Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

USO DO MODELO AQUACROP PARA O FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM CASTANHAL-PA

VIEIRA, Igor Cristian de Oliveira - cristianigor67@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

NUNES, Hildo Giuseppe Garcia Caldas - garibalde13@gmail.com
Museu Paraense Emilio Goeldi / MPEG

SOUSA, Denis de Pinho - denisdepinho@agronomo.eng.br
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

COSTA, Deborah Luciany Pires - deborahpires.agro@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

PINTO, João Vitor de Nóvoa - jvitorpinto@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

FARIAS, Vivian Dielly da Silva – viviandielly19@yahoo.com.br
Universidade Federal do Pará / UFPA

FERREIRA, Bruno Gama - bruno12014ferreira@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

TEIXEIRA, Erika de Oliveira - eriikateixeira@hotmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

MARTINS, Carmen Grasiela Dias - grasi.dias95@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

SILVA, Matheus Yan Freitas - matheus.yan.silva@gmail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

SOUZA, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de - paulojorge_oliveira@globomail.com
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA

Submetido em: 27/12/2019
Aceito para publicação em: 19/10/2020
Publicado em: 05/11/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70997

RESUMO: O feijão-caupi possui grande importância socioeconômica para a população, principalmente a de baixa renda. O modelo AquaCrop foi calibrado e validado para analisar a sua eficiência na simulação do teor de água no solo, produção de biomassa e produtividade do feijão-caupi sob diferentes disponibilidades hídricas no nordeste paraense. O experimento foi realizado na fazenda escola da UFRA-Castanhal, com a cultivar BR3-Tracuateua submetida a quatro tratamentos (T_{100}, T_{50}, T_{25} e T_0), correspondentes à porcentagem de reposição da água perdida pela (ETc) durante a fase reprodutiva, em seis blocos ao acaso. Para a parametrização e calibração do modelo foram utilizados dados coletados em campo nos anos agrícolas de 2015/2016, e o desempenho foi avaliado pelos parâmetros estatísticos (RMSE, R^2, d, c e Ef). O modelo subestimou a biomassa dos tratamentos (T_{50}, T_{25} e T_0), entretanto a biomassa simulada apresentou alta correlação com a observada em todos os tratamentos, bem como um alto índice de desempenho. No geral, o modelo simulou bem a produtividade nos diferentes tratamentos e seus valores apresentaram alta correlação com os dados observados (R^2 = 0,99), demonstrando um ótimo desempenho na simulação da produtividade do feijão-caupi (c = 0,98). O desempenho diminuiu em decorrência da lâmina aplicada ($T_{100} > T_0$), não afetando sua eficiência (Ef > 0,67), decorrente da alta correlação (R^2 > 0,74) entre os valores observados e simulados e pelos erros de

estimativa (RMSE < 20%) aceitáveis, viabilizando seu uso na simulação da biomassa e rendimento, além de poder ser usado na simulação do teor de água no solo em Castanhal-PA.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Agrícola; Uso da água; Produção de biomassa; Produtividade

USE OF THE AQUACROP MODEL FOR COWPEA GROWN UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS IN CASTANHAL-PA

ABSTRACT: Cowpea has a great socioeconomic importance for the population, particularly for the low-income people. The Aquacrop model was calibrated and validated to analyze its efficiency in simulating soil water content, biomass production and grain yield under different water availability conditions in northeastern Pará. The experiment was carried out at the school farm of UFRA-Castanhal, with the BR3-Tracuateua cultivar submitted to four treatments (T_{100}, T_{50}, T_{25} and T_0), each corresponding to the replacement of water lost by (ETc) during the reproductive phase, in six randomized blocks. For the parameterization and calibration of the model, data collected in field in the 2015/2016 crop year were used, and the performance was measured by statistical parameters (RMSE, R², d, c and Ef). The model underestimates the biomass of the treatments (T_{50}, T_{25} and T_0), however the simulated biomass showed a high correlation with the observed data in all treatments, as well as a high performance index. In general, the model is good at simulating yield in the different treatments and the simulated yield has high correlation with the observed data (R^2 = 0.99), which demonstrates an excellent performance in simulating cowpea productivity (c = 0.98). The performance decreased due to the irrigation depth ($T1_{00}$> T_0), without affecting its efficiency (Ef> 0.67), due to the high correlation (R²> 0.74) between observed and simulated values and acceptable (RMSE < 20%) estimation errors, which allows its use in the simulation of biomass, yield, and soil water content in Castanhal-PA.

KEYWORDS: Agricultural Modeling; Use of water; Biomass production; Productivity.

USO DEL MODELO DE ACUICULTURA PARA CAUPÍ CULTIVADO BAJO DIFERENTES PROFUNDIDADES DE RIEGO EN CASTANHAL-PA.

RESUMEN: El caupí tiene una gran importancia socioeconómica para la población, especialmente los de bajos ingresos. El modelo AquaCrop fue calibrado y validado para analizar su eficiencia en la simulación del contenido de agua del suelo, la producción de biomasa y el rendimiento de caupí bajo diferentes disponibilidad de agua en el noreste de Pará. El experimento se llevó a cabo en la granja escolar de UFRA-Castanhal, con el cultivar BR3-Tracuateua sometido a cuatro tratamientos (T_{100}, T_{50}, T_{25} y T_0), correspondientes a la sustitución del agua perdida por (ETc) durante la fase reproductiva, en seis bloques por si caso. Para la parametrización y calibración del modelo, se utilizaron los datos recopilados en el campo en los años agrícolas de 2015/2016. Su desempeño fue evaluado por parámetros estadísticos (RMSE, R², d, c y Ef), y el rendimiento subestimó la biomasa de los tratamientos (T_{50}, T_{25} y T_0), sin embargo, la biomasa simulada mostró una alta correlación con la observada en todos los tratamientos, así como un alto índice de rendimiento. En general, el modelo simuló bien la productividad en los diferentes tratamientos y sus valores mostraron una alta correlación con los datos observados (R^2 = 0.99), demostrando un excelente desempeño en la simulación de caupí (c = 0.98). El rendimiento disminuyó debido a la cuchilla aplicada (T_{100}> T_0), sin afectar su eficiencia (Ef > 0.67), debido a la alta correlación (R² > 0.74) entre los valores observados y simulados y los errores de estimación (RMSE < 20%) aceptable, lo que permite su uso en la simulación de biomasa, rendimiento y puede utilizarse en la simulación del contenido de agua del suelo en Castanhal-PA.

PALABRAS CLAVE: Modelización agrícola; Uso de agua; Producción; Productividad de biomasa.

INTRODUÇÃO

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp.), comumente chamado de feijão de corda ou feijão macassar, é uma leguminosa que tem uma grande importância na alimentação básica da população, devido seu alto valor nutritivo sendo fonte de fibras, proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais (COFFIGNIEZ et al., 2018), além de exercer um grande papel na economia, sendo uma importante fonte de renda, sobretudo nas regiões norte e nordeste (FREIRE FILHO, 2011) pelo fato de possuir grande adaptabilidade que influencia na boa aceitação pelos produtores (SILVA et al., 2017).

No estado do Pará a safra de 2016/2017 de feijão-caupi ocupou uma área de 28,3 mil hectares, com plantios essencialmente em regime de sequeiro cuja produção atingiu 24,5 mil toneladas e um rendimento médio de 866 kg-ha^{-1} (CONAB, 2017). A variabilidade climática e o manejo inadequado têm afetado a produção do feijão-caupi nas principais regiões de cultivo, destacando-se a escassez cada vez maior dos recursos hídricos e o aumento no consumo de alimentos, os quais exigem um rendimento máximo das culturas (COSTA, 2016). Desta forma, ferramentas como sistemas de irrigação e seu manejo adequado tornam-se um fator importante para ganhos de produtividades das culturas (LINO et al., 2014; SOUZA et al., 2017).

As variáveis climáticas afetam diretamente o desenvolvimento da cultura e a precipitação é um grande fator limitante, pois restringe seu cultivo somente no período de maior oferta de água inviabilizando seu plantio em outras épocas, pois mesmo possuindo grande adaptabilidade climática, a cultura possui períodos críticos como na fase reprodutiva que exige maior demanda hídrica (FERNANDES et al., 2015).

Outra forma de auxiliar no melhor manejo das culturas e na previsão dos rendimentos é a utilização de modelos de simulação de produtividade, os quais permitem a previsão do desenvolvimento da cultura antes e/ou durante sua implantação no campo, auxiliando também nas tomadas de decisão no campo (MARTINS et al., 2014). Deste modo, é possível agrupar técnicas e insumos mais apropriados diminuindo os custos de implantação, mão de obra, tempo e a realização de testes sequenciais (SENTELHAS et al., 2001; MELLO; CAIMI, 2008).

Um modelo que vem sendo amplamente utilizado para diversas culturas é o modelo Aquacrop (RAES et al., 2012), que foi desenvolvido pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e possui um equilíbrio entre a precisão, simplicidade e robustez necessária em estudos de modelagem. O mesmo permite simular, por exemplo, a produção potencial da cultura em função de várias condições hídricas através do direcionamento do balanço de água no solo (PAREDES et al., 2014).

Logo, este trabalho teve como objetivo analisar a eficiência da simulação da produção de biomassa e da produtividade do feijão-caupi com o uso do modelo Aquacrop sob diferentes disponibilidades hídricas durante sua fase reprodutiva, ao longo de duas safras nas condições climáticas no nordeste do estado do Pará.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na fazenda escola da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no município de Castanhal-PA (1°19'24.48"S, 47°57'38.20"W, 41 metros de altitude) entre os meses de setembro e novembro de 2015 e de setembro a novembro de 2016. O clima da região, segundo a classificação de Koppen é do tipo Af (ALVARES et al., 2013) , com total de chuva anual em torno de 2626 mm, temperatura média anual de 26°C e temperatura máxima e mínima correspondente a 35 e 18°C, respectivamente, com elevados valores de umidade relativa do ar, apresentando máxima e mínima de 95 e 79%, respectivamente, conforme observado por Farias et al. (2017).

As análises de solo foram realizadas no laboratório de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL) utilizando amostras de solo com estrutura indeformada (Tabela 1) sendo classificado como Latossolo amarelo distrófico (LIMA et al., 2016) de textura franco arenosa (RAMOS et al., 2016), com 12% de argila. Foram utilizadas funções de pedotransferência para obtenção dos valores de condutividade hidráulica saturada ($K_{SAT,}$ cm d^{-1}), considerando dados de entrada de matéria orgânica, densidade e textura, das camadas do solo (SAXTON; RAWLS, 2006; RAMOS et al., 2014). As características físico-hídricas do solo e profundidade efetiva da raiz (0,40 m) foram utilizadas para calcular a capacidade de água disponível no solo (CAD, mm).

Tabela 1 - Propriedades texturais e hidráulicas do solo na área experimental. Teor de água no solo na saturação (θSAT, cm^3 cm^{-3}), na capacidade de campo (θCC, cm^3 cm^{-3}), no ponto de murcha permanente (θPMP, cm^3 cm^{-3}) e capacidade de água disponível.

	Camada do solo (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	θ_{SAT} (cm^3 cm^{-3})	θ_{CC} (cm^3 cm^{-3})	θ_{PMP} (cm^3 cm^{-3})	K_{SAT} (cm d^{-1})	CAD (mm)
Fazenda Escola Castanhal	0,0-0,20	80	12	8	0,29	0,22	0,11	105	68
	0,20-0,40	71	13	16	0,31	0,22	0,10	26	

Foram realizadas duas adubações, sendo a primeira durante o plantio com a aplicação total da recomendação de nitrogênio e fosforo e com 50% da recomendação de potássio, já a segunda adubação foi realizada 30 dias após a semeadura (DAS) aplicando apenas a adubação com os 50% restante da demanda de potássio, seguindo as orientações do laboratório da EMBRAPA para o feijão-caupi, sendo aplicado 0-60-45 kg ha^{-1} de NPK para o primeiro ano e 9-18-15 kg ha^{-1} de NPK para o segundo ano de experimento.

Uma torre micrometeorológica de 3 metros de altura foi instalada no centro da área experimental, correspondente a 1,5 ha, equipada com diversos sensores (tabela 2), os quais foram conectados a um datalogger CR10X (Campbell Scientific Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific Inc.) que realizavam leituras a cada 10 segundos e armazenavam os seus valores médios a cada 10 minutos. As variáveis meteorológicas monitoradas no experimento foram utilizadas para o acompanhamento das condições de tempo durante o experimento de campo e para a obtenção de alguns parâmetros agrometeorológicos da cultura a serem inseridos no modelo Aquacrop.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 2 – Variáveis e instrumentos utilizados no experimento e sua disposição em relação ao solo.

Variáveis meteorológicas	Instrumento, fabricante, modelo	Disposição no solo
Temperatura do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade relativa do ar	Vaisala thermohygrometer (HMP35A)	2,0 (m)
Umidade do solo	Time Domain Reflectometer	- 0,3 (m)
Chuva	Rain gauge TB4	1,8 (m)
Radiação PAR incidente e refletida	Quantum sensor LI-COR (LI-190)	1,8 (m)
Radiação PAR transmitida	Quantum sensor-linear	Superfície do solo

A cultivar utilizada foi a BR3-Tracuateua que possui um ciclo de 60 a 70 dias, escolhida por ser a mais produzida por agricultores da região e a mais recomendada (FREIRE FILHO et al., 2009). As semeaduras ocorreram no início do período menos chuvoso e foram realizadas no dia 23 de setembro de 2015 e 17 de setembro de 2016.

Foi adotado um delineamento experimental em blocos ao acaso, contendo seis blocos com parcelas medindo 22 x 24 metros e quatro tratamentos em cada parcela, separadas por uma bordadura de 2 metros, sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo durante a fase reprodutiva do feijão-caupi. A distribuição da lâmina de água foi realizada por um sistema de irrigação por gotejamento, com uma vazão de 1,00 L h^{-1} em ambos os anos experimentais e uma pressão de serviço de 5 mca, sendo cada emissor espaçado a 20 cm.

Os tratamentos iniciaram durante a fase reprodutiva (R5) correspondentes aos 36° dia após a semeadura (DAS) do feijão-caupi, nos dois anos de experimento, pois é a fase mais sensível à falta de água (SOUZA et al., 2017), e prolongaram-se até o início da fase de maturação dos grãos (R9) que foi atingida aos 63 e 61 DAS, em 2015 e 2016, respectivamente. Durante a fase vegetativa foi aplicada a mesma lâmina de água com 100% de reposição da água perdida pela planta para todos os tratamentos. A lâmina bruta (LB) foi calculada e aplicada diariamente em ambos os anos (equação 1), levando em consideração a lâmina liquida (LL) e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação adotado.

A lâmina liquida de água foi obtida através do cálculo da evapotranspiração de referência (ETo, mm dia^{-1}) (ALLEN et al., 1998) com dados da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a 2 km do experimento. A evapotranspiração da cultura (ETc, mm dia^{-1}) foi obtida através da multiplicação da ETo com o coeficiente de cultura (Kc) de cada fase do feijão-caupi, utilizando valores de Kc sugeridos por Bastos et al. (2008). Estes valores foram usados no cálculo da lâmina bruta a ser aplicada em cada tratamento adotado.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A irrigação foi realizada diariamente baseados no valor de evapotranspiração de cultura (ETc), sendo utilizada para o cálculo da lâmina de irrigação na equação 1.

$$LB = (ETc - PP) * ef \quad (1)$$

Onde:

- LB - Lâmina bruta de irrigação (mm);
- PP – Precipitação (mm);
- ef – Eficiência do sistema (%).

Para determinação do tempo de irrigação de cada tratamento foi estimado pela equação 2.

$$TI = \frac{LB}{IA} \quad (2)$$

Onde:

- TI – Tempo de irrigação (h);
- LB – Lâmina Bruta de irrigação (mm);
- IA – Intensidade de aplicação de água (mm h-1).

Foram adotados quatro tratamentos em que, o tratamento T_{100} repôs 100% da água (irrigação + chuva) perdida pela cultura; o T_{50} repôs 50% da água (irrigação + chuva) perdida; o T_{25} representa 25% de reposição (irrigação + chuva); e T_0 não houve reposição por meio da irrigação na fase reprodutiva. Para a garantia de não haver entrada de água por meio da chuva no tratamento T_0 durante esta fase, foram construídas coberturas moveis de polipropileno transparente de 100 microns e montadas sobre todos os blocos, sempre que havia risco de precipitação, sendo as mesmas retiradas logo após seu término.

O T_0 foi considerado como tratamento controle devido a produção de feijão-caupi no estado ser realizada em sistema de sequeiro (FREIRE FILHO et al., 2009). A umidade do solo (US, cm^3 cm^{-3}) em todos os tratamentos foi medida com o uso do aparelho refletômetro com domínio temporal (TDR), estes valores auxiliaram na manutenção dos tratamentos.

A aplicação da lâmina de água nos experimentos foi controlada em função do tempo, utilizando manômetros, registros, cronômetros e de acordo com a vazão dos emissores. O desempenho do sistema foi avaliado por meio de avaliações hidráulicas baseado na metodologia de Bernardo et al., (2006). Foi aplicada esse método em todos os blocos e tratamentos, com o uso de recipientes coletores (1000ml) distribuídos no início, meio e fim das linhas de irrigação, totalizando 196 coletores na área experimental contabilizando um período de 20 minutos e com duas repetições.

A coleta de biomassa da parte aérea (B, kg ha^{-1}) foi iniciada quando a planta apresentou a sua primeira folha trifoliolada aos 14 dias após a semeadura (DAS) em 2015 e aos 15 DAS em 2016, sendo selecionadas aleatoriamente cinco plantas (0,5 metros lineares) em cada tratamento em intervalo semanal. Estas amostras foram divididas em folhas, hastes (pecíolo, pedúnculo e caule) e

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

legumes (grãos e vagens quando presentes), e posteriormente colocadas em estufa até atingir o peso constante (72 horas) e pesadas em balança digital, com precisão de 0,001 g.

A análise de produtividade foi realizada aos 63 DAS em 2015 e aos 73 DAS em 2016, quando 90% das plantas encontravam-se em estádio de maturação fisiológica (R9). Para tal, três linhas centrais de 2 metros lineares foram selecionadas no início do experimento e isoladas para a coleta e contagem dos grãos e das vagens. Foi obtido o peso fresco das amostras e o peso de 100 grãos (quando existiam) com o uso de balança de precisão (0,001 g), para o peso seco constante (72 horas), da matéria seca total (MSt) (biomassa acima do solo e rendimento, kg ha^{-1}) foi utilizada estufa aerada a 70°C e posteriormente pesadas novamente.

Para a simulação do rendimento (Y, kg ha^{-1}) do feijão-caupi foi utilizado o modelo AquaCrop versão 5.0, que integra os conhecimentos atuais das respostas fisiológicas das culturas em uma ferramenta que pode prever a biomassa e a produtividade das plantas em resposta à água disponível no solo através da curva de cobertura de dossel (C_{CD}, %) (RAES et al., 2012). Maiores detalhes podem ser obtidos em Raes et al., (2018).

O modelo leva em consideração três fases de desenvolvimento da cultura para a estimativa da curva cobertura de dossel (C_{CD}) ao longo do ciclo (RAES et al., 2012). A fase inicial é caracterizada pela cobertura inicial do solo (CC_o , %) após a emergência da cultura e continua até se obter metade da capacidade máxima de CC, ou seja, a cobertura máxima do solo (CC_x, %). O coeficiente de crescimento do dossel (CGC, % GDD^{-1}) é utilizado para descrever a taxa de crescimento do C_{CD} sendo representado por uma função exponencial. Esse CGC continua sendo utilizado pela função exponencial na segunda fase até a CC_x ser atingida.

Na terceira fase ocorre o início da fase de senescência com o declínio da cobertura de dossel verde da cultura onde é aplicado um coeficiente de declínio de dossel (CDC, % GDD^{-1}). É necessária a calibração dos parâmetros utilizados com base nos dados de CC observados ou utilizar uma função de decaimento exponencial para se obter um C_{CD} de IAF de folhas verdes (PAREDES et al. 2015).

Os valores de concentração média anual de CO_2 utilizados no estudo, foram oriundos da base de dados do modelo que são obtidos a partir dos registros da concentração média de CO2 na atmosfera, originadas do observatório de Mauna Loa no Havaí ou ainda para diferentes cenários de mudanças climáticas dentro do próprio modelo, onde estes valores são ajustados pelo modelo para o ano simulado (RAES et al., 2015)

Para o cálculo do teor de água no solo foram necessários dados relacionados às características do solo, descritos abaixo, e da cultura, como profundidade efetiva de enraizamento, que para o feijão-caupi foi considerada no modelo 30 cm ou 0,3 m de profundidade, com base na metodologia de (FAO 2017).

$$\mathrm{Wr} = 1000\,\theta\,\mathrm{Zr} \tag{3}$$

Onde:

- Wr – Conteúdo de água no solo da zona das raízes, expresso em profundidade (mm);

- 1000 – Conteúdo médio de água no solo para a zona de raízes (mm^{-1});
- θ – Média volumétrica do conteúdo de água na zona radicular (m^3m^3), expresso em profundidade (mm);
- Zr - Profundidade efetiva de enraizamento (m);

A biomassa seca (B, t ha^{-1}) (RAES et al., 2012) é estimada pela equação:

$$B = Ks_b\, WP^* \sum \frac{Tr_W}{ET_o} \quad (4)$$

Onde:

- WP* - Produtividade de água da cultura normalizada para a ETo e CO_2 (gramas m^{-2})
- Tr_W - Transpiração da cultura em campo infestado com plantas daninhas (mm dia^{-1}).
- ETo - Evapotranspiração de referência das culturas (poder de evaporação para a atmosfera) (mm dia^{-1}).
- Ks_b - coeficiente de estresse pela temperatura do ar (adimensional).

O AquaCrop, simula o rendimento através de uma função linear simples:

$$Y = B \cdot HI \quad (5)$$

Em que Y é o rendimento da cultura (kg ha^{-1}), B é a biomassa total (kg ha^{-1}) e HI é o índice de colheita (%) (RAES et al., 2012). Além da biomassa e produtividade, o modelo ainda simula o teor de água do solo. Para realizar a calibração e validação do modelo para a cultura do feijão-caupi foram utilizados duas séries diferentes com dados observados da cultura dos dois experimentos de campo do ano de 2015 (calibração) e 2016 (validação) descritos anteriormente, sendo que para a etapa de calibração os parâmetros foram ajustados a fim de obter respostas mais coerentes com os valores obtidos no campo.

As variáveis de entrada requeridas pelo modelo, são poucas mais bem explícitas e intuitivas, além de fácil obtenção ou determinação pelos usuários o que facilita sua utilização em diferentes locais (RAES et al., 2012). Os dados utilizados para parametrização, calibração e validação do modelo foram:

- Clima: Dados climáticos em escala diária de 2015 e de 2016 da estação automática do INMET (temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento, e radiação global). A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada conforme Allen et al. (1998) e a concentração média de CO_2 na atmosfera, foi obtida considerando o valor existente na base de dados do modelo.
- Solo: propriedades físico-hídricas (umidade de solo na capacidade de campo, umidade de solo no ponto de murcha permanente, densidade do solo, espessura do perfil, textura), referente a duas camadas (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m).

- Manejo: Data e valor da lâmina de irrigação aplicada, além de: (1) lâminas líquidas de irrigação; (2) ausência de irrigação; (3) valores de irrigação para cada tratamento (T_{100}, T_{50}, T_{25} e T_0). A geração de um cronograma de irrigação se baseou em critérios de tempo usados nos experimentos (intervalo fixo, esgotamento admissível expresso em mm ou em % de água prontamente disponível - RAW) e critérios de profundidade (reenchimento à capacidade de campo ou usando uma aplicação líquida fixa expressa em mm ou em % de RAW).
- Dados da cultura: espaçamento da cultura, data da coleta da biomassa seca e índice de área foliar, grau dias, data de semeadura, densidade de plantio.

Foi utilizada a recomendação de adubação sugerida pelo laboratório da EMBRAPA para o cultivo do feijão-caupi e pelas informações das análises químicas do solo (amostra deformada) coletadas na área de estudo, maiores detalhes desta análise ver em Farias et. al., (2017). A adubação foi dividida e realizada antes da semeadura e 30 dias após a semeadura (DAS), utilizando 0-60-45 kg ha^{-1} de NPK no primeiro ano e 0-40-45 kg ha^{-1} para o segundo de experimento. Durante os experimentos foram feitos o manejo da cultura com tratos culturais, sempre mantendo a área livre de plantas invasoras, doenças e pragas.

As simulações geradas pelo modelo foram avaliadas através do coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985), e de confiança (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), assim como o erro quadrado médio (RMSE) (LOAGUE e GREEN, 1991), e o erro absoluto médio (MAE), semelhante ao procedimento adotado por Paredes e Torres (2017) e eficiência do modelo (Ef) de Nash e Sutcliffe (PEREIRA et al., 2015; LIMA et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do ar durante o experimento 2016 (figura 1c) variou entre 22,14 a 34,64°C, com média de 27,26°C, já em 2015 (figura 1a) a temperatura variou entre 22,59 e 34,85°C, apresentando aumento médio 0,9°C em relação a 2016, aumento esse ocasionado em função do fenômeno climático do El Niño (GRIMM, 2015), que na região Amazônica acarreta redução das chuvas, e consequentemente o aumento da temperatura (SOUZA et al., 2000).

A radiação global (Rg) durante os experimentos de 2015 (figura 1a) e 2016 (figura 1c) foram de 20,61 e 19,50 MJ m^{-2} dia^{-1}. O déficit de pressão de vapor (DPV) em 2015 teve média de 0,96 kPa, já em 2016 a média foi 0,93 kPa. A ETo apresentou valores médios de 5,03 e de 4,67 mm dia^{-1} em 2015 (figura 1b) e 2016 (figura 1d), respectivamente. Em 2015 a redução das chuvas durante o experimento reduziu a nebulosidade, favorecendo valores de ETo, Rg e DPV mais elevados, quando comparado ao ano de 2016.

O total de chuva observado durante o experimento de 2016 (figura 1d) foi de 153 mm, superior aos 30 mm observado em 2015 (figura 1b), quando se verificou redução de 81% na precipitação. Durante a fase vegetativa verificou-se precipitação total de 0,0 mm em 2015 e 141 mm em 2016, enquanto na fase reprodutiva a ocorrência foi de 30 mm (2015) e de 12 mm (2016).

Durante a fase vegetativa foi aplicado o mesmo volume de água para todos os tratamentos, sendo que no ano de 2015 ao decorrer dessa fase se

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

obteve um volume de 100,35 mm e no ano de 2016 de 107,06 mm. A diferenciação das lâminas em ambos os anos se iniciou aos 35 DAS, com um volume total aplicado no final dos tratamentos de 143,26 mm (T_{100}), 71,73 mm (T_{50}) e 35,87 mm (T_{25}) no ano de 2015, em contrapartida no ano de 2016 teve um somatório de 145,94 mm (T_{100}), 72,97 mm (T_{50}) e 36,49 mm (T_{25}) ao decorrer da fase reprodutiva.

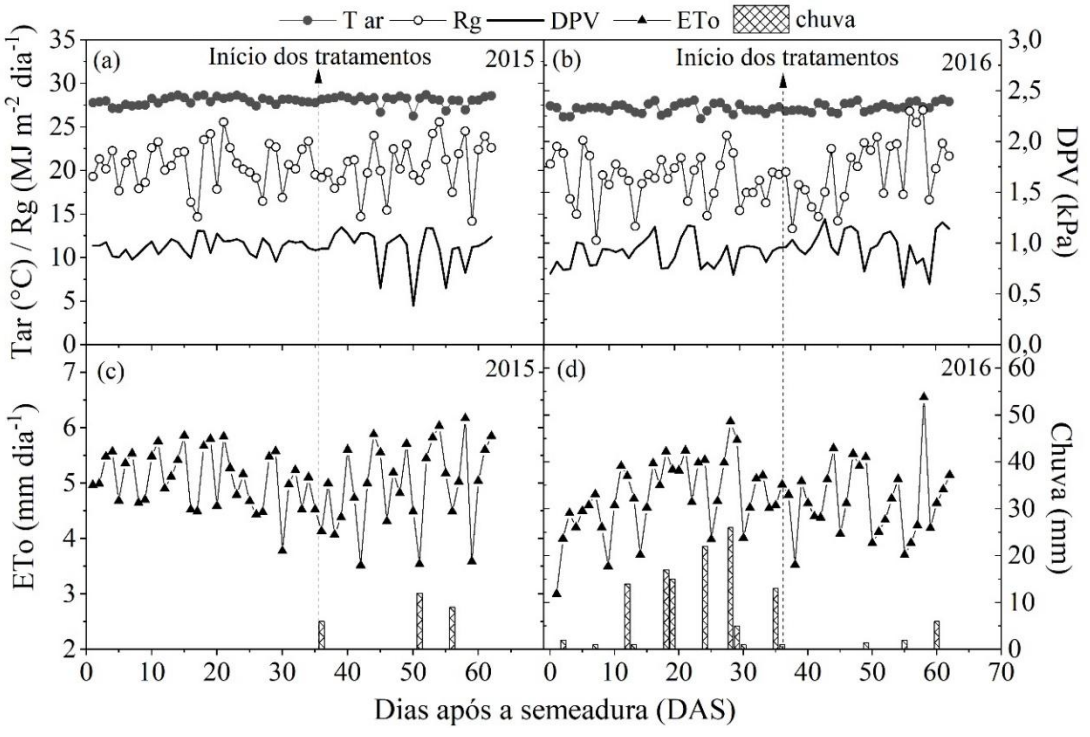

Figura 1 - Média diária da temperatura do ar, evapotranspiração de referência, déficit de pressão de vapor e radiação solar global durante o experimento com feijão-caupi nos anos de 2015 e 2016.

Durante a etapa de calibração (2015) o modelo AquaCrop apresentou bom desempenho na simulação da biomassa principalmente na fase vegetativa (até 35 DAS) para todos os tratamentos, demonstrando, porém, menor desempenho nos tratamentos com condições de limitação hídrica a partir da fase reprodutiva (figura 2). No entanto, mesmo com estas limitações, o modelo conseguiu reproduzir satisfatoriamente a diminuição da biomassa observada em campo em decorrência da redução da lâmina de água aplicada. Durante o processo de calibração o modelo apresentou erros aceitáveis (RMSE < 20%) e elevada concordância (d) para todos os tratamentos T_{100} (0,99), T_{50} (0,96), T_{25} (0,92) e T_0 (0,95).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

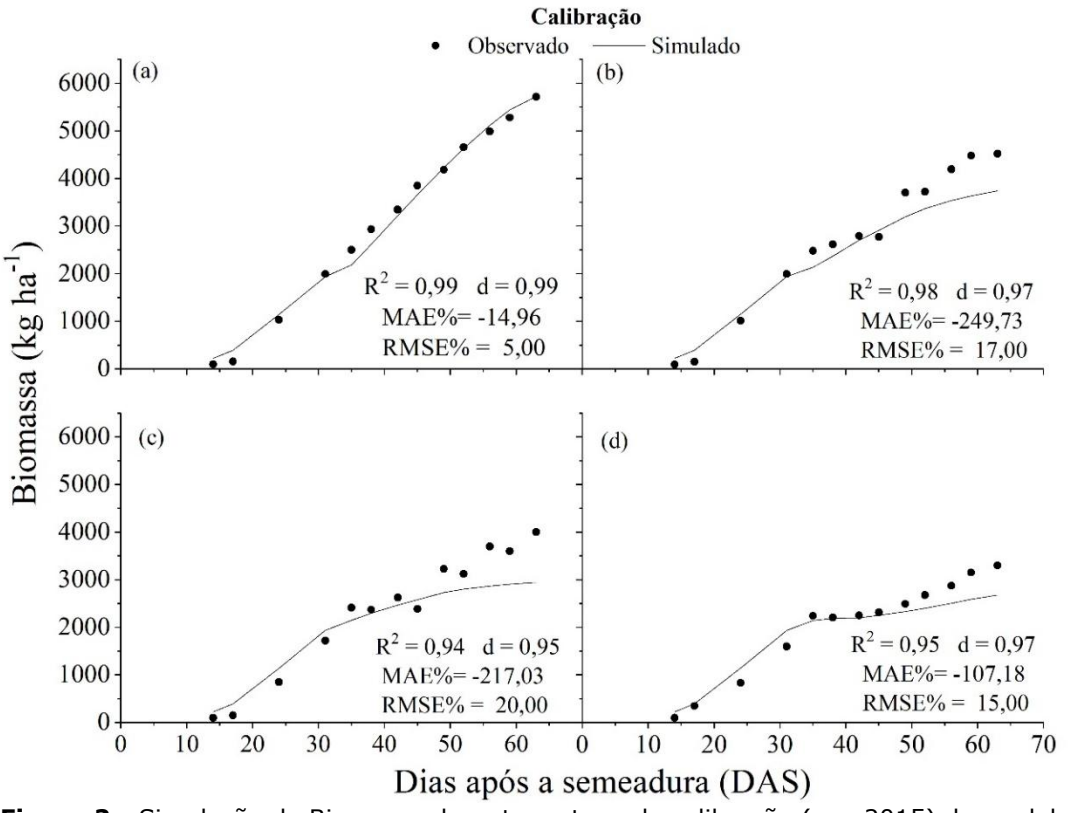

Figura 2 - Simulação da Biomassa durante a etapa de calibração (ano 2015) do modelo Aquacrop para distintas condições de disponibilidade de água: (a) T_{100}; (b) T_{50}; (c) T_{25}; (d) T_0.

Foram obtidos bons resultados na simulação do conteúdo de água no solo (Wr) durante os processos de calibração e validação (figura 3 e 4), como consequência dos bons ajustes na calibração do modelo para a simulação da curva de cobertura do dossel e das variáveis que controlam o conteúdo de água no solo. Pereira et al. (2015) afirmam a importância da boa calibração desses parâmetros para obtenção de um equilíbrio hídrico do solo pelo modelo e mensurar sua coerência por meio da dinâmica do conteúdo de água no solo.

Os erros de estimativas do Wr durante o ciclo do feijão-caupi no ano de calibração (2015) para todos os tratamentos foram baixos e aceitáveis (RSME < 4,49 % e MAE < 18,41%), sem impactar a Ef do modelo que foi superior a 0,67, chegando a 0,98 no tratamento T25, com valores de confiança (c) elevados (0,79-0,99) e de elevados valores de concordância (0,92-0,99) (figura 3).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

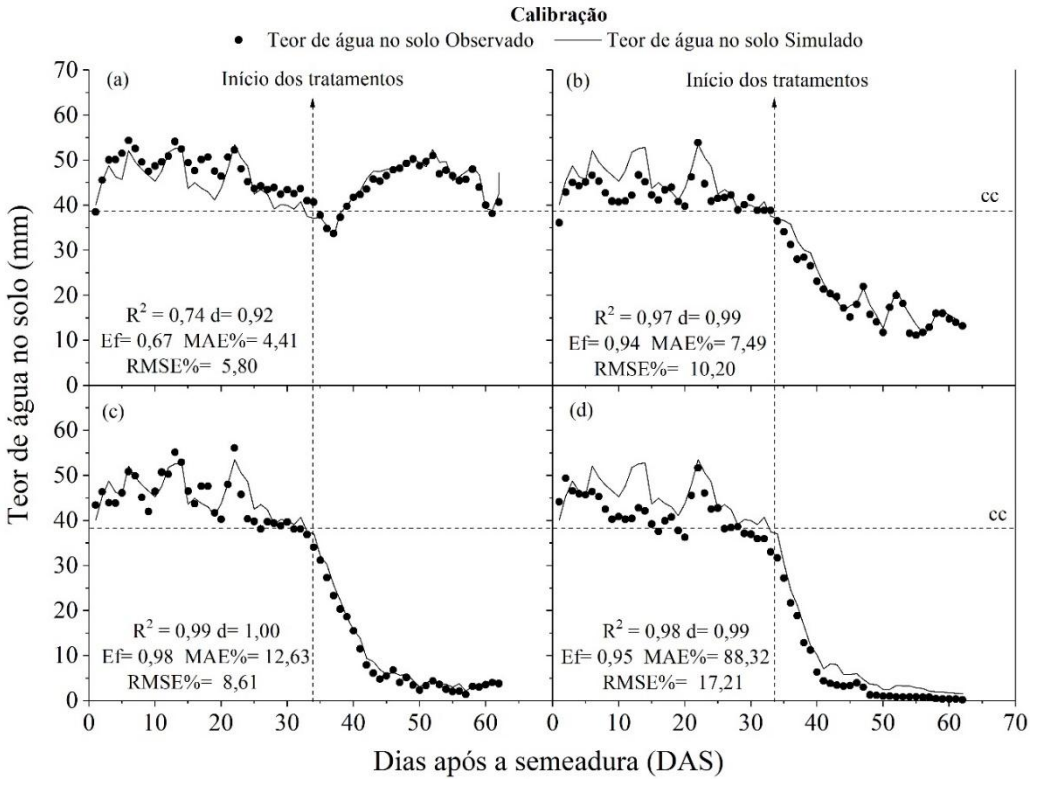

Figura 3 - Simulação do Teor de água no solo (Wr, mm) durante a etapa de Calibração (2015) do modelo Aquacrop para os tratamentos (a) T_{100}, (b) T_{50}, (c) T_{25} e (d) T_0, sendo: R^2 - coeficiente de correlação; d- índice de concordância; MAE - erro absoluto médio; RMSE - erro quadrático médio normalizado e; Ef - eficiência do modelo.

Os resultados também foram satisfatórios para a simulação do Wr durante o processo de validação (2016) apresentando erros de estimativas aceitáveis para os tratamentos T_{100}, T_{50} e T_{25} (1,75% < RMSE > 11,96% e 1,11% < MAE > 7,03%). Semelhante ao observado no processo de calibração para o tratamento T0 (figura 2d), a validação demonstrou uma tendência de superestimativa com erros superiores a 15% (RMSE = 15,18% e o MAE = 23,10%). Apesar disso, durante a etapa de validação, a eficiência do modelo na simulação do Wr não foi influenciada, obtendo valores de Ef maiores que 0,86 (Figura 4).

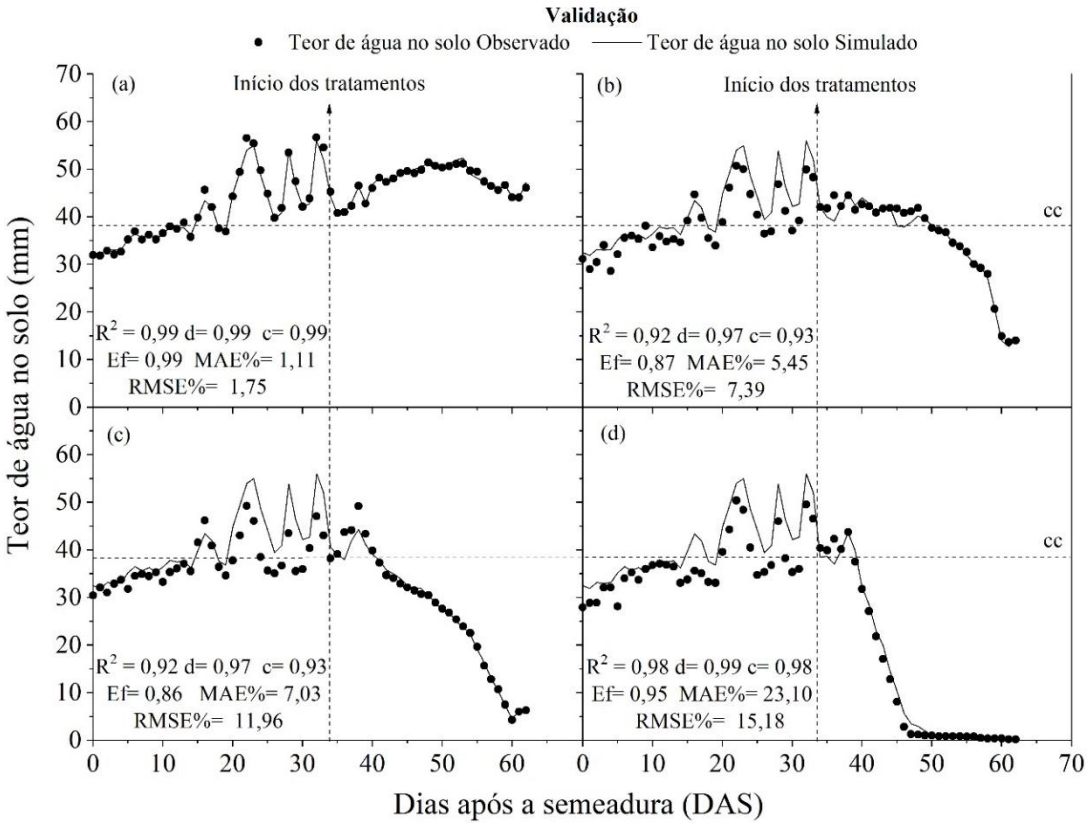

Figura 4 - Simulação do Teor de água no solo (Wr, mm) durante a etapa de validação (2016) do modelo Aquacrop para os tratamentos (a) T_{100}, (b) T_{50}, (c) T_{25} e (d) T_0, sendo: R^2 - coeficiente de correlação; d- índice de concordância; c - índice de desempenho; MAE - erro absoluto médio; RMSE - erro quadrático médio normalizado e; Ef - eficiência do modelo.

Percebe-se que o modelo conseguiu acompanhar a variação do conteúdo de água no solo observado em campo, constatando sua eficiência no auxílio no planejamento da irrigação na área estudada. Os valores de RMSE e (EF) obtidos são semelhantes aos obtidos por Paredes e Torres (2017) que trabalharam com a cultura da ervilha na região do Ribatejo em Portugal, e obtiveram boa precisão na simulação da água do solo utilizando o modelo Aquacrop, com baixos erros de estimativa com RMSE < 5% (4,4) e com eficiência de 0,78, demonstrando que o modelo consegue reproduzir satisfatoriamente as variações do teor de água no solo durante distintas safras.

Dallacort et al. (2011), por exemplo, utilizaram o modelo CS-CROOPGRO na simulação da umidade do solo durante o ciclo de feijão comum submetido à diferentes condições e lâminas de água e obtiveram resultados satisfatórios baseados no coeficiente de determinação (0,70 e 0,74), mas encontraram dificuldades em simular valores próximos aos observados. Santos et al. (2016) em Jaboticabal (SP), também utilizando modelo CS-CROOPGRO com a cultivar de feijão IAC- Carioca apresentou ineficiência na simulação do Wr, com valores de concordância variando de 0,63-0,93 para o perfil de 0-20 cm e 0,53 a 0,99 para o perfil de 20-40 com coeficiente de determinação de 0,55.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Na etapa de validação (2016) o modelo também obteve erros aceitáveis (11% <RMSE> 20%) os quais não influenciaram na eficiência do modelo para todos os tratamentos (c > 0,90 e d > 0,95), indicando que de forma geral o modelo subestima a biomassa total do feijão-caupi, principalmente nas condições de limitação hídrica. Resultados semelhantes foram encontrados por Anjos (2011) e Souza (2017) ao simular a produção de biomassa do milho, obtendo valores de índice de concordância (d) entre 0,95 a 0,98, além de baixos valores de RMSE na simulação da biomassa do milho com ótimos valores de correlação, acima de 0,93 demonstrando a precisão do modelo em correlacionar as variáveis observadas e simuladas.

De acordo com a classificação de desempenho de modelos (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), o modelo AquaCrop, após calibrado, pode ser considerado como ótimo para a simulação da biomassa total. Após o ajuste o modelo conseguiu simular os valores observados de biomassa total com ótima eficiência e alta concordância além de baixos erros (RMSE) que variaram entre 10 e 20%, o que segundo Jamieson et al. (1991) é considerado como uma boa simulação.

Portanto, o modelo AquaCrop mostrou-se útil na estimativa do conteúdo de água no solo para condições locais e experimentais. A melhor simulação do modelo, durante a fase inicial da cultura do feijão caupi, deveu-se ao mesmo uso de água nessa fase, como também foi observado por Pereira et al. (2015) em seu estudo.

Assim a Tabela 3 apresenta todos os valores dos parâmetros obtidos e utilizados em relação ao CC, ao uso e rendimento de água pela cultura e ao balanço hídrico do solo. As abordagens usadas para obter esses valores de parâmetros também são referidas e incluem observações de campo. O procedimento de parametrização descrito acima e os valores padrão foram os propostos por Raes et al. (2012).

Tabela 3 - Valores dos parâmetros AquaCrop usados para simulações.

Descrição	Símbolos e unidades	Valor	Método de determinação
	Parâmetros de Curva de dossel		
COBERTURA DO DOSSEL COM 90% DE EMERGÊNCIA	CC_0, %	3.7	Ajustado
COBERTURA MÁXIMA DO DOSSEL	CC_X, %	93	Experimental
COEFICIENTE DE CRESCIMENTO DO DOSSEL	CGC, (% dia^{-1})	0.97	Ajustado
COEFICIENTE DE DECLÍNIO DO DOSSEL	CDC, (% dia^{-1})	0.53	Ajustado
	Parâmetros da Cultura		
COEFICIENTE BASAL DA CULTURA PARA TRANSPIRAÇÃO NA CC_X	$Kc_{TR,x}$, Coeficiente de transpiração da cultura, adimensional	1.14	Experimental

PRODUTIVIDADE AJUSTADA DA BIOMASSA (ÁGUA)	WP*, g m^{-2}	16.5	Ajustado
PROFUNDIDADE MÁXIMA EFETIVA DE RAIZ	$Z_{máx}$, m	0.3	Experimental
ÍNDICE DE COLHEITA DE REFERÊNCIA	HI_o, %	29	Experimental
Parâmetros do Balanço hídrico do solo			
ÁGUA FACILMENTE EVAPORADA	REW, mm	9	Experimental
NÚMERO DA CURVA	CN, não dimensional	70	Ajustado

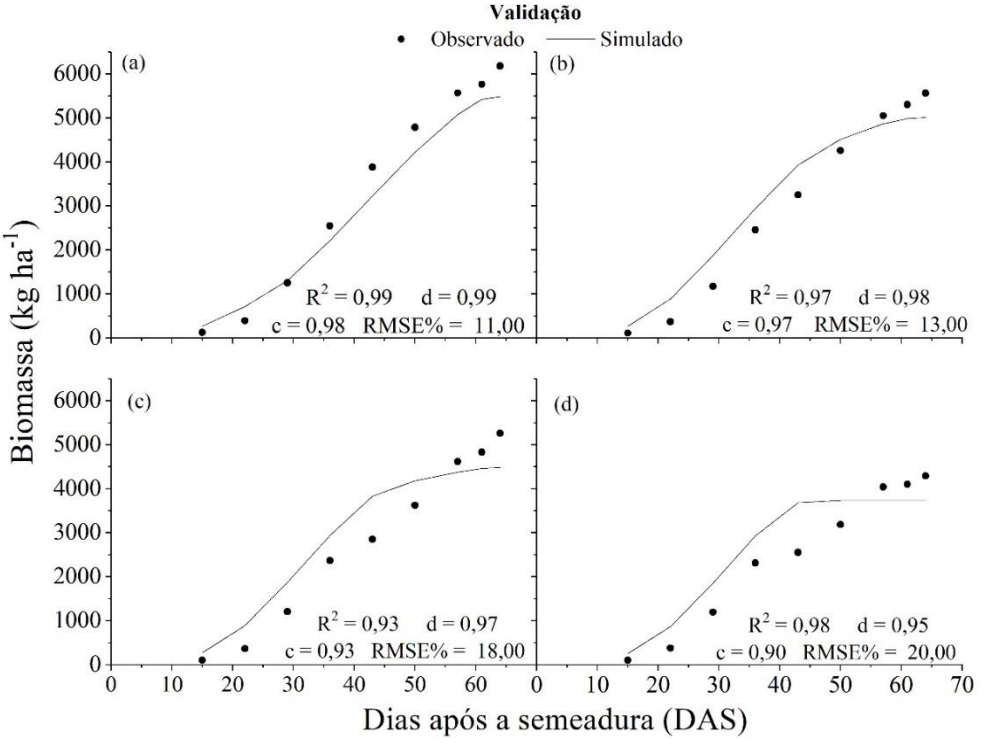

Figura 5 - Simulação da Biomassa do feijão caupi durante a etapa de validação (ano 2016) do modelo Aquacrop para distintas condições de disponibilidade de água: (a) T_{100}; (b) T_{50}; (c) T_{25}; (d) T_0.

Ran et al. (2018) avaliaram a eficiência do modelo Aquacrop em simular a biomassa total do milho (t ha^{-1}) e encontraram superestimativas maiores que 30% em alguns tratamentos adotados, justificando que uma possível causa destes erros está associada ao procedimento de cálculo da biomassa que usa um valor fixo para o parâmetro "produtividade normalizada da água" (WP* = 16,5 g m^{-2} neste trabalho), ao invés de considerar sua variação ao longo do ciclo.

Resultados obtidos por Xiangxiang et al. (2013) também demonstraram baixa eficiência do modelo ao simular a biomassa do trigo de inverno (t ha^{-1}) cultivado sem irrigação, com erros absolutos que variaram de -6,7 a 17,5%. Razzaghi et al. (2017) também observaram que o modelo aquacrop apresentou

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

melhor desempenho ao simular a biomassa total da batata sob ótimas condições hídricas, sugerindo que alguns parâmetros de estresse hídrico no modelo aquacrop precisam ser mais bem calibrados.

A produtividade simulada variou de 587 a 1.484 kg ha^{-1} em 2015 e de 684 a 1.596 kg ha^{-1} em 2016, nos tratamento T_0 e T_{100}, respectivamente, enquanto os valores observados em campo variaram de 468 a 1.299 kg ha^{-1} em 2015 e de 577 a 1.680 kg ha^{-1} em 2016, para os mesmos tratamentos. Em geral o modelo simulou valores de produtividade do feijão-caupi similares aos observados em campo tanto na etapa de calibração (2015) como na validação (2016), com exceção do encontrado nos tratamentos extremos T_{100} e T_0 durante a fase de calibração, quando o aquacrop superestimou a produtividade em 14% (185 kg ha^{-1}) e 25% (119 kg ha^{-1}), respectivamente (figura 5), e no processo de validação no tratamento T_0, quando o modelo apresentou uma subestimativa de 16% (-107 kg ha^{-1}) (figura 6).

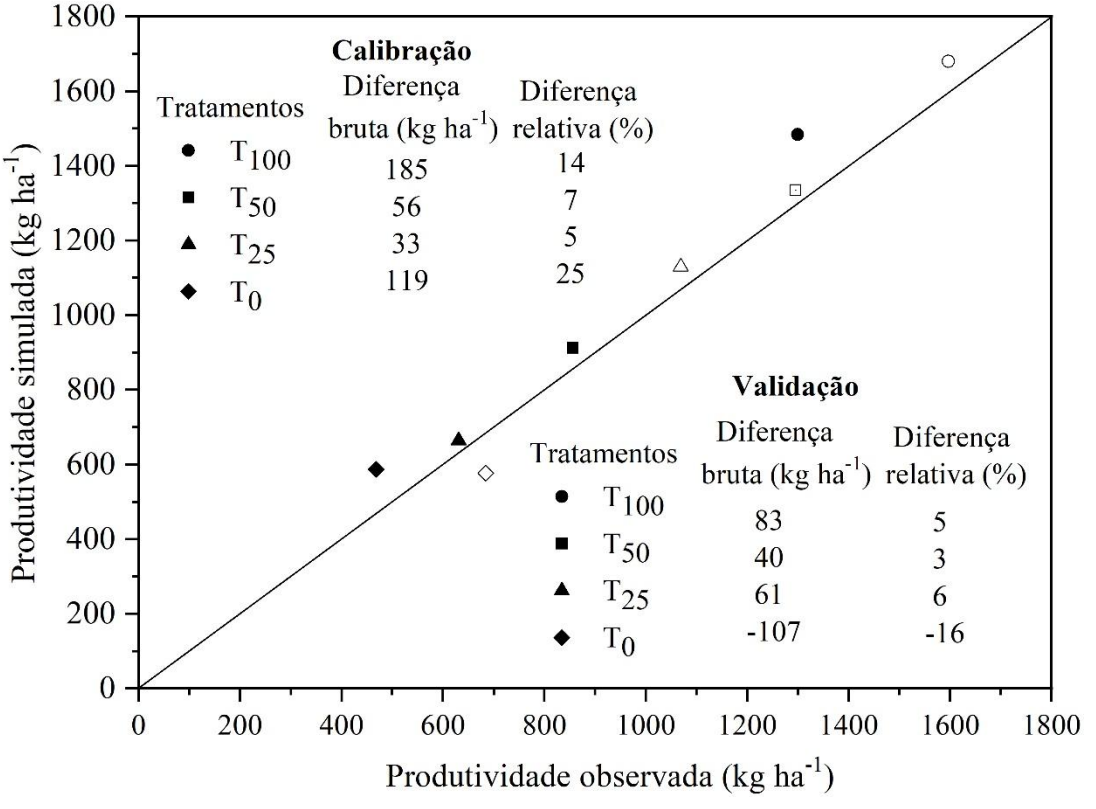

Figura 6 - Simulação da produtividade (kg ha^{-1}), durante as etapas de calibração e validação, pelo modelo Aquacrop, comparado ao observado em campo.

Na fase de validação (2016), com exceção do obtido no tratamento sem irrigação, o modelo reproduziu a produtividade com pequenos erros que corresponderam a superestimativas de apenas 5, 3 e 6% para T_{100}, T_{50} e T_{25} respectivamente, evidenciando a eficiência do modelo em simular a produtividade do feijão-caupi para as condições do experimento.

A redução na produtividade observada em campo em resposta aos tratamentos adotados é esperada tendo em vista a limitação hídrica imposta

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

durante a fase reprodutiva do feijão-caupi, uma vez que é a fase mais sensível para a produtividade desta cultura (LIMA et al., 2016; FARIAS et al., 2017).

O fato de o modelo ter apresentado superestimativa da produtividade em 25% (RMSE%) na calibração para a condição não irrigada e ter subestimado em 16% (RMSE%) na validação para a mesma condição, demonstra não haver erro sistemático durante a simulação, pois apesar do modelo ter reproduzido o nível de água no solo de forma satisfatória tanto na calibração como na validação, nota-se que a biomassa total foi subestimada em ambos os processos para a condição não irrigada, mas apresentando produtividade final super e subestimada para esta condição hídrica.

Embora a simulação da água disponível no solo tenha sido realizada com elevada eficiência (figura 1) em todos os tratamentos tanto no processo de calibração (2015) e de validação (2016), é importante ressaltar que o experimento em 2015 foi realizado sob influência do fenômeno climático El Niño (GRIMM, 2015), e a ausência de eventos de chuva ao longo do ciclo associado à oferta de água exclusivamente pelo sistema de irrigação por gotejo, podem ter ocasionado um molhamento do solo menos uniforme do que em casos de eventos de chuva, induzindo a planta a responder negativamente, detalhe não considerado pelo modelo.

Apesar dos erros gerados pelo modelo na simulação da produtividade do feijão-caupi, percebe-se que a maior deficiência do Aquacrop está em reproduzir a condição não irrigada, ou a condição de déficit hídrico severo, demonstrando, porém, um ótimo desempenho ao simular a produtividade para os demais tratamentos.

Somado a isso, ressalta-se a eficiência do uso desta ferramenta para fins de manejo de irrigação quando necessário uma vez que a umidade disponível no solo foi reproduzida com baixos erros. Resultados similares foram encontrados por Ran et al. (2017), por Razzaghi et al. (2017) e por Xiangxiang et al. (2013) para os tratamentos com déficit hídricos mais severos, devido a limitações do modelo sob tais condições e a necessidade de melhor calibração de parâmetros de estresse hídrico.

Tais resultados demonstram a eficiência do AquaCrop na simulação da produtividade do feijão-caupi na região de estudo, mesmo sob condições de limitação hídrica sendo, portanto, uma excelente ferramenta de suporte para a tomada de decisão devido sua simplicidade e robustez comparado a outros modelos mais complexos.

CONCLUSÕES

Na fase de calibração o modelo apresentou um RMSE de 25%, superestimando a produtividade, já na fase de validação houve um RMSE de 16%, subestimando a mesma, ambas as situações no tratamento sem suplementação hídrica. Os parâmetros estatísticos demonstram que o modelo Aquacrop pode ser usado como uma importante ferramenta confiável para o planejamento agrícola auxiliando nas tomadas de decisão no campo em relação ao manejo da irrigação e da cultura do feijão-caupi na região.

As simulações do teor de água no solo concordaram com as medidas obtidas no campo, em ambos os anos de estudo e condições de oferta hídrica.

Mais estudos futuros se tornam necessários para uma melhor calibração de parâmetros de estresse hídrico do modelo, sendo aplicado as outras condições edafoclimáticas e demais cultivares de feijão-caupi.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES e a FAPESPA pela concessão da bolsa de estudos e demais recursos financeiros (processo nº 483402/2012-5) e a bolsa de produtividade do orientador (processo nº 311145/2013-2). À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pela concessão da área de estudo e ao Grupo de Pesquisa Interação Solo-Planta-Atmosfera na Amazônia (ISPAAm). O autor HGGCN agradece ao PCI-MCTIC / MPEG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa (número do processo: 302200/2020-7).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALLEN, R. G.; RAES, D. C.; PEREIRA, L. S. C. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Fao, Rome*, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANJOS, F. A. *Simulação de produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop*. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, PI. *Irriga*. v. 13, p.182-190, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*.8ª ed. Viçosa: UFV, 625p, 2006.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

COFFIGNIEZ, F.; BRIFFAZ, A.; MESTRES, C.; RICCI, J.; ALTER, P.; DURAND, N.; BOHUON, P. Kinetic study of enzymatic α-galactoside hydrolysis in cowpea seeds. *Food Research International*, v. 113, p. 443-451, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2016/2017*. Brasília: CONAB, 164p, 2017.

COSTA, M. S. *Disponibilidade hídrica uso de aditivo na adubação e calibração do software AquaCrop para o feijoeiro.* 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; GUIMARÃES, R. M. L. Simulation of bean crop growth, evapotranspiration and yield in Paraná state by the CROPGRO-Dry bean model. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 3, p. 429-436, 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization. AquaCrop training handbooks. Book I. Understanding AquaCrop, 2017.

FARIAS, V. D. D. S.; LIMA, M. J. A. D.; NUNES, H. G. G. C.; SOUSA, D. D. P.; SOUZA, P. J. D. O. P. Water demand, crop coefficient and uncoupling factor of cowpea in the eastern Amazon. *Rev. Caatinga*, Mossoró, v. 30, n. 1, p. 190 – 200 jan. – mar., 2017.

FERNANDES, F. B. P; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. S. R. Melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2, 2009, Belém. *Anais...* Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. P. 120-135. CD-ROM. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: Acesso em: 03 abril 2018.

FREIRE FILHO, F. R. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios*. Teresina: Embrapa Meio-Norte-Livro científico (ALICE)*,84p. 2011.

GRIMM, A. M. El niño, novamente. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, p. 351 - 357, 2015.

JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, v. 27, n. 4, p. 337-350, 1991.

LIMA, M. J. A.; FARIAS V. D. S.; COSTA, D. L. P.; SAMPAIO, L. S.; SOUZA, P. J. O. P. Efeito combinado das variáveis meteorológicas sobre a condutância estomática do feijão-caupi. *Horticultura Brasileira*, v. 34, n. 4, p. 547-553, 2016.

LINO, D. M.; PINHEIRO, R. S. B.; FERREIRA, E. J. S. Levantamento quantitativo e qualitativo dos sistemas de irrigação em propriedades rurais na microrregião de Andradina*. X Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 10, n. 7, p. 113-126, 2014.

LOAGUE, K.; GREEN R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of contaminant hydrology*, v. 7, n. 1-2, p. 51-73, 1991.

MARTINS, M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro: Limitações e vantagens para

avaliação de colapso de safras. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 10, n. 4, p. 41-48, 2014.

MELLO, A.; CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para agricultura de precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 666-675, 2008.

PAREDES, P.; TORRES, M. O. Parameterization of AquaCrop model for vining pea biomass and yield predictions and assessing impacts of irrigation strategies considering various sowing dates. *Irrigation science*, v. 35, n. 1, p. 27-41, 2017.

PAREDES, P.; WEI, Z.; LIU, Y.; XU, D.; XIN, Y.; ZHANG, B.; PEREIRA, L. S. Performance assessment of the FAO AquaCrop model for soil water.soil evaporation, biomass and yield of soybeans in North China Plain. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 152, p. 57-71, 2015.

PAREDES, P.; MELO-ABREU, J. P.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. *Agricultural Water Management*, v. 144, p. 81–97, 2014.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; NEVES, M. Modeling malt barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting rainfall years. Assessing AquaCrop and SIMDualKc models. *Agricultural Water Management*, v. 159, p. 239–254, 2015.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. Crop water productivity: Calculation procedures and calibration guidance, AquaCrop version 4.0*. Rome: FAO*, 2012.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.; FERERES, E. Chapter 1: FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water: AquaCrop: version 6.0-6.1: reference manual. *Rome: FAO, 2018*. 19p, 2018.

RAMOS, T. B.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PEREIRA, L. S. Comparação de diferentes funções de pedotransferência para estimar as propriedades hidráulicas em Portugal. *In*: Gonçalves, M. C., Ramos, T. B., Martins, J. C. (Eds.). Solo, produção Agrária e Sustentabilidade dos Ecossistemas*. Oeiras: Instituto de Nacional de Investigação Agrária e Veterinária - INIA-V*, p. 29-34, 2014

RAMOS, T. B.; GONÇALVES, M. C.; PEREIRA, L. S. Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. Oeiras: Instituto de Nacional de Investigação Agrária e Veterinária - INIA-V*, Portugal, 76p, 2016.

RAN, H.; Kang, S.; Li, F.; Du, T.; Tong, L.; Li, S.; Ding, R.; Zhang, X. Parameterization of the AquaCrop model for full and deficit irrigated maize for seed production in arid Northwest China. *Agriculture water management*, v. 203, p. 438-450, 2018.

RAZZAGHI, F.; ZHOU, Z.; ANDERSEN, M.N.; PLAUBORG, F. Simulation of potato yield in temperate condition by the AquaCrop model. *Agriculture water management*, v. 191, p. 113-123, 2017.

SANTOS, M. G.; FARIA, R. T.; PALARETTI, L. F.; DANTAS, G. F.; DALRI, A. B.; LOPES, A. S. Calibration and testing of CS-CROPGRO model for common beans. *Engenharia Agrícola*, v. 36, p. 1239-1249, 2016.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil science society of America Journal*, v. 70, n. 5, p. 1569-1578, 2006.

SENTELHAS, P. C.; FARIA. R.T.; CHAVES, M. O.; HOOGENBOOM, G. Avaliação dos geradores de dados meteorológicos WGEN e SIMMETEO, nas condições tropicais e subtropicais brasileiras, usando modelos de simulação de culturas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.

SILVA, W. C.; MOURA, J. G.; OLIVEIRA, A. B.; FERREIRA, L. E.; SILVA, T. M. Growth and gas exchange in cowpea plants under different managements and saline conditions. *Revista ciência agronômica*, v. 48, n. 5SPE, p. 756-764, 2017.

SILVA, V. P. R.; MACIEL, G. F.; BRAGA, C. C.; JÚNIOR, S.; SOUZA, E. P. D.; ALMEIDA, R. S. R.; HOLANDA, R. M. D. Calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura de soja cultivada mediante diferentes níveis de irrigação na região de Matopiba. *Ciência Rural [online]*, v. 48, 2018.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La niña and Atlantic Dipole Paterni on the Amazonian Rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SOUZA, P. J. D. O. P.; FARIAS, V. D. D. S.; LIMA, M. J. A. D.; RAMOS, T. F.; SOUSA, A. Cowpea leaf area, biomass production and productivity under different water regimes in Castanhal, Pará, Brazil. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 30, p. 748-759, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. *Porto Alegre: Artmed*, 954p, 2013

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

XIANGXIANG, W.; QUANJIU, W.; JUN, F.; QIUPING, F. Evaluation of the AquaCrop model for simulating the impact of water deficits and different irrigation regimes on the biomass and yield of winter wheat grown on China's Loess Plateau. *Agriculture water management*, v. 129, p. 95-104, 2013