de 1,23 por meio do método do balanço hídrico no solo para as condições edafoclimáticas de Petrolina-PE. Nota-se a mesma tendência dos valores encontrados neste estudo.

Em seus trabalhos buscando determinar o coeficiente de cultivo para o milho irrigado por aspersão, por meio da utilização de lisímetros, Bastos *et al.* (2008) encontraram valores de Kc que oscilaram entre 0,5-0,7; 1,1-1,3 e 0,6 para as fases I, II e III, respectivamente, para as condições climáticas dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí. Bezerra e Oliveira (1999), utilizando o método do balanço de água no solo com o objetivo de determinar o Kc do milho para as condições climáticas de Fortaleza, Ceará, encontraram valores de 0,73; 1,11 e 0,64 para referidas fases. A grande divergência de valores de Kc observados nos diferentes estudos demonstram a necessidade de estudos locais, uma vez que as condições climáticas e agronômicas da maioria dos cultivos são distintas em cada região do país, por isso deve-se evitar utilizar valores de referência e, quando necessário, realizar a sua estimativa regional para não sub ou superestimar as lâminas de água aplicadas às culturas agrícolas em cada região.

O valor de Kc inicial estimado para a cultura do arroz em Sinop-MT foi de 0,86 para a fase I e variou de 1,23 a 1,24 e 0,64 a 0,67, para as fases II e III, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo, para Sinop-MT, foram semelhantes aos valores recomendados por Reichardt (1987), para o manejo da irrigação na cultura do arroz. Os valores de Kc médio e final regionalizados foram maiores que os valores preconizados pela FAO (1,20 e 0,60), como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de Kc do arroz recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

ARROZ						
Fases do Ciclo					Início da Fase	
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (S1- V1)					01/05	
Fase II - Crescimento Vegetativo (V1/V2-VF4)					17/05	
Fase III - Floração, enchimento dos grãos até a maturação (R0-R6/R7)					28/07	
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	1,05	1,20		0,86	1,23	
Jun		1,20			1,24	
Jul		1,20	0,60		1,24	0,64
Ago			0,60			0,67

S1 – emergência do coleóptilo e radícula; V1 – colar formado na primeira folha do colmo principal; V2 – colar formado na segunda folha do colmo principal; VF-4 – colar formado na folha do primeiro entrenó alongado; R0 – iniciação da panícula; R6 – enchimento de grão R7 – grão maduro de casca amarela.

Fonte: Dados desta pesquisa.

De acordo com Carvalho *et al.* (2013), o coeficiente de cultivo de arroz de terras altas pode ser dividido em quatro fases: da emergência ao afilhamento, o (Kc) é de cerca de 0,58; da fase de afilhamento até a emissão da panícula, o (Kc) cresce para 0,72; da emissão da panícula ao grão pastoso, o (Kc) observado é 1,34 e para a fase final, de grão pastoso na maturidade fisiológica (Kc) diminui para 0,67. Embora os valores de Kc médio obtidos neste estudo tenham sido menores, observa-se a mesma tendência dos valores citados por esses autores e os encontrados neste estudo.

Os valores de Kc estimados para a cultura do trigo na cidade de Sinop-MT foi de 0,86 e 1,18 para as fases I e II, e variou de 0,28 a 0,32 para a fase III, e foram superiores aos valores sugeridos pela FAO, conforme os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de Kc do trigo recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

TRIGO						
Fases do Ciclo					Início da Fase	
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (G-GS19)					01/05	
Fase II - Crescimento Vegetativo, floração, enchimento dos grãos até (GS20-GS41)					18/05	
Fase III - Maturação (GS87/GS91)					30/06	
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,7	1,15		0,86	1,18	
Jun		1,15	0,25		1,18	0,28
Jul		1,15	0,25		1,18	0,28
Ago			0,25			0,32

G- Germinação; GS19- 9 ou mais folhas desenvolvidas; GS41- extensão da bainha da folha bandeira (espigamento); GS87- massa dura (com unhas do dedo); GS91- grãos duros (difícil dividir) ZADOKS; CHANG; KONZAK (1974).

Fonte: Dados desta pesquisa.

Libardi e Costa (1997), estudando o coeficiente de cultivo do trigo por meio de lisímetro de pesagem para as condições climáticas de Piracicaba-SP, obtiveram os valores de 0,29 para a fase de estabelecimento, 0,36 para o perfilhamento, 0,76 para a fase de emborrachamento, 1,11 para a fase de floração, 1,16 para a formação de grãos e 0,45 para a maturação. Nota-se que os valores de Kc encontrados por esses autores também foram diferentes dos recomendados pela FAO, o que reforça a necessidade de estudos regionais para a estimativa dos valores de Kc.

O valor de Kc inicial estimado para a cultura do algodão herbáceo em Sinop-MT foi de 0,86 para a fase I e variou de 1,26 a 1,27 e 0,56 a 0,57, para as fases II e III, respectivamente. Os valores de Kc inicial, médio e final regionalizados foram maiores que os valores preconizados pela FAO (0,35, 1,20 e 0,50), como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de Kc do algodão herbáceo recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

ALGODÃO HERBÁCEO						
Fases do Ciclo				Início da Fase		
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (V0-V2)				01/05		
Fase II - Crescimento Vegetativo, Floração, frutificação (V3/Vn; B1- Bn)				17/05		
Fase III – maturação (C-Cn)				20/06		
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,35	1,20		0,86	1,26	
Jun		1,20	0,50		1,27	0,57
Jul			0,50			0,56
Ago			0,50			0,59

V0- emergência até 1° folha verdadeira; V2- limite anterior até 3° folha verdadeira; V3- limite anterior até 4° folha verdadeira; Vn – enésima folha verdadeira (antes do aparecimento primeiro botão floral); B1- início da fase reprodutiva (1° botão floral visível), Cn- última bola do último ramo transformar-se em capulho.

Fonte: Dados desta pesquisa.

Os resultados obtidos neste estudo, para a cultura do algodão herbáceo em Sinop-MT, apresentaram a mesma tendência dos valores encontrados por Oliveira *et al.* (2013), para a cultura na região de Teresina, Piauí, que também obtiveram valores de Kc superiores aos recomendados pela FAO. Bezerra *et al.* (2012), estudando o coeficiente de cultivo do algodão herbáceo a partir de imagens de sensores orbitais para as condições climáticas de Bom Jesus da Lapa, região do Médio São Francisco, Estado da Bahia, obtiveram os valores de 0,65 para a fase I, 1,18 para a fase II e 0,66 para a fase III. Barreto, Bezerra e Silva (2003) dividiram o coeficiente de cultivo do algodão herbáceo em quatro fases, para as condições climáticas de Barreiras, Bahia: da germinação até 20 dias após a emergência (DAE) obteve um Kc de cerca de 0,45; dos 20 aos 40 (DAE), o Kc observado foi de 0,75; da floração à formação de maçãs, o Kc foi de 1,15; e na fase final, após os 80 (DAE), o Kc observado reduziu a 0,85.

O valor de Kc inicial estimado para a cultura do feijão em Sinop-MT foi de 0,86 para a fase I e variou de 1,15 a 1,16 e 0,35 a 0,39, para as fases II e III, respectivamente. O valor de Kc inicial regionalizado foi maior que o preconizado pela FAO (0,40), já os valores de Kc médio e final regionalizados foram semelhantes aos valores sugeridos pela FAO (1,15 e 0,35), como pode ser observado na Tabela 8.

Os resultados obtidos neste estudo, para Sinop-MT, apresentaram a mesma tendência dos valores encontrados por Conceição *et al.* (2016), para a cultura do feijão na região oeste do Rio Grande do Sul, visto que observaram valores de Kc que variaram de 0,57 a 0,83 para as fases iniciais e 0,31 para a fase final. Nota-se que o valor de Kc inicial para a cultura do feijão aqui obtidos situou-se próximo dos limites encontrados por Conceição *et al.* (2016), já o Kc médio e final foram aproximados dos valores recomendados no boletim FAO-56. Albuquerque *et al.* (2004) determinaram o coeficiente de cultura para feijoeiro, o Kc encontrado para a fase inicial foi de 0,83, o Kc

médio foi próximo a 1,14 e o Kc final obtido foi de 0,34, resultados semelhantes aos encontrados neste estudo. Vale ressaltar que, de acordo com Jadoski *et al.* (2003), a ocorrência de deficiência hídrica na cultura do feijoeiro na fase reprodutiva afeta principalmente a redução no rendimento de grãos ocasionada pela alta taxa de abortamento de óvulos, afetando o número de grãos por vagem.

Tabela 8. Valores de Kc do feijão recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

FEIJÃO						
Fases do Ciclo (Precoce)					Início da Fase	
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (V0-V3)					01/05	
Fase II - Crescimento Vegetativo (V4-R5)					26/05	
Fase III - Floração, enchimento dos grãos até a maturação (R6-R8/R9)					19/06	
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,40	1,15		0,86	1,16	
Jun		1,15	0,35		1,15	0,35
Jul			0,35			0,36
Ago			0,35			0,39

V0 – germinação; V3- primeira folha trifoliada aberta e plana; V4- terceira folha trifoliada aberta e plana; R5- primeiro ráculo floral nos nós inferiores (pré-floração); R6 - primeira flor aberta (floração); R8 - enchimento dos grãos; R9 - maturação.

Fonte: Dados desta pesquisa.

O valor de Kc inicial estimado para a cultura do sorgo granífero em Sinop-MT foi de 0,86 para a fase I e variou de 1,17 a 1,18 e 0,62 a 0,65, para as fases II e III, respectivamente, e foram diferentes dos valores sugeridos pela FAO. Os valores de Kc inicial, médio e final regionalizados, para todos os meses, foram maiores que os valores preconizados pela FAO (0,30, 1,10 e 0,55), como pode ser observado na Tabela 9.

Oliveira *et al.* (2014), estudando o coeficiente de cultivo da cultura do Sorgo granífero por meio de lisímetro de pesagem para as condições climáticas do semiárido brasileiro, obtiveram os valores de 0,77 para a fase inicial, 0,93 para a fase vegetativa, 1,36 para a fase de floração e formação de grãos e 1,06 para a maturação fisiológica. Os maiores valores de Kc encontrados por esses autores para a cultura do sorgo, em relação aos recomendados pelo Boletim FAO 56 e os obtidos neste estudo, se justificam pelo fato das condições de elevada demanda evapotranspirométrica do semiárido brasileiro associado ao alto metabolismo da planta nessas condições climáticas.

Tabela 9. Valores de Kc do sorgo granífero recomendados pela FAO e regionalizados para a cidade de Sinop-MT

SORGO GRANÍFERO						
Fases do Ciclo						Início da Fase
Fase I - Plantio até o estabelecimento da cultura (E0-E1)						01/05
Fase II - Crescimento Vegetativo (E2-E4/E5)						23/05
Fase III - Floração, enchimento dos grãos até a maturação (E6-E8/E9)						29/06
Mês	Kc (FAO) Ciclo da Cultura			Kc (Regionalizado) Ciclo da Cultura		
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase I	Fase II	Fase III
Mai	0,30	1,10		0,86	1,17	
Jun		1,10	0,55		1,18	0,63
Jul		1,10	0,55		1,17	0,62
Ago			0,55			0,65

E0- surgimento do coleóptilo na superfície do solo; E1- colar ou cartucho da 3ª folha visível (10 dias após a emergência); E2- colar ou cartucho da 5ª folha visível; E4-visível a última folha e alongamento do colmo; E5- todas as folhas completamente desenvolvidas apresentando máxima área foliar; E6- 50% de floração; E8- grão pastoso; E9- maturação fisiológica.

Fonte: Dados desta pesquisa.

Os valores de Kc obtidos neste estudo poderão contribuir para uma estimativa racional do consumo de água das culturas de interesse econômico para a microrregião de Sinop-MT, servindo de referência para técnicos e produtores rurais no manejo da irrigação.

Pode-se verificar, ao analisar os dados, que os valores de Kc sugeridos pela FAO para as culturas da soja, milho, trigo, algodão herbáceo, feijão e sorgo granífero, quando comparados com os valores de Kc regionalizados obtidos neste estudo, foram menores para as fase I, II e III, que correspondem a todas as fases de desenvolvimento vegetativo até a maturação. Desse modo, se esses valores fossem adotados para as condições climáticas de Sinop-MT, poderia haver uma subestimativa da lâmina aplicada e essas culturas certamente passariam por estresse hídrico em todas as fases de desenvolvimento, acarretando reflexos negativos na produção final. Já para a cultura do arroz, o valor de Kc sugerido pela FAO foi superior na fase I, o que resultaria na superestimativa da lâmina de água aplicada, o que poderia favorecer a lixiviação de nutrientes, gastos desnecessários com energia elétrica e mão de obra. Silva *et al.* (2017) e Silva, Borges e Albuquerque (2014) observaram em seus estudos que os valores do coeficiente de cultivo recomendados pela FAO para a cultura da cana-de-açúcar não são apropriados para regiões tropicais, necessitando de ajustes para ser aplicado às condições climáticas locais. Busato e Busato (2011), em seus estudos sobre o coeficiente de cultivo da videira no Estado do Espírito Santo, não observaram diferenças entre os valores obtidos e os propostos no Boletim FAO, entretanto chamaram a atenção para o fato de que os valores de coeficientes de cultivo devem ser corrigidos para as condições climáticas locais, antes de sua aplicação no campo, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura.

Os dados de coeficientes de cultivos para essas culturas de interesse econômico para Sinop-MT obtidos neste estudo podem ser considerados representativos, pois foram estimados com base no método padrão de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO). A FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) e a ICID (International Commission of Irrigation and Drainage) adotaram este método como padrão para a estimativa da ETo, devido a sua formulação técnica e aos excelentes resultados obtidos nas mais distintas condições climáticas (BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2005). Segundo Carvalho *et al.* (2011), o método Penman-Monteith-FAO é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), pois, além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície.

Conclusões

Os valores de Kc regionais estimados neste estudo foram diferentes dos preconizados pela FAO para as diferentes culturas estudadas em suas diferentes fases de desenvolvimento;

Nas fases I, II e III, a maioria das culturas apresentaram valores de Kc maiores quando comparados com os sugeridos no boletim 56 da FAO e certamente essas culturas passariam por um estresse hídrico, acarretando reflexos negativos na produção final.

Os resultados encontrados nesta pesquisa reforçam a necessidade de estudos locais dos valores de Kc utilizados na estimativa do consumo de água das culturas agrícolas.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. E. P. *et al.* Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **Revista ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.52/53, p.49-57. 2001. Disponível em:
<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=347195&biblioteca=vazio&busca=assunto:Cultivo&qFacets=assunto:Cultivo&sort=&paginacao=t&paginaAtual=266>. Acesso em: 05 jan. 2018.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, D. P. Gestão da água na agricultura: Coeficientes de cultivo (Kc) e de tanque classe A (Kp). **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, ABID, n.63, p.12-19, 2004. Disponível em:
<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=488422&biblioteca=vazio&busca=assunto:Irriga%C3%A7%C3%A3o&qFacets=assunto:Irriga%C3%A7%C3%A3o&sort=&paginacao=t&paginaAtual=21>. Acesso em: 11 jan. 2018.
- ALLEN, R.G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO-irrigation and drainage paper, 56).

ANDRADE, A.R.S. *et al.* Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para diferentes fases de desenvolvimento da melancia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.5, p.1417-1429, set. 2013. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; DE FIGUEIREDO, E. P. Determinação do coeficiente de cultivo (kc) do Capim Tanzânia irrigado no norte de Minas Gerais. **Revista Irriga**, Botucatu, p. 11-20, 2015. Edição Especial Irriga & Inovagri. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2032>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BASTOS, E. A. *et al.* Coeficiente de cultivo do milho nos Tabuleiros Litorâneos do Piauí. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2008, Londrina-PR. **XXVII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Londrina-PR: Embrapa Milho e Sorgo/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2008. p. 1-5. Disponível em:

<http://www.cpamn.embrapa.br/soloaguaclima/doc/EdsonBastos/RE3.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, A. A. G. Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no coeficiente da cultura (K_c) para Barreiras – BA. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 4., 2003. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa Algodão. 2003. CD-ROM. Disponível em:

http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba4/187.pdf. Acesso em: 11 jan. 2018.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MONTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFLA, 2005. 625p.

BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura para o milho em Fortaleza, CE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n.1, p. 08-17, 1999.

BEZERRA, M. V. C. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 64-71, jan-mar, 2012. Disponível em:

<http://www.redalyc.org/html/1953/195320077008/>. Acesso em: 11 jan. 2018.

BUSATO, C.C.M.; BUSATO, C.; Evapotranspiração da videira em Santa Teresa, ES: coeficiente de cultura “único” padrão boletim FAO 56. **Revista Verde**, v.6, n.4, p. 251 – 257. out/dez. 2011. Disponível em:

<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/682>. Acesso em: 11 jan. 2018.

CARVALHO, D. F. *et al.* Demanda hídrica do milho de cultivo de inverno no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1,

p.112–118, jan/mar. 2006. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a17.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2018.

CARVALHO, I. R. *et al.* Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, 2013. Disponível em:
<http://conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRICA.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

CARVALHO, L. G. *et al.* Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/2530/253020125020.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

CONCEIÇÃO, C. G. *et al.* Coeficientes de cultura (kc) do feijoeiro comum irrigado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 3, 2016. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/30553cfd5da734f87ad37b74fa24eb57/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2033446>. Acesso em: 11 jan. 2018.

FARIAS, J. R. B. *et al.* Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n. 3, p.415-421. 2001. Disponível em: <http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap4.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

JADOSKI, S. O. *et al.* Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Revista Irriga**, v.8, p.1-9, 2003. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/268430080_MANEJO_DA_IRRIGACAO_PARA_MAXIMIZACAO_DO_RENDIMENTO_DE_GRAOS_DO_FEIJOEIRO. Acesso em: 11 jan. 2018.

LIBARDI, V. C. M.; COSTA, M. B. Consumo d'água da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L.) **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 4, n. 1, p. 16-23. 1997. Disponível em:
<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/view/1962>. Acesso em: 11 jan. 2018.

LYRA, G.B. *et al.* Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Irriga**, v. 17, n. 1, p. 102-113, jan/mar. 2012. Disponível em:
<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/390>. Acesso em: 07 abr. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2012v17n1p102>

MENDONÇA, J. C. *et al.* Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 471-475, 2007. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n5/v11n05a04.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. Soja: fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos. Porto Alegre, Evangraf, 2005. 31p. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). **Relatórios**. Disponível em: <https://www.fao.org.br/ultimosRelatoriosFao.asp>. Acesso em: 11 jan. 2018.

OLIVEIRA, A. F. M. *et al.* Necessidades hídricas e desenvolvimento do sorgo nas condições do semiárido brasileiro. **II INOVAGRI International Meeting**, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269046860_Necessidades_Hidricas_e_Desenvolvimento_do_Sorgo_nas_Condicoes_do_Semiarido_Brasileiro. Acesso em: 11 jan. 2018.

OLIVEIRA, S. R. M. *et al.* Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 7, n. 3, p. 191-200, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86229/1/InovareAderson.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2018.

PEREIRA, L.S; ALLEN, R.G.; Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.3, n.4, p.118-143, set/dez. 1997.

REICHARDT, K. **Relações solo-água-plantas para algumas culturas**. São Paulo: Manole, 1987. p.157-71.

SILVA, V. P. R.; BORGES, C.J.R.; ALBUQUERQUE, W.G.; Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina**, v. 35, n. 2, p. 625-632, mar/abr. 2014. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/12734>. Acesso em: 31 dez. 2017.

SILVA V. P. R.; TAVARES A. L; SOUSA I. F. 2013. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. **Horticultura Brasileira**, v.31, n.2, p.255-259.2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v31n2/13.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2018.

SILVA, W. A. *et al.* Crop coefficient regionalization for irrigated agriculture planning in maranhão state-Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 953-960, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162017000500953. Acesso em: 04 jan. 2018.

SOUSA, I. F. *et al.* Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.633-644, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n6/a10v14n6.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2018.

SOUZA, L. S. B. *et al.* Determinação do coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de semiárido brasileiro. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 16., 2010, Belém, PA. A Amazônia e o clima global: **Anais...** Belém, PA: SBMET, 2010. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/871066>. Acesso em: 01 jan. 2018.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed research**, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974. Disponível em:
http://old.ibpdev.net/sites/default/files/zadoks_scale_1974.pdf. Acesso em: 11 dez. 2017.