

MONALISA SOARES COSTA

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA, USO DE ADITIVO NA ADUBAÇÃO E
CALIBRAÇÃO DO SOFTWARE AQUACROP PARA O FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C837d
2016
Costa, Monalisa Soares, 19-
Disponibilidade hídrica, uso de aditivo na adubação e
calibração do software AquaCrop para o feijoeiro / Monalisa
Soares Costa. – Viçosa, MG, 2016.
vi, 51f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Feijão - Cultivo. 2. Feijão - Adubos e fertilizantes.
3. Irrigação agrícola. 4. Software - Calibração . I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.652

MONALISA SOARES COSTA

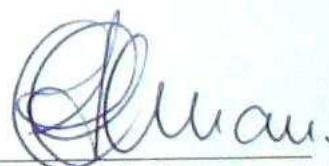
**DISPONIBILIDADE HÍDRICA, USO DE ADITIVO NA ADUBAÇÃO E
CALIBRAÇÃO DO SOFTWARE AQUACROP PARA O FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

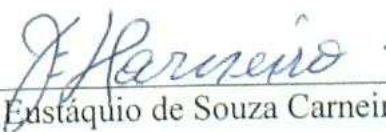
APROVADA: 23 de fevereiro de 2016.



Fernando França da Cunha
(Coorientador)



Catariny Cabral Aleman



José Eustáquio de Souza Carneiro



Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

“The most valuable thing you can make is a mistake – you can’t learn anything from
being perfect”

(Adam Osborne)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pelos valiosos ensinamentos, paciência, apoio e por ter permitido realizar o curso sob sua orientação.

Aos professores Gilberto Sedyama, Fernando Cunha, Catariny Aleman, Silvio Bueno e José Eustaquio por todo apoio, paciência e ensinamentos.

A empresa AgXplorer, principalmente William Comini, por toda assistência.

A minha família, principalmente meus pais Messias Augusto e Izabel Soares, minha irmã Marina Clara e minha avó paterna Maria Antonia, por mesmo distante me apoiarem incondicionalmente em todas as etapas da realização deste curso e acreditarem em mim mesmo quando eu mesma duvidei.

A Valdir Ribeiro, por todo amor, apoio, presença, paciência e suporte que tens sido para mim desde que nos conhecemos.

A Fernanda Lamede, pela amizade, companheirismo e apoio durante todas as etapas do curso.

A Barbara, Edson, Vinicius, Geraldo, Daniel e Dandara pelos momentos de amizade e distração ocorridos em meio à rotina incessante de estudos.

A Gilson Dantas pela contribuição e ajuda durante todo o período de execução da fase experimental, cujo foi de grande importância para que tudo ocorresse de forma mais facilitada.

A Machado e Reinaldo pelo suporte no transporte semanal à área experimental. A Carlinhos, Douglas e todos os demais funcionários da área experimental da UFV, pelo suporte na execução do trabalho experimental.

Ao pessoal do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI), por todo companheirismo e apoio durante a realização do curso.

A Léa Medeiros e Klenio Pinheiro, pela amizade e mesmo longe durante todo esse tempo me darem suporte e apoio emocional.

Aos demais professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola que de alguma forma, direta e indireta, contribuíram para a conclusão desse curso.

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. Introdução	1
2. Manejo de água na agricultura irrigada.....	1
3. Agroclimatologia do feijoeiro	3
4. Observações finais	6
5. Referências bibliográficas	6
Artigo 1 - Avaliação dos níveis de lâminas de irrigação e aditivo na adubação no desempenho do feijoeiro cultivado na região da zona da mata, MG	10
Resumo.....	11
Abstract	12
Introdução	12
Material e métodos	14
Resultados e discussão	17
Conclusões	28
Referências bibliográficas	29
Artigo 2 - Calibração do software AquaCrop à cultura do feijão de acordo com diferentes regimes de irrigação	33
Resumo.....	34
Abstract	34
Introdução	35
Material e métodos	37
Resultados e discussão	40
Conclusão.....	48
Referências bibliográficas	48
Conclusão geral.....	51

RESUMO

COSTA, Monalisa Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Disponibilidade hídrica, uso de aditivo na adubação e calibração do software AquaCrop para o feijoeiro.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientador: Fernando França da Cunha.

O aumento da demanda por alimentos e a escassez na disponibilidade de recursos hídricos tem motivado o homem a procurar meios sustentáveis de produção agrícola para o máximo potencial produtivo das culturas. O manejo da irrigação é uma alternativa para economia e sustentabilidade dos recursos hídricos. Objetivou-se neste trabalho o estudo da resposta do feijoeiro, cultivar “Ouro Vermelho”, à diferentes níveis de lâminas de irrigação e resposta à inclusão do aditivo NZone[®] na adubação, em que incluía o fato da presença ou não do NZone[®] na adubação de plantio e cobertura. Com o software AquaCrop foi feita uma calibração dos coeficientes que estimam o desenvolvimento da cultura ao longo do seu ciclo e seu rendimento final através do método de tentativa e erro, com auxílio dos dados de biomassa, índice de área foliar e produtividade observados em campo. O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa – MG, localizada na região de zona da mata. A irrigação foi calculada conforme uma metodologia adotada para os cálculos de evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura, em que a partir dessa foram variadas em quatro níveis de lâmina, são eles: 30%, 80%, 100% e 145%. Essas lâminas de irrigação foram aplicadas com o sistema de irrigação por aspersão convencional através de pivô central. Na adubação se utilizou conforme o recomendado e em uma parcela foi incluído o NZone[®] misturado aos adubos aplicados no plantio e na cobertura. Analisou-se a produtividade de grãos do feijoeiro, sistema radicular e índices de produtividade da água. Observou-se que o feijoeiro apresenta tolerância a altos níveis de lâmina de irrigação, desde que esse não cause saturação dos poros do solo com água, sem sofrer redução no seu rendimento e produtividade. O NZone[®] contribuiu para a diferença no rendimento da cultura em alguns parâmetros analisados, dentre eles a produtividade. O ajuste feito no AquaCrop apresentou valores de eficiência e índice de concordância entre os dados elevados, o que representa que os valores estimados foram sempre próximos dos observados, sendo através disso possível estimar inicialmente variáveis conservativas que

vão ser necessárias à construção do manejo do cultivo do feijoeiro nesse software. Apesar dos resultados positivos ainda é necessário outros estudos para melhor embasamento e confirmar a veracidade dos resultados obtidos.

ABSTRACT

COSTA, Monalisa Soares, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Water available, use of an additive in fertilizing and calibration for a software AquaCrop for crop bean.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-adviser: Fernando França da Cunha.

The grow on demand for food and the scarcity in water resources available has motivated the man to looking for sustainable ways to crop production for attain maximum potential yield crop. The irrigation management is an alternative for economy and sustainable of water resources. The objective of this work is study the behavior of “Red Bean” bean cultivar, for different levels of irrigation depth and crop answer to including to additive NZone[®] on fertilizing, including the fact of inclusion or not of NZone[®] in planting fertilization and topdressing. The software AquaCrop was made a calibration of coefficients that calculate the growing of crop in your ageing and your final yield with the trial and error method, supporting biomass data, leaf index area and productivity watched on field. The experiment was made on experimental field of Universidade Federal de Viçosa, in Viçosa – MG city, located in region of wood zone. The depth irrigation was calculated with methodology adopted for reference evapotranspiration and crop evapotranspiration, and after that, were used different depth irrigation, are they: 30%, 80%, 100% and 145%. This depth irrigation was applied with sprinkle system through central pivot. On fertilizing use behind the recommendation and in one part were included NZone[®] together with the planting fertilization and topdressing. Was analyzed the bean productivity, root system and the index of water productivity. It looked that crop bean presents endurance for high depth irrigation, since this don't induce saturation of soil pores with water, without suffering reduction on crop yield. The NZone[®] contributed for difference on crop yield in some evaluated parameters, among they productivity. The bean adjust made on AquaCrop presents some high values of efficiency and agreement index between the data, representing the small difference between the observed and calculated data, being possible through do on first estimate conservative parameters that will be necessary to make the management of crop bean on this software. Was observed positive results but is still necessary another studies for one better basement and confirm the truth of the observed results.

1. INTRODUÇÃO

A população mundial vem crescendo ao longo dos anos, o que conseqüentemente influencia diretamente na demanda por alimentos. Projeções feitas por Alexandratos & Bruinsma (2012) propõem diversas formas de se produzir mais alimentos para atender essa demanda, sendo uma delas uma maior inclusão da irrigação em áreas cultivadas. Esses atribuíram também à irrigação o papel de proporcionar maiores produtividades em relação às áreas cultivadas de modo sequeiro, e a possibilidade de expansão de áreas colhidas.

O cultivo de grãos é algo tradicional ao produtor brasileiro, principalmente o feijão, que faz parte da alimentação básica da população. A demanda por este tipo de grão é constante ao longo do ano. É uma cultura de ciclo rápido, podendo ser cultivada em consórcio.

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, sendo os estados do Paraná e Minas Gerais responsáveis por 38% da produção nacional. O país também é o maior consumidor desse alimento (MOURA & BRITO, 2015). No ano de 2012/2013 na região sudeste, houve uma produção de 815.800 toneladas de feijão, sendo o somente o estado de Minas Gerais responsável por 564.800 toneladas da produção desse alimento, acima dos outros estado da região sudeste (AGRIANUAL, 2015).

Segundo Vieira (2004) o feijoeiro pode ser cultivado em qualquer época do ano, mas com atenção para os efeitos do clima na época de cultivo, adotando para isso estratégias como a irrigação, na época de poucas chuvas.

Vieira (2004) apontou como as épocas de plantio outono-inverno e inverno-primavera normalmente cultivados sob irrigação e onde pode ser atingido elevadas produtividades.

2. MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA

A elevada demanda por água, tanto no consumo humano, quanto na indústria e principalmente na agricultura, faz com que esse recurso diminua em termos de quantidade e qualidade. E isso afeta todos os tipos de regiões, sendo ela chuvosa ou árida (PEREIRA *et al.*, 2002).

De acordo com Playan & Mateos (2006), o melhor uso da água pode se dar através da distribuição de água de um determinado canal ou represa, escalonamento de

irrigação entre os produtores de uma determinada região, projeto de irrigação dimensionado adequadamente, adição de equipamentos modernos que tenham maior eficiência de condução e aplicação, estrutura e tecnologia.

O manejo da irrigação tem como objetivo suprir a quantidade de água necessária no tempo e no lugar certo (Bhalage *et al.*, 2015), maximizando o aproveitamento da água por parte da planta, aumentando o seu rendimento no campo (MUN *et al.*, 2015).

Modelos de como manejar a irrigação são estudados, mas não são amplamente adotados pelos produtores, resultando em problemas de mal uso da água no momento da irrigação (PEREIRA, 1999).

O manejo da irrigação é importante para condução da cultura no campo, pois através desse é feito o estudo de balanço hídrico envolvendo solo – clima – planta, conhecendo assim o real déficit da cultura e a sensibilidade do estágio de desenvolvimento da planta à restrição de água, aplicando somente a quantidade de lâmina de irrigação adequada para suprir sua atual necessidade no campo.

Na busca por um manejo adequado e eficiência do uso da água, há vários tipos de monitoramento da disponibilidade hídrica na planta que podem ser feitos pelo produtor. Esse monitoramento pode ser feito através do solo, da planta e do clima. Esse último tem se apresentado de forma viável e eficiente de acordo com o método adotado para o cálculo da demanda evapotranspirométrica da cultura (BERNARDO *et al.*, 2008).

De acordo com Molden *et al.* (2010), um aumento de produtividade efetivo se dá através de um suprimento de água proporcional ao déficit, contabilizando para isso o consumo de água sofrido pela evaporação da água do solo mais a transpiração.

A estimativa do consumo de água pela planta pode ser determinada por equações que calculam a evapotranspiração de referência (ET_0), e coeficientes que ajustam às condições reais de cultivo. Segundo Pereira *et al.* (2015), a ET_0 é a transpiração de qualquer planta acima do solo durante um período específico. Também pode ser definida como sendo evapotranspiração potencial. Pode ser determinada através da equação de Penman-Monteith apresentada por Allen *et al.* (1998).

A equação modificada de Penman-Monteith pela FAO teve embasamento nas equações de Penman, Makkink, Blaney Criddle e tanque classe A, que através de regressões contribuíram para sua elaboração. Esta relaciona todos os fatores climáticos que envolvem a cultura no campo. Entretanto, equação primariamente desenvolvida de Penman dá melhores resultados somente quando as condições de cultivo está sob boa disponibilidade hídrica e total sombreamento da cultura do solo (PEREIRA *et al.*, 2015).

A ET_0 é determinada com os dados climáticos e as coordenadas geográficas do local e considerando uma condição hipotética de cultivo, que foi definido como sendo uma grama com crescimento ativo, sem restrição de água no solo e nutrientes, com altura de 0,12 m, total sombreamento do solo, um albedo de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s m^{-1} (ALLEN *et al.*, 1998).

Há vários fatores que influenciam na demanda evapotranspirométrica da cultura (ET_c). Os principais utilizados com variáveis na equação de Penman-Monteith (PM) são temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação, sendo o primeiro e o último os que mais exercem influência. Porém, isso varia com a estação do ano, como exemplo, temos que no verão a radiação domina a ET, enquanto que o déficit de pressão de vapor e o vento tem pouca expressão, enquanto que no inverno ocorre o inverso (PEREIRA *et al.*, 2015).

O coeficiente de cultivo (K_c), segundo Pereira *et al.* (2015), foi elaborado para incluir, de forma representativa, no cálculo da evapotranspiração (ET), a resistência do movimento da água do solo para à superfície, a resistência da difusão do vapor de água da superfície evaporativa através de uma camada limite, a resistência da transferência da turbulência para a atmosfera livre e a quantidade de energia radiante disponível em relação à condição hipotética de cultivo. Quando visto em relação ao balanço de energia, o K_c é um representante do calor de energia relativa convertido em calor latente.

A principal contribuição do método elaborado e apresentado pelo boletim do FAO 56 (Allen *et al.*, 1998), segundo Pereira *et al.* (2015), é o estudo mais detalhado da evapotranspiração (ET) que ocorre no sistema como um todo.

3. AGROCLIMATOLOGIA DO FEIJOEIRO

O feijão, por ser uma planta de ciclo curto, em torno de 90 dias, permite o cultivo mais de uma vez ao ano, se não houver condições limitantes. É uma cultura sensível ao estresse hídrico, a elevadas temperaturas e exigente em nutrientes (SANT'ANA *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2015).

Apesar da temperatura ter significativa influência no desenvolvimento da cultura, quando essa apresenta valores além do intervalo ótimo que a planta suporta, pode ter efeito prejudicial no vingamento das vagens e florescimento, podendo nesse último causar o abortamento das flores. As temperaturas além de 35°C causam esterilização do

grão de pólen e queda das flores, e menos de 12°C retarda o crescimento vegetativo como também reduz o número de grãos por vagem. A faixa ideal que a maioria das cultivares suporta está entre 12 e 29°C, sendo o ótimo em torno dos 21°C. Elevadas velocidades do vento também prejudicam as flores do feijão, como 12,5 m s⁻¹, mas uma vez que a vagem é formada, essa possui resistência (HEINEMANN *et al.*, 2009; SCHMIDT & VALIATI, 2006).

A irrigação contribui significativamente para o aumento de produtividade do feijão, principalmente quando essa for bem manejada. A disponibilidade de água regular e conforme à necessidade hídrica da cultura, promove um melhor desenvolvimento e permite que a planta complete seu ciclo. A irrigação também contribui para o cultivo contínuo nas outras épocas do ano. Alguns autores concordam com o afirmado (SILVA *et al.*, 2013; SILVA & NEVES, 2011; MOUSINHO *et al.*, 2008; CUNHA *et al.*, 2015).

O déficit hídrico compromete o desenvolvimento da cultura de diversas formas, fazendo com que a planta desenvolva muito abaixo do seu potencial produtivo. A falta de água afeta principalmente a floração e o enchimento de grãos, fase em que a planta é mais exigente em água e nutrientes. Mas não é somente nessa fase, o feijão é uma cultura exigente quanto à disponibilidade da água de um modo geral, mas há estágios fenológicos em que ela é mais tolerante. Existem momentos em que a aplicação do estresse é necessária, como na fase depois do enchimento dos grãos, para maturação e secagem (SCHMIDT & VALIATI, 2006; ANDRADE *et al.*, 2015).

Já o estresse hídrico causado pelo excesso de água prejudica a planta, por causar redução da atividade respiratória e provocar doenças que comprometam seriamente seu desenvolvimento, tais como podridão radicular, causada pelos patógenos *Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*, e mofo-branco, causada pelo patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*. Pode também afetar a fase de colheita, podendo o grão germinar ainda na vagem, o que traz prejuízos ao produtor (HEINEMANN *et al.*, 2009; PAULA JÚNIOR *et al.*, 2015).

O manejo de irrigação no feijoeiro a partir da estimativa da evapotranspiração e balanço de água no solo se torna viável para condições de campo, de acordo com a disponibilidade de equipamentos e informações para quantificação desse balanço.

Segundo Hoogenboom (2000), os principais elementos climáticos que podem influenciar no desenvolvimento do feijoeiro são precipitação, temperatura do ar e radiação. Outros que também afetam, porém de maneira menos pronunciada do que os anteriores, é a temperatura do solo, vento e umidade relativa.

Cada elemento climático afeta em uma determinada função da planta, como a radiação, por exemplo, que interfere diretamente na produção de biomassa, e a temperatura que atinge as taxas de reações metabólicas, sendo mais alta a temperatura, mais acelerado o metabolismo da planta, ocorrendo o inverso sob temperaturas baixas. A temperatura também influencia em uma série de outros fatores no desenvolvimento da planta, sendo esse juntamente com a disponibilidade de água no solo para a planta, os principais fatores climáticos que interferem no ciclo de uma cultura (SENTELHAS & MONTEIRO, 2009).

Para enfrentar as adversidades do clima, pode-se considerar a adoção das práticas de irrigação e do plantio direto. Esse primeiro tem por finalidade a estabilidade de produção em períodos secos e aumento de produtividade, quando manejado de maneira correta. O segundo contribui para manutenção da umidade do solo com a palhada do plantio anterior servindo de cobertura orgânica morta (SENTELHAS & MONTEIRO, 2009).

Heinemann *et al.* (2009) fizeram comparação entre coeficientes de cultivo em feijão feitos estimados sob plantio convencional e plantio direto. O primeiro apresenta maior demanda de água pela cultura, o que é justificável devido a superfície úmida do solo estar descoberta e suscetível à evaporação. O que conseqüentemente leva a induzir que a cobertura do solo através de uma cobertura orgânica, como acontece com o plantio direto, ou qualquer outro tipo de cobertura, proporciona economia na demanda de água.

Algumas metodologias de estimativa de balanço hídrico procuram incluir esse fator, como apresentado por Allen *et al.* (1998), em que incluem um coeficiente de evaporação (K_e), que proporciona uma redução da evaporação de acordo com a porcentagem de cobertura da área de cultivo. Porém, qualquer cultivar diferente utilizada no cultivo ou prática cultural feita, área foliar, arquitetura da planta, coloração, entre outros, pode causar variação no K_c e na demanda evapotranspirométrica da planta.

A demanda hídrica média diária do feijão pode variar dependendo da estação do ano em que for cultivado e o estágio de crescimento da cultura. No período de floração e enchimento das vagens o coeficiente de cultivo (K_c) tende a apresentar os valores mais altos do ciclo e maior índice de área foliar, havendo maior interceptação de radiação solar, transpiração e assimilação de nutrientes do solo, ou seja, um metabolismo mais ativo. Na fase inicial e após a formação e enchimento dos grãos, a demanda hídrica da cultura tende a diminuir, mesmo que as condições climáticas sejam favoráveis para um maior consumo. Com uma boa disponibilidade hídrica, a

evapotranspiração do feijão se torna potencial e de acordo com os fatores climáticos (HEINEMANN *et al.*, 2009).

4. OBSERVAÇÕES FINAIS

O feijoeiro é uma cultura de importância econômica para vários países, principalmente para o Brasil. A irrigação deste se enquadra nas expectativas de aumento de produtividade de grãos para os próximos anos, podendo fazer parte dos investimentos feitos pelos produtores. Realizar um estudo de sua demanda hídrica, principalmente a resposta que a cultura pode dar sob condições de excesso e de déficit hídrico é importante na condução e rendimento da cultura no campo.

O uso de softwares na agricultura para monitorar o desenvolvimento da cultura no campo se torna um tipo de tecnologia cada vez mais útil, visto que com isso é possível prever problemas que venham a ocorrer se não forem tomadas medidas preventivas. Tornando possível através um estudo de medidas que possam resultar em aumento da produtividade de grãos.

Com isso, objetivou-se avaliar o comportamento e rendimento do feijoeiro submetido a níveis de irrigação e um aditivo na adubação. E ajustar o crescimento dessa cultura no software de manejo AquaCrop, avaliando o comportamento dos dados observados em campo e os estimados pelo programa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 2015.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World Agriculture Towards 2030/2050, The 2012 Revision**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 154p. 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Roma, 1998.

ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. **Agricultural Water Management**, 95, p. 1201-1213, 2008.

ANDRADE, M. J. B.; OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, F. A. D. Exigências edafoclimáticas. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 4, p. 67-95.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. UFV (Viçosa): UFV, 2008. 625p.

BHALAGE, P.; JADIA, B. B.; SANGALE, S. T. Case studies of innovative irrigation management techniques. **Aquatic Procedia**, 4, p. 1197-1202, 2015.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, ano 22, n. 1, 2013.

CUNHA, A. H. N.; GOMES, F. P.; ARAÚJO, A. S. T.; CARDOSO, A. O.; VALENTE, M. S. Cultivo de feijão irrigado com água residuária e adubado com micronutrientes. **Revista Mirante**, v. 8, n. 1, p. 48-59, 2015.

FAO. **How to feed the world in 2050: high-level expert fórum**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, p. 35, 2009.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Cultivos Temporários: Feijão. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Organizador). **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília – DF: INMET, 2009. p. 183-203.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural of Forest Meteorology**, 103, p. 137-157, 2000.

MOLDEN, D.; OWEIS, T.; STEDUTO, P.; BINDRABAN, P.; HANJRA, M. A.; KIJNE, J. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, 97, p. 528-535, 2010.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 2, p. 16-36.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

MUN, S.; SASSENATH, G. F.; SCHMIDT, A. M.; LEE, N.; WADSWORTH, M. C.; RICE, B.; CORBITT, J. Q.; SCHNEIDER, J. M.; TAGERT, M. L.; POTE, J.; PRABHU, R. Uncertainty analysis os an irrigation scheduling model for water management in crop production. **Agricultural Water Management**, 155, p. 100-112, 2015.

PAULA JUNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; LOBO JUNIOR, M.; WENDLAND, A. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 11, p. 270-299.

PEREIRA, L. S. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. **Agricultural Water Management**, 40, p. 153-169, 1999.

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, 57, p. 175-206, 2002.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future. **Agricultural Water Management**, 147, p. 4-20, 2015.

PLAYAN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, 80, p. 100-116, 2006.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 3, p. 37-66.

SCHMIDT, E. W.; VALIATI, M. I. Avaliação do manejo de irrigação para a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*) irrigada por pivô central na agrícola Wehrmann em Cristalina – GO. **Campo Digital**, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2006.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Informações para uma agricultura sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Organizador). **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília – DF: INMET, 2009. p. 3-12.

SILVA, E. F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M.; SANTANA, F. M. S.; SANTOS, M. G. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada – PE. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2013.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011.

VIEIRA, C. Métodos culturais. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 57-59, 2004.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Avaliação dos níveis de lâminas de irrigação e aditivo na adubação no desempenho do feijoeiro cultivado na região da zona da mata, MG

Avaliação dos níveis de lâmina de irrigação e aditivo na adubação no desempenho do feijoeiro
cultivado na região da zona da mata, MG

Monalisa Soares Costa¹; Everardo Chartuni Mantovani²; Fernando França Cunha²; Catariny Cabral
Aleman²

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de
Viçosa, MG

²Professor do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – Viçosa,
MG

RESUMO

O cultivo de feijão é tradicional ao produtor brasileiro, principalmente para os pequenos e médios produtores. No plantio, as altas produtividades se devem em parte à irrigação, que para ser feita de maneira sustentável tem que ser acompanhada de um manejo. Objetivou-se estudar nesse trabalho o comportamento da cultivar de feijoeiro “Ouro Vermelho” a vários níveis de irrigação e aditivo na adubação. Foram testados quatro níveis de irrigação de acordo com uma metodologia de cálculo de lâmina utilizada para o manejo de irrigação, variando em 30%, 80%, 100% e 145% da quantidade recomendada por este método. Além da irrigação foi testado a aplicação de um aditivo, NZone[®], a adubação nitrogenada para melhorar rendimento da cultura no campo. A irrigação foi feita através de um pivô central convencional. A área experimental era plana, uniforme e não apresentava problemas de salinidade do solo e da água, e ocorrência de ataque de doenças ao longo do experimento. Observou-se que este aditivo não possuiu efeito em muitas variáveis ligadas ao rendimento da produção do feijoeiro quando comparado com a parcela que não recebeu o produto. A ausência do ajuste quadrático em relação às lâminas de irrigação não permitiu a definição de um ponto ótimo para a produção final de grãos e biomassa. O índice de aproveitamento da água evapotranspirada pela planta foi proporcional à sua produtividade nos níveis de lâmina aplicados. A densidade de raiz nos primeiros 10 cm de camada de solo apresentou significativa diferença entre os tratamentos que receberam o NZone[®] em relação aos que não receberam. Conclui-se que as lâminas

de irrigação apresentaram efeito no rendimento da cultura no campo, porém não se observou esse mesmo efeito com o aditivo NZone[®].

Palavras chave: agricultura irrigada, NZone[®], disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

The planting of crop bean is traditional Brazilian farmers, mainly for the small and medium farmers. On planting, the high yield it gives for irrigation and another factor, for to do the first one in a way sustainable way have to be together a management of depth irrigation. The aim of this study is the behavior of “Red Bean” crop bean cultivar for different levels of depth irrigation and addition one product in fertilizing. Were tested four levels of depth irrigation that was calculated with a method of determination of depth irrigation and used on an irrigation management, raging in 30%, 80%, 100% and 145% of the crop evapotranspiration calculated. Were tested too an application of addition on fertilizing, NZone[®], in a nitrogen fertilization for a best crop yield in the field. The irrigation was made through a sprinkle system with a central pivot. The experimental field was plan, uniform and don't have problems of soil and water salinity, and wasn't observed disease occurrence. Were observed that NZone[®] didn't present effect in some productivity parameters when were compared with the portion that didn't receive the NZone[®]. The no observation of quadratic behavior of the depth irrigation and production and biomass didn't allow the obtainment of great depth irrigation. The index evapotranspired water productivity was proportional to productivity through depth irrigation levels. The root density on first 10 cm depth soil presented considerable difference in the treatments that received the NZone[®] between that didn't receive. In conclusion, the depth irrigation presented effect on crop yield, but NZone[®] didn't do.

Keywords: agricultural irrigation, NZone[®], water availability

INTRODUÇÃO

O feijão é um grão de consumo tradicional em todo Brasil, sendo amplamente cultivado, principalmente por pequenos e médios produtores. É constituído principalmente de base proteica, base energética, carboidratos e minerais. Dentre esses, se destaca o mineral ferro, que é encontrado em maior concentração (BORÉM & CARNEIRO, 2015).

A sua produção no país no ano de 2014 foi de 3,2 milhões de toneladas de grãos, com uma expectativa de redução de 1,5% da área cultivada e aumento da produtividade de 3,4% no ano de

2015. Os principais estados produtores são Paraná (23,1% da produção nacional), Minas Gerais (16,1%) e Bahia (9,9%) (Indicadores IBGE, 2015).

O feijoeiro é cultivado em diferentes épocas do ano, garantindo abastecimento constante no mercado ao longo do ano. Em épocas de plantio como primavera-verão e verão-outono, normalmente não se utiliza irrigação devido a predominância de ocorrência de chuvas. Já em períodos como outono-inverno e inverno-primavera, a irrigação é necessária, e normalmente feita com sistema de aspersão convencional, por quem possui a tecnologia (VIEIRA, 2004).

É uma cultura em que pouco se utiliza irrigação no plantio, normalmente é cultivada de modo sequeiro. Mas o suprimento hídrico regular contribui para elevadas produtividades, explorando mais o potencial produtivo da planta (REZENDE *et al.*, 2004).

O feijoeiro é uma planta de ciclo curto e exigente em nutrientes para manter uma boa produtividade. O nitrogênio é o principal deles, inclusive na fase vegetativa de desenvolvimento. Essa planta mantém associação com bactérias do gênero *Rhizobium* que contribui para atender parte da exigência desse nutriente (BINOTTI *et al.*, 2007).

No solo, ocorrem muitas reações desses nutrientes com a água depositada e as partículas de argila, silte e areia, que eventualmente ocasionam perdas do nitrogênio tanto na forma líquida como sólida. Com isso, aditivos na adubação nitrogenada podem ser utilizados para minimizar essas perdas.

O produto NZone[®] evita essas perdas envolvendo o grânulo da ureia com Alkylarypolioxetileno glicol. Esse último é um polímero de solubilização lenta; promovendo a transformação química por meio de polímeros de cálcio, modificando assim a ureia em amônio; e, com a polimerização e ação do carbonato de cálcio, permitindo adsorção de amônio aos colóides do solo (AgXplore, 2015).

Além da adubação a irrigação é outro fator essencial para um bom desempenho da cultura no campo, principalmente quando cultivada em um período de difícil ocorrência de chuvas. Quando bem manejada faz com que a planta consiga expressar melhor o seu potencial produtivo, além de balancear a questão ambiental, envolvendo a sustentabilidade, quando o assunto é escassez de recursos hídricos.

De acordo com o boletim da FAO (ALEXANDRATOS & BRUINSMA, 2012), as áreas irrigadas passaram por uma expansão com expectativa de produzir mais em uma mesma quantidade de terra cultivada a fim de suprir a demanda mundial de alimentos que aumenta progressivamente, e também de atender áreas de poucos recursos e com difícil acesso. Essa expansão decairá principalmente sobre os países subdesenvolvidos, onde possuem quantidades maiores de terras cultiváveis.

O Brasil, é conhecido por sua produção agrícola, tem a possibilidade de aumentar suas terras aráveis e o potencial produtivo das culturas. Para isso, a tecnologia de um manejo de irrigação e um suprimento nutricional adequadamente aplicados, terão papel importante no desencadeamento do aumento de produção.

O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade de grãos do feijoeiro em função da variação da disponibilidade hídrica para a cultura e a adição do NZone[®] à adubação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre julho e outubro de 2015, na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra – MG, situada na zona da mata de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 20° 45' S 42° 5" W, 698 m de altitude. Segundo a classificação de Köpen, o clima é do tipo Cwb, mesotérmico, com verões chuvosos e invernos frios e secos.

O tipo de solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, fase terraço, com textura argilosa (ANDRADE *et al.*, 2005).

A cultivar de feijoeiro utilizada foi a Ouro Vermelho e a semeadura foi realizada utilizando 14 sementes por metro, com espaçamento entre linhas de 0,5 m. Foi feito controle fitossanitário com Metamidofós e Frowncide para prevenir ataque de pragas e doenças, dentre essas o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), mais comum de ocorrer na época em que a cultura foi instalada no campo.

Foram utilizados quatro níveis de irrigação e a inclusão do aditivo NZone[®]. A adubação seguiu a recomendação de Chagas *et al.* (1999) na aplicação de plantio e cobertura, entretanto, em uma parcela incluiu o NZone[®] de forma incorporada no adubo e outra permaneceu sem aditivo. A dosagem utilizada de NZone[®] foi de 150 mL a cada 50 kg de ureia ou NPK.

Foram aplicados quatro níveis de irrigação: 30, 80, 100 e 145% da necessidade de lâmina de irrigação calculada. Esses níveis proporcionam lâminas de irrigação totais (irrigação + precipitação efetiva) de 239, 309, 322 e 386 mm, respectivamente.

A irrigação de referência foi obtida por meio da Equação 1, utilizando a evapotranspiração de referência (ET₀) de acordo com a equação proposta por Allen *et al.* (1998), e coeficientes dependentes da planta, do solo e do sistema de irrigação conforme BERNARDO *et al.* (2006).

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_s \cdot K_l \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

ETc: evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;
ETo: evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;
Kc: coeficiente da cultura;
Ks: coeficiente de estresse hídrico;
KI: coeficiente da forma de molhamento.

Os coeficientes de cultivo (Kc) para as fases de germinação/emergência, reprodução e senescência/maturação dos grãos foram de 0,5, 1,15 e 0,3, respectivamente (ALLEN *et al.*, 1998). O coeficiente de estresse hídrico (Ks) foi obtido por meio da metodologia de Pierce. O coeficiente de molhamento (KI) foi igual a unidade, pois a irrigação foi realizada através do sistema de aspersão convencional, molhando 100% da área (BERNARDO *et al.*, 2006).

O equipamento de irrigação constava de um pivô central de uma torre irrigando uma área de 2 ha de comprimento de 60 m mais 20 m de vão em balanço. A intensidade de aplicação era de 2 mm h⁻¹ e uma vazão de 12,5 m³ h⁻¹.

O solo em que foi feito o experimento possui teores de água equivalentes a umidade de capacidade de campo e ponto de murcha de 34% e 18% (bs), respectivamente; e densidade do solo de 1,28 g cm⁻³. Utilizou-se um valor de profundidade efetiva máxima do sistema radicular (Z) de 40 cm. Adotou-se um fator de disponibilidade hídrica de 0,5. O solo e a água utilizados não apresentavam problemas de salinidade. Esse primeiro possuía uma condutividade elétrica de 0,058 dS m⁻¹ e pH de 5,04.

A concentração de fósforo no solo antes da semeadura era de 23,4 mg dm⁻³, de potássio foi de 81 mg dm⁻³, cálcio 2,81 cmol_c dm⁻³, magnésio 1,14 cmol_c dm⁻³, ausência de alumínio, acidez potencial de 3,6 cmol_c dm⁻³, soma de bases 4,16 cmol_c dm⁻³, índice de saturação por bases de 53,6%. De acordo com Alvarez V. *et al.*, (1999) o solo apresenta classificação variando de bom a médio na avaliação da concentração e característica de cada elemento analisado.

O solo apresenta a seguinte curva de retenção de água (Figura 1) e a equação proposta por van Genuchten (1980) com seus parâmetros ajustados (Equação 2).

Até o final da fase vegetativa da cultura foi aplicado o nível de 100% de lâmina de irrigação nos tratamentos, seguindo a diferenciação dos níveis a partir do início da fase reprodutiva. As lâminas foram calculadas com base em dados de uma estação agrometeorológica instalada próximo à área de cultivo que registra e afere a cada hora a temperatura máxima (°C), mínima (°C) e média (°C), velocidade do vento (m s⁻¹), umidade relativa do ar média (%), radiação solar (W m⁻²) e precipitação (mm) dos dias anteriores até a última irrigação.

A determinação da quantidade a ser irrigada era quantificada unicamente através do método citado de cálculo de ETc, a umidade do solo era feita periodicamente para fins de monitoramento da

quantidade de água disponível no solo na camada considerada de crescimento radicular. No caso da ocorrência de chuvas, quando essa ocorria em grande quantidade, a irrigação era suspensa e a umidade do solo monitorada para conhecimento do momento adequado da retomada das irrigações.

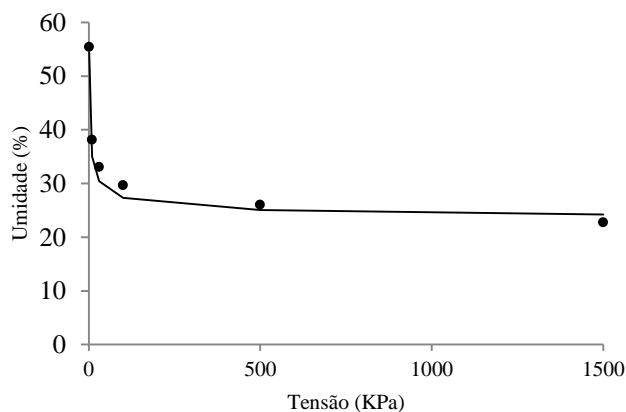


Figura 1. Curva de retenção de água do solo em que foi feito o estudo.

$$\theta = 0,228 + \frac{(0,555 - 0,228)}{[1 + (0,55 \cdot |\Psi_m|^{9,69})]^{0,045}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

Θ : umidade

Ψ : potencial matricial

As parcelas colhidas contavam de três fileiras de plantas com 4 m linear, sendo realizada quatro amostragens por parcela.

Após a colheita determinou-se a produtividade (Prod) através da obtenção da produção de grãos da parcela e transformada em kg ha^{-1} ; o número de grãos por vagem (NSV), em que foi feito amostragem de um determinado número de vagens aleatoriamente, contabilizado o número de sementes e dividindo pelo número de vagens; número de vagens por planta (NVP), em que foram contabilizadas as vagens das plantas colhidas de uma das linhas de semeadura, sempre a linha central, e dividida pelo número de plantas utilizadas; massa de 100 grãos (M100), em que se tomou aleatoriamente 100 grãos e com isso obtido sua massa; Biomassa (BIO), em que foi pesado todas as plantas colhidas na parcela depois de seca, incluindo parte aérea juntamente com as vagens fechadas e a parte radicular.

Aos 60 e 90 dias depois da semeadura foi feito coleta de raiz na linha e na entre linha de semeadura, calculando a densidade de raiz (Da) e profundidade efetiva (Ze). A coleta foi feita com auxílio de um trado até a profundidade de 0,4 m, onde foram encontradas raízes, estratificando essa

amostragem em camadas de 10 cm. Foram feitas duas repetições em cada parcela de cada posição de coleta. A densidade de raiz (Da), em que foi obtido contabilizando massa de raiz colhida e fazendo a relação para o volume de amostra coletado, e profundidade radicular efetiva (Ze), através da distribuição de massa radicular entre camadas acumuladas, se obteve profundidade até onde se concentrava 80% das raízes.

Avaliou-se também quatro tipos de índices de produtividade da água, o WP¹, em que é estudada a relação de produtividade dos grãos e quantidade de água total aplicada; WP², em que é avaliada a relação de biomassa no final do ciclo da cultura com o total de água aplicada; IWP, em que estuda a relação da produtividade de grãos e a água aplicada somente através da irrigação, tirando assim a quantidade de chuva ocorrida; e EWP, que é a relação da produtividade com a evapotranspiração da cultura (ALI & TALUKDER, 2008).

A área experimental total foi de 0,5 ha, plana e uniforme. O experimento foi analisado seguindo o modelo de hierarquia e aninhamento dos dados para avaliar a significância e conhecer a relação entre eles, se é linear ou quadrática. Foi feito um quadro de análise para os tratamentos com NZone[®] e outro para os tratamentos sem NZone[®] e avaliado o efeito dos níveis de irrigação em cada um deles. Foi utilizado o procedimento PROC MIXED do SAS.

A análise de regressão comum foi elaborada considerando os efeitos linear e quadrático. Foi feito também análise de regressão segmentada considerando o efeito biológico, cujo é uma análise de regressão mais sensível, para estimar o nível de ótimo da lâmina de irrigação (X₀) em cada variável analisada (*plateau*) (KAPS & LAMBERSON, 2004), utilizando o procedimento PROC GLM e PROC NLIN, respectivamente, do SAS (SAS Institute, 2010, Versão 9.1.3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas foram aumentando gradativamente entre os meses de julho e outubro (Figura 2A). A radiação apresentou o mesmo comportamento (Figura 2B). A temperatura média para o mês de agosto, setembro e outubro de 2015 foram, respectivamente, 26,4, 28,3 e 31,4°C; a mínima média, seguindo a mesma ordem, foi de 11,5, 15,8 e 17,1°C; a radiação média para esse período foi de 120,3 W m⁻² no mês de agosto, 126,2 W m⁻² em setembro e 157,8 W m⁻² em outubro.

A precipitação efetiva é a quantidade de água que infiltra no solo e é aproveitada pelo sistema radicular. Foi possível observar que nos menores níveis de irrigação, a precipitação efetiva foi maior devido o solo apresentar menor teor de água (Tabela 1).

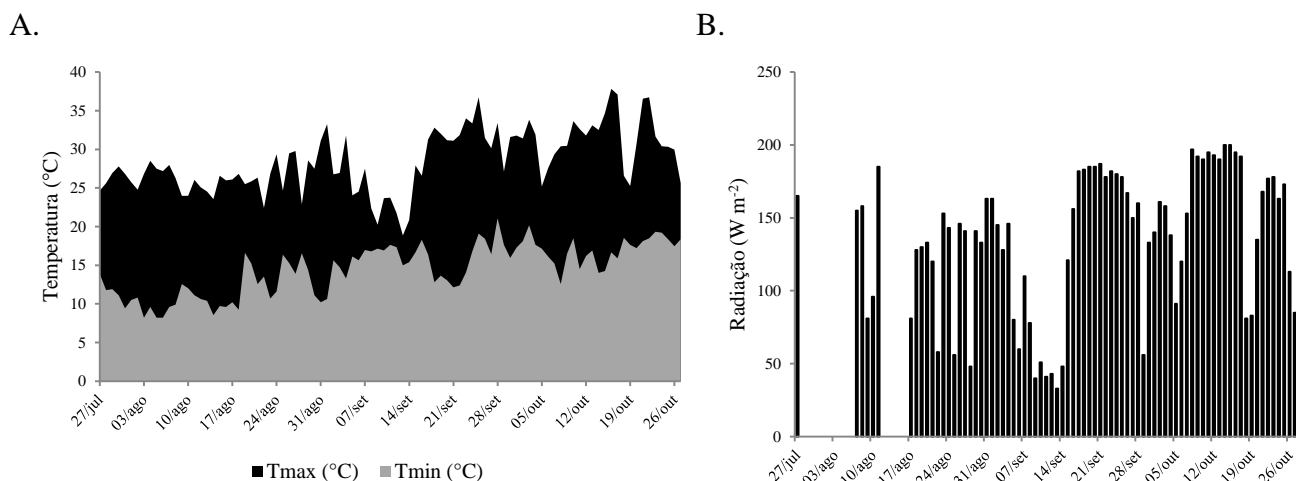


Figura 2. Temperatura máxima e mínima (A) e radiação (B) registrados durante o período de julho a outubro de 2015.

Tabela 1. Quantidade de lâmina aplicada e precipitação efetiva e não aproveitada pela cultura de acordo com cada tratamento.

Níveis de irrigação	Lâmina de irrigação aplicada	Precipitação não efetiva	Precipitação efetiva	Total de água aplicada
30%	175,8	83,7	63,2	322,7
80%	256,0	93,5	53,4	402,9
100%	272,3	97,3	49,6	419,2
145%	345,9	106,9	40,0	492,8

Na Tabela 2 se observa análise de contraste feita entre os tratamentos para se conhecer se o NZone[®] apresenta efeito estatístico no comportamento das variáveis analisadas.

Tabela 2. Análise de contraste entre os tratamentos de lâmina de irrigação aplicadas e as variáveis de produtividade (Prod), massa de 100 grãos (M100), número de sementes por vagem (NSV), número de vagens por planta (NVP), biomassa (Bio), WP¹, WP², IWP, EWP, densidade de raiz (Da) e profundidade radicular efetiva (Ze), e sua significância para $p < 0,05$.

Lâminas de irrigação	Prod	M100	NSV	NVP	Bio	WP ¹	WP ²	IWP	EWP	Da	Ze
30%	0,20	0,42	0,76	0,12	0,09	0,14	0,05*	0,09	0,20	0,52	0,02*
80%	0,16	0,33	0,06	0,28	0,57	0,17	0,59	0,18	0,16	0,29	0,56
100%	0,88	0,98	0,90	0,84	0,56	0,89	0,58	0,89	0,88	0,89	0,46
145%	0,36	0,99	0,95	0,85	0,06	0,43	0,11	0,47	0,36	0,09	0,34

*significativo para efeito do NZone[®] a um valor de $p < 0,05$

Observou-se através da Tabela 2 que o NZone[®] possui efeito apenas na lâmina de irrigação de 30% para as variáveis WP² e Ze, não ocorrendo o mesmo a um nível de significância de 5% para as demais variáveis.

Na Figura 3 foi apresentado a relação da regressão linear, a significância o valor de p a 5% de cada parâmetro e entre as concentrações de lâmina aplicada ao longo do ciclo da cultura, ou as médias quando não se observou significância para algum tipo de ajuste matemático.

De acordo com a análise de regressão segmentada foi possível observar valores ótimos para as lâminas de irrigação testadas (Tab. 3). Nas variáveis de massa de 100 grãos, biomassa, WP^2 e EWP se nota que o valor ótimo observado foram com elevados valores de lâmina de irrigação. Nas Tabelas 4 e 5 se nota que essas variáveis tem correlação com as lâminas de irrigação, o que reforça o comportamento linear observado.

Observou-se que a produtividade apresentou relação linear significativa para os níveis de irrigação na adubação com e sem o aditivo NZone[®] (Figura 3A). Foram obtidas médias de 3350 e 2300 kg ha⁻¹ nos tratamentos com e sem NZone[®], respectivamente. Observou-se também correlação positiva das lâminas de irrigação com a produtividade para o tratamento com NZone[®] (Tabela 4).

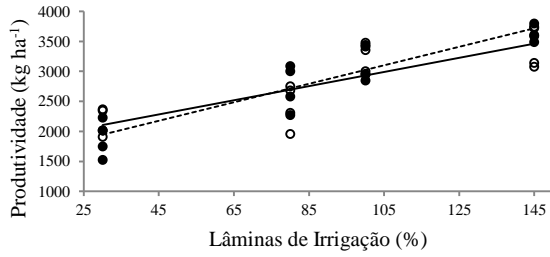
O comportamento linear da produtividade de acordo com as lâminas leva à hipótese de que a ocorrência de temperaturas acima dos 30°C por um período no estágio de floração e formação das vagens possa ter influenciado. As parcelas que receberam maior quantidade de irrigação, como as do L145, podem não ter sofrido tanto com o calor excessivo por estarem com o solo constantemente muito úmido, tendo assim energia disponível para ser utilizada para as trocas de calor com a atmosfera. Enquanto que as outras parcelas, que receberam menor quantidade que L145 estavam com o solo com menor teor de água, sentindo mais com a perda de calor, chegando assim a afetar o desempenho da planta, que nesse período se encontrava no estágio crucial para o desempenho final da produção de grãos.

Outra hipótese possível para a causa desse comportamento é a época em que o cultivo foi realizado. Devido a predominância de condições climáticas amenas, a demanda evapotranspirométrica através do método de cálculo adotado não foi tão elevado quanto seria se o cultivo fosse realizado na época do verão, por exemplo, não permitindo assim que a planta expressasse sua máxima demanda.

Alguns autores concordam com a relação apresentada. No trabalho de Andrade Júnior *et al.* (2002), obtiveram uma relação quadrática das lâminas aplicadas com a produtividade do feijão, obtendo um ponto ótimo através da equação de regressão de 387 mm, sendo além disso prejudicial à produção, lâmina essa semelhante ao aplicado no tratamento L145.

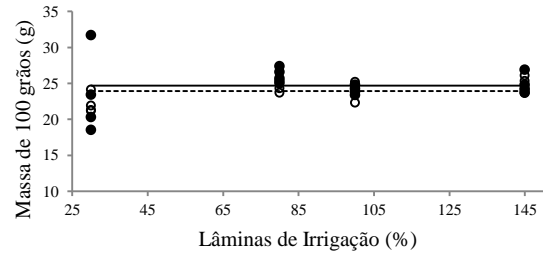
Esse comportamento linear também foi observado por Blanco *et al.* (2011), onde aplicaram níveis crescentes de lâmina de irrigação até cerca de 550 mm.

A.



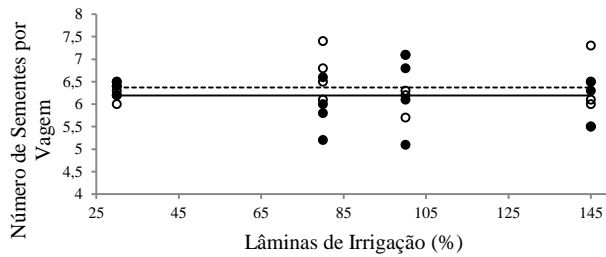
Tratamento sem NZone[®]: $\text{Prod} = 11,63\text{LI} + 1777,2$
 $p = 0,0091$ $R^2 = 0,85$
 Tratamento com NZone[®]: $\text{Prod} = 15,26\text{LI} + 1507,07$
 $p = 0,0296$ $R^2 = 0,97$

B.



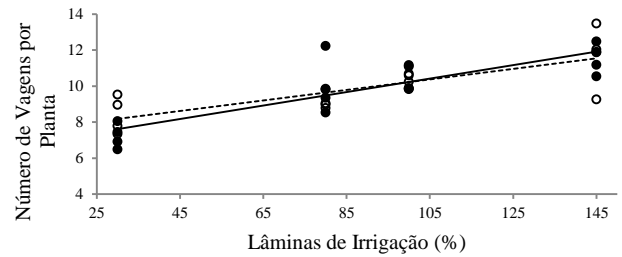
Tratamento sem NZone[®]: $M100 = 23,9$ g
 Tratamento com NZone[®]: $M100 = 24,7$ g

C.



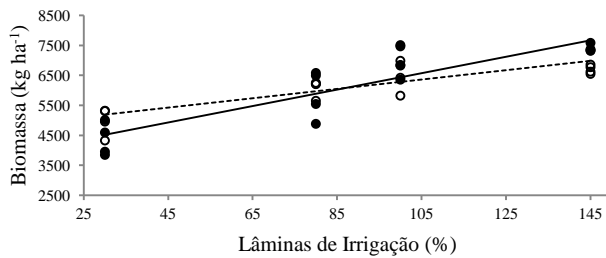
Tratamento sem NZone[®]: $\text{NSV} = 6,4$
 Tratamento com NZone[®]: $\text{NSV} = 6,2$

D.



Tratamento sem NZone[®]: $\text{NVP} = 0,029\text{LI} + 7,36$
 $p = 0,0138$ $R^2 = 0,94$
 Tratamento com NZone[®]: $\text{NVP} = 0,037\text{LI} + 9,51$
 $p = 0,0684$ $R^2 = 0,94$

E.



Tratamento sem NZone[®]: $\text{Bio} = 15,42\text{LI} + 4750,11$
 $p = 0,0041$ $R^2 = 0,84$
 Tratamento com NZone[®]: $\text{Bio} = 27,17\text{LI} + 3736,49$
 $p = 0,0623$ $R^2 = 0,94$

-----○ Sem NZone —● Com NZone

Figura 3. Análise de regressão ente os tratamentos com NZone[®] e sem NZone[®] na produtividade (A), massa de 100 grãos (B), número de sementes por vagem (C), número de vagens por planta (D) e biomassa (E) com suas respectivas equações significativas e médias.

Tabela 3. Análise de regressão segmentada em cada variável analisada de acordo com o tipo de tratamento de adubação (TA), se vem a ser com NZone[®] (NZ) ou sem NZone[®] (SNZ), com seus valores de lâmina de irrigação, em porcentagem, representado por X₀, e o valor ótimo, representado pelo plateau.

Variável	TA	X ₀	Plateau
Massa de 100 grãos (g)	SNZ	78	24,5
Número de sementes por vagem	NZ	73	6,1
Número de sementes por vagem	SNZ	58	6,4
Biomassa (kg ha ⁻¹)	SNZ	138	6734,5
WP ² (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	NZ	139	17,6
WP ² (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	SNZ	64	16,5
IWP (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	NZ	143	13,2
EWP (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	SNZ	143	13,2
Densidade radicular (g cm ⁻³)	NZ	29	0,4
Densidade radicular (g cm ⁻³)	SNZ	44	0,3
Profundidade radicular efetiva (cm)	SNZ	71	18,2

Tabela 4. Correlação entre as variáveis no tratamento com NZone[®].

	Prod ⁽²⁾	M100 ⁽³⁾	NSV ⁽⁴⁾	NVP ⁽⁵⁾	BIO ⁽⁶⁾	WP ¹	WP ²	IWP	EWP	Da ⁽⁷⁾	Ze ⁽⁸⁾
LI ⁽¹⁾	0,92**	0,14	-0,12	-0,05	0,62*	0,50*	0,57*	0,42	0,70**	-0,046	0,07
Prod		0,0023	-0,26	-0,21	0,76**	0,47	0,78**	0,72**	0,84	-0,21	-0,10
M100			0,21	0,26	-0,14	0,16	-0,18	-0,32	-0,14	0,25	0,32
NSV				0,76**	-0,60*	0,48	-0,46	-0,52*	-0,61*	0,76**	0,74**
NVP					-0,77**	0,73**	-0,63*	-0,58*	-0,69**	0,99**	0,97**
BIO						-0,16	0,94**	0,83**	0,98**	-0,77**	-0,69**
WP ¹							0,027	0,069	-0,050	0,73**	0,76**
WP ²								0,93**	0,92**	-0,62*	-0,57*
IWP									0,84**	-0,57*	-0,56*
EWP										-0,69**	-0,61*
Da											0,97**

⁽¹⁾ Lâminas de irrigação; ⁽²⁾ produtividade; ⁽³⁾ massa de 100 grãos; ⁽⁴⁾ número de sementes por vagem; ⁽⁵⁾ número de vagens por planta; ⁽⁶⁾ biomassa; ⁽⁷⁾ densidade de raiz; ⁽⁸⁾ profundidade radicular efetiva. *significante a 5%, **significante a 1%.

Esses valores de produtividade observados foram superiores aos encontrados por Binotti *et al.* (2007) e Andrade *et al.* (2005), sendo o primeiro cultivado feijão no período seco e o outro na estação chuvosa. E um valor inferior a algumas observações feitas por Renato (2013) em um estudo com simulação de aumento de temperatura. Richetti *et al.* (2011), obtiveram uma produtividade para feijão irrigado de 2400 kg ha⁻¹ para a região do centro oeste, valor observado no nível de irrigação de 100% do tratamento sem NZone[®].

Esses valores de produtividade corroboram com os resultados apresentados por Silva (2005) para a mesma variedade de feijão utilizada neste trabalho e cultivada na Zona da Mata de Minas Gerais, em que apresentou um valor para o período de inverno de 3680 kg ha⁻¹. A diferença entre os

valores obtidos nesse trabalho e por Silva (2005) se deu possivelmente devido a ocorrência das altas temperaturas que prejudicou a polinização.

Blanco *et al.* (2011) apresentaram relação linear crescente para a quantidade de lâmina aplicada e o número de vagens por planta, ultrapassando os 600 mm de lâmina de irrigação mais a chuva, o que indica que para tais condições, a cultura não expressou seu ponto ótimo. Provavelmente devido a época em que foi cultivado, a ET_c não ter sido elevada devido às condições climáticas do final do inverno e início do outono.

Na variável de massa de 100 grãos não foi observada significância a 5% para algum tipo de resposta matemática (Fig. 3B), no entanto, foi possível observar um valor ótimo de 24,54 g a uma lâmina de irrigação de 78% (Tabela 3), devido a regressão segmentada seguir o comportamento biológico, com isso, se torna uma análise de regressão mais sensível que a linear e a quadrática. Mas devido a componente não ter sido significativa para algum tipo de ajuste matemático observado na análise de hierarquia e aninhamento, esse valor não pode ser usado para alguma inferência.

Os valores médios de massa de 100 grãos foram superiores aos encontrados por Silva *et al.* (2012) em tratamento sem molibdênio, próximo ao obtido por Meira *et al.* (2005).

Ainda se observou correlação da massa de 100 grãos com a biomassa (Tabela 5), o que pode indicar que o peso de 100 grãos obtidos na produção final vai exercer influência na quantidade de biomassa no final da produção, logo que esse último integra toda a massa de planta colhida. Também se observou correlação com as lâminas aplicadas e outras variáveis, o que indica que o NZone[®] possivelmente influenciou no desempenho dessa variável, e que a regressão não teve sensibilidade para mostrar algum tipo de relação matemática.

No número de sementes por vagem também não foi observado significância para algum tipo de modelo de regressão (Fig. 3C), e foi observado um *plateau* nos tratamentos com e sem NZone[®] (Tab. 3).

A baixa variação dos dados observada nos tratamentos e a não significância para algum tipo de ajuste matemático também foi observada no trabalho de Meira *et al.* (2005), com uma média de 5,43 sementes por vagem, e também por Sant'Ana *et al.* (2011).

O número de vagens por planta apresentou relação linear com as lâminas de irrigação (Fig. 3D). Durante o experimento, o NVP pode ter sofrido uma redução com às altas temperaturas ocorridas durante um período de aproximadamente 18 dias na fase de floração e formação de vagens, ultrapassando o limite acima dos 30°C, cujo é o limite máximo que a planta tolera sem prejudicar seu desempenho.

Tabela 5. Correlação entre as variáveis no tratamento sem NZone®.

	Prod ⁽²⁾	M100 ⁽³⁾	NSV ⁽⁴⁾	NVP ⁽⁵⁾	BIO ⁽⁶⁾	WP ¹	WP ²	IWP	EWP	Da ⁽⁷⁾	Ze ⁽⁸⁾
LI ⁽¹⁾	0,82**	0,64**	-0,049	0,78**	0,79**	0,46	0,042	-0,038	0,82**	-0,0032	-0,35
Prod		0,47	0,01	0,81**	0,74**	0,88**	0,25	0,52*	1**	0,26	-0,30
M100			0,29	0,48	0,75**	0,21	0,34	-0,14	0,47	-0,047	-0,46
NSV				-0,12	0,17	0,018	0,26	-0,0074	0,018	0,10	-0,0078
NVP					0,69**	0,62**	0,21	0,27	0,81**	0,0087	-0,44
BIO						0,51*	0,61*	0,10	0,74**	0,23	-0,53**
WP ¹							0,39	0,85**	0,88**	0,45	-0,24
WP ²								0,39	0,25	0,50*	-0,46
IWP									0,52*	0,52*	-0,083
EWP										0,26	-0,30
Da											-0,39

⁽¹⁾ Lâminas de irrigação; ⁽²⁾ produtividade; ⁽³⁾ massa de 100 grãos; ⁽⁴⁾ número de sementes por vagem; ⁽⁵⁾ número de vagens por planta; ⁽⁶⁾ biomassa; ⁽⁷⁾ densidade de raiz; ⁽⁸⁾ profundidade radicular efetiva. *significante a 5%, **significante a 1%.

Os dados apresentados por Crusciol *et al.* (2007) e Soratto *et al.* (2005) concordam com o número de vagens por planta obtido nos tratamentos com e sem NZone®. Esses também observaram comportamento linear do NVP de acordo com o aumento dos níveis de lâmina de irrigação.

Na Tabela 5 notou-se correlação no número de vagens por planta com a produtividade e com as lâminas de irrigação, o que leva a pressupor que o comportamento dessa variável sofreu influência das lâminas e refletiu na produtividade final de grãos.

Na biomassa se obteve significância a 10% e a 5% para o tratamento com NZone® e sem NZone® respectivamente, para relação linear com os níveis de irrigação. Se observou que sob baixos níveis de lâmina de irrigação a biomassa do tratamento sem NZone® (Fig. 3E) foi mais elevado do que com NZone®, fato que ocorreu inversamente no gráfico de produtividade (Fig. 3A), o que pode ser explicado devido ação do produto sob baixos níveis de água no solo, tornando o nitrogênio mais disponível no solo e favorecendo o desenvolvimento vegetativo da planta.

A biomassa no tratamento com NZone® apresentou correlação positiva com a produtividade e com as lâminas de irrigação (Tab. 5), tendo com isso que uma planta com maior quantidade de biomassa significa que tenha se desenvolvido melhor e conseqüentemente seu potencial produtivo também é maior. Também indica que o aditivo possivelmente possui efeito nessas variáveis.

No tratamento sem NZone® se observou um valor ótimo de biomassa com uma concentração de quantidade de água irrigada de 138%, o que pode resultar em 6734,5 kg ha⁻¹ (Tab. 3).

De acordo com Khan *et al.* (2010), a restrição de disponibilidade hídrica para a cultura reduz a produção de biomassa total, o que por sua vez compromete a capacidade da planta sustentar uma alta produtividade, principalmente se essa restrição acontecer em uma fase crucial dos estágios fenológicos, como ocorreu nesse trabalho, em que o estresse hídrico foi aplicado a partir do início

da floração. Sob condições de sequeiro, conhecer o período de cultivo mais propício é essencial quando se tenta evitar que a cultura tenha resposta negativa ao estresse hídrico.

Na Figura 4A, se observou uma relação inversamente proporcional da produtividade com o IWP a partir da lâmina de irrigação L100, o que de acordo com Ali & Talukder (2008) pode ocorrer, pois nem sempre o IWP vai ser proporcional a elevadas produtividades.

Para os índices de produtividade da água WP¹ e WP² não foi observado algum tipo de relação para com os níveis de irrigação. No entanto, apesar da pouca variação há um considerável reflexo na produtividade e biomassa. Na Figura 5A e 5B há um leve aumento da eficiência do uso da água no nível de irrigação 100%.

Na Tabela 5 se observa a correlação significativa desses parâmetros com as lâminas de irrigação e produtividade, o que reforça o indicativo de comportamento linear e ressalta a influências das lâminas de irrigação.

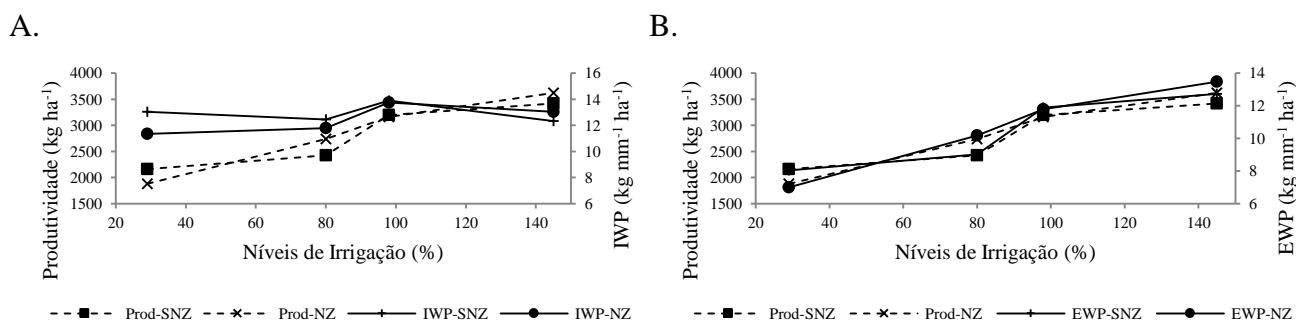


Figura 4. Relação do IWP nos tratamentos com NZone[®] (IWP-NZ) e sem NZone (IWP-SNZ) (A) e do EWP nos tratamentos com NZone[®] (EWP-NZ) e sem NZone[®] (EWP-SNZ) (B) com a produtividade com o aditivo (Prod-NZ) e sem ele (Prod-SNZ).

Wakrim *et al.* (2005) observaram uma diminuição do desempenho da cultura conforme havia menor disponibilidade de água, mas ao mesmo tempo a eficiência do uso da água apresentava aumento. Tendo em vista que o sistema radicular das plantas que vão estar sobre déficit hídrico, vai estar mais desenvolvido em profundidade devido à procura de água no solo, a cultura estará aproveitando melhor a disponibilidade de água que encontra ao longo do perfil.

Quando se analisa o IWP, notou-se que quando a parcela é adequadamente irrigada, a cultura apresenta um bom desempenho, diminuindo em quantidades que caracterizam déficit ou excedente, mesmo quando concomitantemente a produtividade é crescente (Figura 4A). Esse oposto de produtividade aumentando simultaneamente a uma diminuição do IWP pode indicar que provavelmente para a quantidade de grão produzida em quantidades irrigadas muito além do necessário pode caracterizar uma produtividade maior, porém apresente uma relação custo/benefício menor, o que talvez não compense os gastos obtidos durante o cultivo para a

diferença de produtividade obtida. Isso é refletido se observando correlação entre o IWP e a produtividade, apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Na Tabela 3 se observa que através da regressão segmentada foi possível obter um ponto máximo de IWP se aplicado quantidade de água de 143% em relação a ET_c quando se aplicou o NZone[®], mas devido essa variável não ter sido significativo para algum ajuste matemático de regressão, não se pode fazer inferências sobre esse valor.

Na Tabela 5 se observa correlação do IWP para algumas variáveis, como produtividade e biomassa. Isso indica que a influência do aproveitamento da água pela cultura no seu rendimento final.

No entanto, há casos em que mesmo que a parcela sofra déficit, essa ainda apresente uma produtividade equivalente ao de uma parcela bem irrigada. Isso se dá através da forma como o estresse é aplicado e o momento.

De acordo com Ali & Talukder (2008), quando o estresse é posto de forma progressiva, a planta consegue se adaptar ao novo ambiente e com isso sua evapotranspiração não é seriamente afetada. Entretanto, quando se dá de forma contrária, repentinamente, o rendimento é afetado através da redução, principalmente, da taxa de evapotranspiração. Ou ainda, no caso do feijoeiro, há estágios em que a planta responde positivamente à restrição de água.

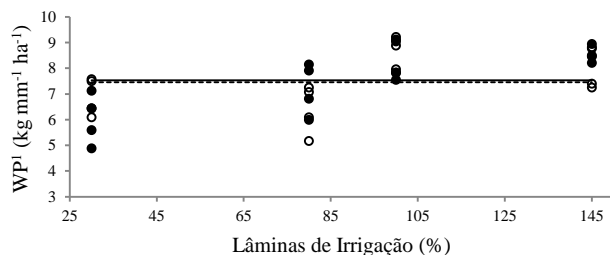
No caso desse trabalho o estresse foi aplicado na fase de floração e enchimento dos grãos, porém não foi observada diferença significativa do IWP entre os tratamentos, somente um pequeno aumento deste no nível de lâmina de irrigação próximo aos 100% da quantidade de lâmina.

O estresse ao feijoeiro é benéfico quando aplicado na fase de maturação dos grãos, quando a vagem inicia seu processo de secagem no campo (GEERTS & RAES, 2009). Quando dado de forma estratégica pode melhorar o rendimento da cultura no campo, como observado por Gençođlan *et al.* (2006), Hegab *et al.* (2014) e Satriani *et al.* (2015). Contribuindo com isso para melhoria dos índices de produtividade da água, que é o que se busca em períodos em que há restrição da disponibilidade de recursos hídricos.

A relação dos índices de produtividade da água é condizente ao rendimento da planta sob condições de diferentes níveis de lâmina de irrigação, progredindo até atingir um ponto ótimo (GEERTS & RAES, 2009). No entanto, no caso desse trabalho não foi observado um ponto ótimo para a cultivar de feijão estudada, necessitando assim de mais estudos com aumento da quantidade de lâmina aplicada.

Na Figura 5A, 5B e 5C se observou que não houve efeito linear significativo para o WP¹, WP² e IWP. No entanto, com o EWP observou relação linear com significância de 5 e 10% de probabilidade para o tratamento com NZone[®] e sem NZone[®], respectivamente (Figura 5D).

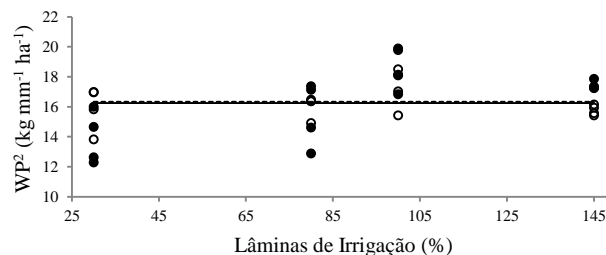
A.



Tratamento sem NZone[®]: $WP^1 = 7,45 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Tratamento com NZone[®]: $WP^1 = 7,53 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

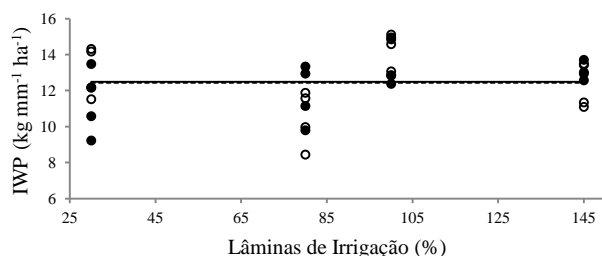
B.



Tratamento sem NZone[®]: $WP^2 = 16,34 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Tratamento com NZone[®]: $WP^2 = 16,25 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

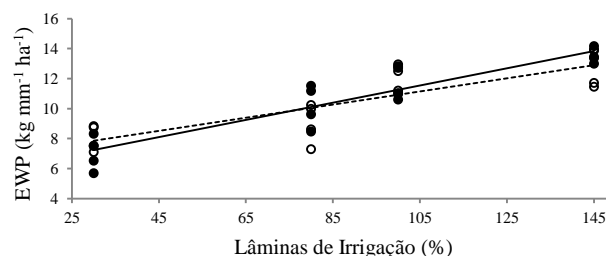
C.



Tratamento sem NZone[®]: $IWP = 12,43 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Tratamento com NZone[®]: $IWP = 12,48 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

D.



Tratamento sem NZone[®]: $EWP = 0,043LI + 6,62$

$p = 0,0771 \text{ R}^2 = 0,85$

Tratamento com NZone[®]: $EWP = 0,057LI + 5,61$

$p = 0,0125 \text{ R}^2 = 0,97$

-----○ Sem NZone[®] —● Com NZone[®]

Figura 5. Análise de regressão ente os tratamentos com NZone[®] e sem NZone[®] nos índices de produtividade da água WP^1 (A), WP^2 (B), IWP (C) e EWP (D) com suas respectivas equações significativas e médias.

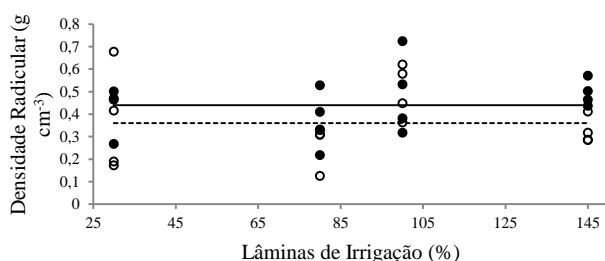
Como o EWP leva em consideração a evapotranspiração, esse vai interferir no aumento da ETC, o que conseqüentemente reflete no potencial produtivo da planta, pois quanto mais energia demandada pela atmosfera, uma planta bem suprida de água tem disponibilidade para enfrentar essa perda para o ambiente sem afetar o funcionamento do seu organismo, o que não compromete sua produção final em relação ao quesito de demanda hídrica. Havendo assim um indicativo de uma relação direta de evapotranspiração – produtividade/rendimento, exercendo influência nas variáveis ligadas à produtividade da planta.

Através da Figura 4B se observa que o aumento do EWP de acordo com os níveis de lâmina de irrigação é condizente com o aumento da produtividade. Nas Tabelas 4 e 5 a correlação dá embasamento a essa inferência. O que além da produtividade, é possível observar que a eficiência

do potencial de evapotranspiração pela planta também vai exercer influência em outras variáveis relacionadas à produtividade, tais como o número de vagens por planta e número de sementes por vagem, e também nas próprias lâminas de irrigação.

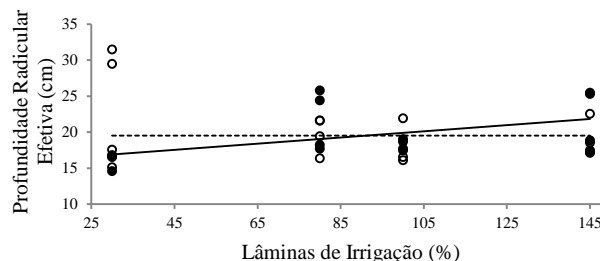
Na variável densidade de raiz não se observou algum tipo de relação linear ou quadrática (Fig. 6A). Mas ao mesmo tempo foi possível observar um *plateau* para concentrações mínimas de lâmina de irrigação (Tabela 3). Esse apresentou valores médios de 0,45 e 0,36 g cm⁻³ nos tratamentos com NZone[®] e sem NZone[®], respectivamente. Nas Tabelas 4 e 5 nota-se que a densidade de raiz apresenta correlação com as variáveis ligadas à produtividade. Com isso, um sistema radicular bem estruturado e em completa exploração do solo no seu entorno está diretamente relacionado a um bom desenvolvimento da planta.

A.



Tratamento sem NZone[®]: $D_a = 0,36 \text{ g cm}^{-3}$
 Tratamento com NZone[®]: $D_a = 0,44 \text{ g cm}^{-3}$

B.



Tratamento sem NZone[®]: $Z_e = 19,5 \text{ cm}$
 Tratamento com NZone[®]: $Z_e = 0,043LI + 15,59$
 $p = 0,0441 \text{ R}^2 = 0,58$

-----○ Sem NZone[®] —● Com NZone[®]

Figura 6. Análise de regressão ente os tratamentos com NZone e sem NZone na densidade radicular (A) e profundidade radicular efetiva (B) com suas respectivas equações significativas e médias.

A correlação de densidade radicular com biomassa observada concorda com o apresentado por Bizari *et al.* (2010), em que através de uma relação linear, observaram que a matéria seca das plantas é proporcional à densidade radicular.

Na Figura 7 se observa a distribuição da densidade radicular ao longo do perfil do solo em que foi analisada a presença de raízes. O efeito do NZone[®] possivelmente foi responsável pela maior concentração de raízes na camada de 0 – 10 cm, mas ao longo das demais camadas não é observado diferença expressiva. Esse comportamento pode provavelmente ter ocorrido devido a disposição de adubo nitrogenado no solo ter se concentrado nessas camadas, e como uma das funções do NZone[®] é evitar que o nitrogênio lixivie para as camadas mais profundas, esse deve ter fixado-o na superfície do solo promovendo um melhor desenvolvimento das raízes nessa camada. E também ao tipo de solo argiloso em que foi realizado a semeadura.

Na Tabela 2 se observa que o valor de $p < 0,05$ na profundidade radicular efetiva, o que indica que o NZone[®] pode ter exercido influência nessa variável.

Quando se observa em relação aos níveis de lâmina aplicada, se tem que a maior quantidade de raízes existentes nas camadas mais profundas é através dos tratamentos com menor quantidade de água disponível no solo.

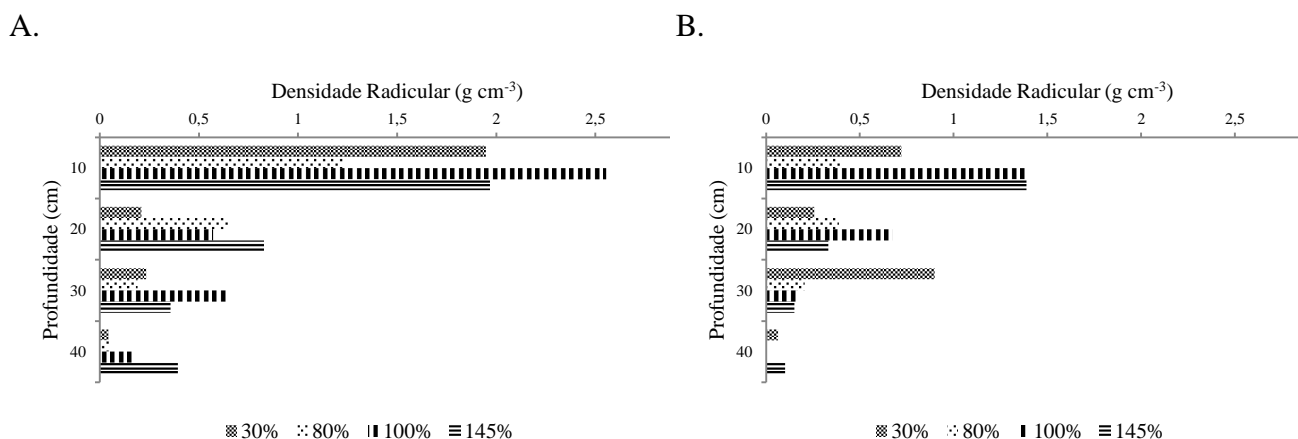


Figura 7. Distribuição da densidade radicular ao longo do perfil de solo analisado nas parcelas adubadas com NZone (A) e sem NZone (B) de acordo com os níveis de lâmina aplicada (30%, 80%, 100% e 145%).

Alves (2014) encontrou distribuição de raízes nas camadas no solo semelhante com observado nesse trabalho quando estudado comportamento de variáveis de feijão irrigado. No entanto, nesse trabalho ele observou presença de raízes até 1,0 m de profundidade. Alsina *et al.* (2011) concordam com a atividade radicular observada em relação à disponibilidade hídrica.

Apesar de mais desenvolvida em termos de profundidade, as raízes das parcelas que sofreram restrição hídrica não contribuíram para uma maior produtividade, como pode ser visto nas Tabelas 4 e 5, com a correlação das componentes da produtividade com a densidade radicular e profundidade efetiva das raízes.

Na Fig. 7B se observa que o tratamento com NZone apresentou efeito linear do Ze com as lâminas de irrigação. Nos tratamentos sem NZone não se observou algum tipo de relação, mas foi possível obter um *plateau* de 18,2 cm com uma lâmina de irrigação mínima de em torno de 70% da ETc (Tabela 3).

Sousa *et al.* (2009) concordam com o apresentado, observando mesmo comportamento com o sistema radicular quando posto sobre situação de restrição hídrica.

CONCLUSÕES

Conclui-se que não foi observado efeito do NZone para a maioria das variáveis analisadas, inclusive na sua produção de grãos.

Se observou comportamento linear das lâminas de irrigação aplicada em relação às produtividades observadas, portanto, com a cultivar de feijoeiro “Ouro Vermelho” se obteve uma produtividade máxima de grãos de 3422 kg ha⁻¹ aplicando uma lâmina de irrigação de 346,0 mm mais 40 mm de precipitação efetiva sem utilizar o aditivo NZone[®].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AgXplore <http://www.agxplore.com/> Acessado em abril de 2015.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World Agriculture Towards 2030/2050, The 2012 Revision**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 154p. 2012.

ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. **Agricultural Water Management**, 95, p. 1201-1213, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Roma, 1998.

ALSINA, M. M.; SMART, D. R.; BAUERLE, T.; HERRALDE, F.; BIEL, C.; STOCKERT, C.; NEGRON, C.; SAVE, R. Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 99-109, 2011.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 5, p. 25-32.

ALVES, D. S. **Aspectos produtivos e fisiológicos de cultivares de feijão irrigado**. 2014. 88f. Tese (Doutor em Ciências)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ANDRADE, C. A. B.; FONTES, P. C. R.; CARNEIRO, J. E. S.; CARDOSO, A. A. Avaliação de critérios de recomendação de adubação sobre a produtividade de cultivares de feijão. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 2, p. 281-285, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Manejo de solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 121-129, 2007.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; CHAMLET, J.; MESQUITA, M.; SALVADOR, C. A. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 172-183, 2010.

BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 1, p. 9-15.

CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LANA, R. M. Q.; RIBEIRO, A. C. Feijão. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 1999. Capítulo 18.4.8, p. 306-307.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, p. 1545-1552, 2007.

CUNHA, A. H. N.; GOMES, F. P.; ARAÚJO, C. S. T.; CARDOSO, A. O.; VALENTE, M. S. Cultivo de feijão irrigado com água residuária e adubado com micronutrientes. **Revista Mirante**, v. 8, n. 1, p. 48-59, 2015.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, 96, p. 1275-1284, 2009.

GENÇOĞLAN, C.; ALTUNBEY, H.; GENÇOĞLAN, S. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. **Agricultural Water Management**, 84, p. 274-280, 2006.

HEGAB, A. S. A.; FAYED, M. T. B.; HAMADA, M. M. A.; ABDRAHMO, M. A. A. Productivity and irrigation requirements of faba-bean in North Delta of Egypt in relation to planting dates. **Annals of Agricultural Science**, v. 59, n. 2, p. 185-193, 2014.

KHAN, H. R.; PAULL, J. G.; SIDDIQUE, K. H. M.; STODDARD, F. L. Faba bean breeding for drought-affected environments: a physiological and agronomic perspective. **Field Crops Research**, 115, p. 27-286, 2010.

Indicadores IBGE. **Estatística da Produção Agrícola**. Março de 2015. 73f.

MEIRA, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 383-388, 2005.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M.; FERREIRA, G. M. Resposta do feijão-caupi às lâminas de irrigação e às doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

RENATO, N. S. **Modelo de crescimento das culturas do milho e do feijão em condições de temperatura e CO₂ atmosféricos elevados**. 2013. 97f. Tese (Doutor em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.

RICHETTI, A.; MELO, C. L. P.; SOUSA, J. P. B. Viabilidade econômica da cultura do feijão comum, safra 2012, em Mato Grosso do Sul. **Comunicado Técnico 173**, Embrapa, 2011.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência do uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.

SATRIANI, A.; LOPERTE, A.; SOLDVIERI, F. Integrated geophysical techniques for sustainable management of water resource. A case study of local dry bean versus commercial common bean cultivars. **Agricultural Water Management**, 162, p. 57-66, 2015.

SILVA, E. B.; SANTOS, S. R.; FONSECA, F. G.; TANURE, L. P. P.; FREITAS, J. P. X. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro irrigado cultivado no norte de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v. 28, suplemento 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, L. C. **Recomendações de cultivares de feijão-vermelho para o estado de Minas Gerais**. 2005. 91f. Tese (Doutor em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 211-218, 2005.

SOUSA, M. A.; LIMA, M. D. B.; SIMON, G. A.; ANDRADE, J. W. S. Efeito do estresse hídrico na densidade do comprimento radicular em estádios do desenvolvimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

WAKRIM, R.; WAHBI, S.; TAHI, H.; AGANCHICH, B.; SERRAJ, R. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 106, p. 275-287, 2005.

VIEIRA, C. Métodos culturais. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 57-59, 2004.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Calibração do software AquaCrop à cultura do feijão de acordo com diferentes regimes de irrigação

Monalisa Soares Costa¹; Everardo Chartuni Mantovani²; Catariny Cabral Aleman²; Fernando França Cunha²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG

²Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG

RESUMO

Os softwares de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas no campo tem tido bastante aplicação, visto o objetivo de técnicos e pesquisadores em busca de evitar perdas no campo e almejar melhorias a cada cultivo. O feijão é bastante cultivado e consumido no Brasil, o que atrai atenção para ajuste do AquaCrop à essa cultura nas condições edafoclimáticas brasileiras. O objetivo desse trabalho foi analisar a resposta do AquaCrop quando ajustado para condições da cultura, de ambiente e irrigação em que foi cultivada. Se observou dados bem próximos e com concordância estatística com o observado, havendo diferenças maiores na simulação do acúmulo de biomassa e balanço hídrico ao longo do ciclo da cultura. A semelhança entre os dados simulados e observados na cobertura do dossel ao longo do ciclo da cultura traduzem uma boa resposta da equação utilizada para converter índice de área foliar em cobertura do dossel para a cultura do feijão. Em conclusão, se observou bom desempenho e concordância entre dados simulados e observados, indicando que o AquaCrop seja um programa confiável à simulação do crescimento e desenvolvimento do feijão, mas ainda necessitando de outros estudos para maior embasamento e veracidade dos índices obtidos.

Palavras-chave: manejo, eficiência do uso da água, função de produção.

ABSTRACT

The simulation software's of crop grow have has had a lot of application, with the aim to be manipulated for the technician and researches for avoid loses on the field and study better yield. The crop bean are very cultivated and consumption in Brazil, that requires attention for adjust on AquaCrop for this crop in soil and climate Brazilian. The aim of this study was to analyze the response of AquaCrop when it was set for conditions of planting, environment and irrigation.

Observed very closed and statistical data agreement with the observed, existing more differences in biomass accumulation and hydric balance in the crop life cycle. The similarity of simulated and observed data of green canopy cover in the crop cycle translate a good answer for the equation used to convert index leaf area to canopy cover for the crop bean. In conclusion, it was observed good performance for the simulated and observed data, pointing out the AquaCrop will be a trustworthy for the growth and bean development simulation, but is still necessary more studies for better basis and accuracy of the index obtained.

Key-words: management, water use efficiency, production function.

INTRODUÇÃO

O uso de programas computacionais de manejo de irrigação e simulação de desenvolvimento da cultura, tem sido amplamente estudados e utilizados, devido a crescente escassez de recursos hídricos e a necessidade de estudo de desenvolvimento das plantas sob diferentes cenários.

Os modelos utilizados nesse tipo de programa tem fundamental importância no estudo de resposta da planta a diferentes condições, envolvendo assim segurança alimentar, planejamento e manejo de safras, riscos de perdas na produtividade em casos de estresse nutricional ou ataque de pragas e doenças, entre outros (Holzworth *et al.*, 2015).

O AquaCrop é um software de simulação de crescimento e produtividade de uma determinada cultura sobre uma determinada condição. O modelo computacional é baseado na Equação 1 para estimar o desenvolvimento da cultura conforme a evapotranspiração, apresentando uma relação direta entre os fatores envolvidos (STEDUTO *et al.*, 2012).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Y_a : produtividade real

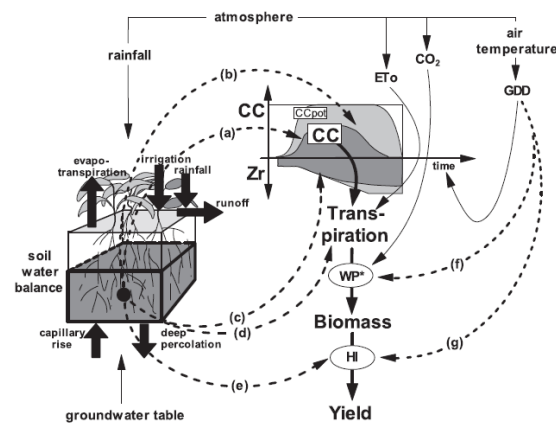
Y_x : produtividade potencial

K_y : fator de resposta a produtividade

ET_a : evapotranspiração real

ET_x : evapotranspiração potencial

Esse programa faz um balanço geral das condições que circundam e afetam o desenvolvimento da cultura, refletindo nos valores de rendimento final, como segue na Figura 1.



Fonte: Vanuytrecht et al. (2014).

Figura 1. Método geral dos fatores considerados no cálculo de estimativa da produtividade da cultura pelo AquaCrop.

O programa utiliza diversos parâmetros e coeficientes para calcular o manejo da cultura e representar o campo de forma mais próxima do real o possível.

Para calcular o manejo de água no solo, dados como a umidade de capacidade de campo, ponto de murcha, umidade do solo saturado, condutividade hidráulica, a espessura do solo em que há água prontamente evaporável (REW), ou seja, a profundidade mínima em que a água pode ser evaporada sem restrição (ALLEN *et al.*, 1998), são requeridos.

Na cultura se utilizam índices como o K_{CTR} , que é um tipo de coeficiente da cultura quando a cobertura do dossel é completo e a cultura está em um estágio anterior à senescência; CC_0 , que é correspondente ao dossel da cultura quando 90% das plantas estão emergidas; CGC , é um coeficiente de crescimento da cultura em que normalmente ocorre quando a planta está no estágio após o CC_0 e anterior ao período reprodutivo; e, CDC , que é um coeficiente de declínio da cultura após ela atingir o estágio de senescência (STEDUTO *et al.*, 2012).

O feijoeiro é uma cultura de importância econômica para o Brasil. O consumo do feijão faz parte da dieta da maioria dos brasileiros. O seu cultivo é disseminado principalmente entre pequenos e médios produtores.

O crescimento do feijoeiro pode ser do tipo determinado, quando sua fase vegetativa e reprodutiva são claramente definidas, ou indeterminado, quando mesmo após o início da floração, a planta ainda apresenta comportamento vegetativo emitindo alguns ramos. Possui um ciclo médio de 90 dias (HEINEMANN *et al.*, 2009).

O feijoeiro é uma cultura bastante exigente em água, respondendo imediatamente a algum estresse hídrico que venha a sofrer. Mas nos estádios V3 e V4 são tolerantes, e a partir do R8 a restrição hídrica passa a ser benéfica, pois nessa as vagens já se encontram com os grãos cheios, dando início ao período de maturação e secagem (SANTOS *et al.*, 2015).

O feijão vermelho é muito consumido no estado de Minas Gerais, sendo amplamente cultivado pelos produtores locais. Essa cultivar apresenta produtividade superior à outras do feijão tipo vermelho, e também é resistente aos patógenos causadores da antracnose, mancha-angular e ferrugem. Possui tipo de crescimento indeterminado e porte semi-ereto (SILVA, 2005).

O objetivo do trabalho foi realizar um ajuste inicial do software de manejo AquaCrop para a cultura do feijoeiro, analisar os coeficientes obtidos nesse ajuste e comparar o desempenho da cultura simulado com o observado em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no período entre julho e outubro de 2015 na Estação Experimental de Coimbra – MG, dependência da Universidade Federal de Viçosa, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais, nas coordenadas 20° 45' S 42° 5' W, e com 698 m de altitude.

O tipo de solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, fase terraço, com textura argilosa (ANDRADE *et al.*, 2005). A umidade de capacidade de campo em unidade de volume foi de 43,55%, o ponto de murcha foi de 22,8% e a condutividade hidráulica de 236,1 mm dia⁻¹. Nas simulações no AquaCrop considerou-se duas camadas de solo, cada uma com espessura de 0,20 m, profundidade considerada como predominante da zona radicular de efetiva absorção, e um REW de 12 mm. O solo e a água utilizada não apresentavam problemas de salinidade, uma vez que a condutividade hidráulica do solo era de 0,058 dS m⁻¹.

Na sementeira, o manejo de adubação foi feito seguindo recomendações de Chagas *et al.* (1999), a sementeira foi feita mecanicamente utilizando 14 sementes por metro. Realizou-se uma adubação no plantio com NPK 8-28-16, utilizando uma dosagem de 348 kg ha⁻¹. A adubação de cobertura foi feita com ureia utilizando uma dosagem de 200 kg ha⁻¹.

O período em que foi realizado o cultivo foi característico de inverno, com transição para a primavera, com temperaturas baixas na fase de germinação/emergência e fase vegetativa, e temperaturas mais elevadas na fase de florescimento e maturação. Esse período caracterizou-se pela baixa frequência de chuvas na região. Assim, foi necessária realizar irrigações frequentes, com um intervalo variando de 2 a 3 dias, durante todo o ciclo do feijoeiro.

Foi registrado ainda incidência de chuvas durante o período de inverno, mas representado como um caso isolado, essas vieram com maior frequência após o período de colheita.

Foram realizados ensaios em que constava de quatro lâminas de irrigação distintas: L1 = 239 mm; L2 = 310 mm; L3 = 322 mm e L4 = 386 mm. A irrigação foi realizada através de pivô central convencional de uma torre que irriga uma área de 2 ha com uma intensidade de aplicação de 2 mm h⁻¹, o equipamento não causava escoamento superficial.

O manejo da irrigação foi iniciado com base no desenvolvimento da planta. Até o final da fase vegetativa da cultura não foi feita variação da lâmina aplicada entre as parcelas, seguindo a diferenciação dos níveis a partir da fase reprodutiva.

O feijão foi cultivado no sistema de plantio direto. Foi feita também aplicação de inseticidas e fungicidas ao longo do ciclo da cultura de modo a prevenir a entrada de ataque de pragas e doenças comuns de acontecer na região na época em que o feijão foi semeado. A irrigação foi feita calculando a evapotranspiração da cultura e aplicando o déficit correspondente ao período que o cultivo ficou sem receber lâmina de irrigação.

O acompanhamento da necessidade hídrica da cultura foi determinado por meio de dados de clima juntamente com as equações de determinação da evapotranspiração de referência apresentada por Allen *et al.* (1998) e evapotranspiração da cultura apresentado por Bernardo *et al.* (2006), e a disponibilidade de água no solo monitorada através da determinação da umidade do solo. Para obtenção de dados de clima, foram dispostas duas estações agrometeorológicas próximo ao cultivo em que forneciam dados diários de temperatura do ar máxima, média e mínima (°C), radiação solar (W m⁻²), umidade relativa do ar média (%), velocidade do vento média (m s⁻¹) e precipitação (mm). As amostragens de umidade do solo foram feitas semanalmente e determinadas através do método padrão de estufa.

Também, foi feito acompanhamento periódico do Índice de Área Foliar da cultura e da biomassa seca. Utilizou-se a Equação 2, proposta por Hsiao *et al.* (2009), para estimativa da cobertura do dossel por meio de dados de área foliar observados.

$$CC = 1,005[1 - \exp(-0,6LAI)]^{1,2} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

CC: Cobertura do Dossel, %;

LAI: Índice de Área Foliar.

Para a simulação utilizou-se o software AquaCrop (Versão 4.0) de junho de 2012. A entrada de dados climáticos do período de cultivo do feijoeiro no AquaCrop foi feito com o auxílio do

software ETo Calculator. Nos dados de manejo e tratos culturais incluiu a cobertura do solo com matéria orgânica em 90% da área experimental. Nos dados de cultura, adotou-se profundidade radicular mínima de 0,10 m e máxima de 0,40 m; temperatura basal de 10°C e máxima de 30°C; adotou um K_{CTR} de 1,10; efeito da temperatura elevada na polinização, como limite máximo tolerante de 32°C e sem problemas de salinidade nas parcelas experimentais. Inicialmente não foi feito nenhum ajuste nos índices de produtividade e forma de crescimento da cultura.

Os parâmetros conservativos não conhecidos do feijão foram obtidos na simulação através do método de tentativa e erro tendo como auxílio os dados observados em campo de biomassa, cobertura do dossel e produtividade.

Avaliou também quatro tipos de índices de produtividade da água (WP), em que é estudada a relação de produtividade dos grãos e quantidade de água total aplicada; IWP em que estuda a relação da produtividade de grãos e a água aplicada somente por meio da irrigação, tirando assim a quantidade de chuva ocorrida; e EWP que é a relação da produtividade com a evapotranspiração da cultura (ALI & TALUKDER, 2008).

Para avaliar o resultado das simulações, utilizou-se um modelo de eficiência – Ef (Equação 3), raiz do erro quadrático relativo – RMSE (Equação 4) de acordo com Loague & Green (1991), e um índice de concordância – d (Equação 5) proposto por Willmott (1982).

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - MO)^2 - \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - MO)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

Ef: eficiência;

O_i : valores observados;

S_i : valores simulados;

MO: média dos valores observados.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \cdot \frac{100}{M} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

RMSE: raiz do erro quadrático relativo, %;

P_i : valores simulados;

O_i : valores observados;

n: número de observações;

M: média dos valores observados.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

d: índice de concordância;

$P'_i = P_i - M$, sendo M a média dos valores observados

$O'_i = O_i - M$.

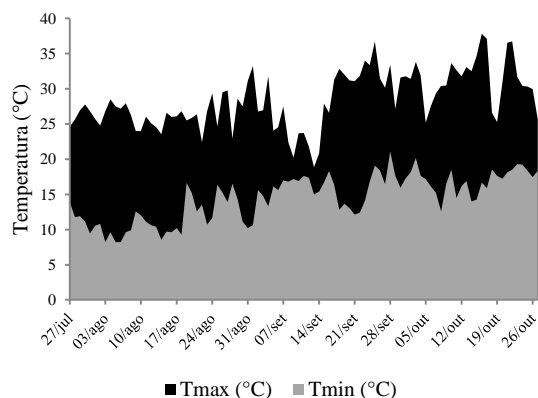
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura máxima média para os meses de agosto, setembro e outubro de 2015 foram, respectivamente, 26,4, 28,3 e 31,4°C; a mínima média, seguindo a mesma ordem, foi de 11,5, 15,8 e 17,1°C; a radiação média para esse período foi de 120,3 W m⁻² no mês de agosto, 126,2 W m⁻² em setembro e 157,8 W m⁻² em outubro (Figura 2). Os valores de radiação nos dois primeiros meses de cultivo estão abaixo do ideal para o feijoeiro. Segundo Heinemann *et al.* (2009), essa faixa varia entre 150 – 250 W m⁻². Mas esses baixos valores de radiação acompanhados das baixas temperaturas propiciam uma faixa de calor para o desenvolvimento desta cultivar de feijão, que apresenta uma temperatura basal de 10°C, ótima de 21°C e máxima de 30°C.

Na fase final de florescimento, foi registrado valores de temperatura máxima acima de 35°C, o que pode ter provocado o abortamento de algumas flores que ainda estavam abertas à polinização e algumas vagens recém formadas, prejudicando assim parte da produtividade de grãos da planta. Segundo Heinemann *et al.* (2009), temperaturas máximas do ar acima desse valor e mínima acima de 25°C provocam abscisão de flores e vagens pequenas.

A evapotranspiração da cultura (ETc) desse período, de acordo com a metodologia de Allen *et al.* (1998), apresentou valores médios para os respectivos meses de 2,28 mm dia⁻¹ nos meses de agosto, 2,68 mm dia⁻¹ em setembro, e 3,65 mm dia⁻¹ em outubro. De acordo com o exposto por Heinemann *et al.* (2009), o consumo de água para o feijão no estado de Minas Gerais, varia entre 3,20 mm dia⁻¹ no sul do estado, até 5,00 mm dia⁻¹ na região norte.

A.



B.

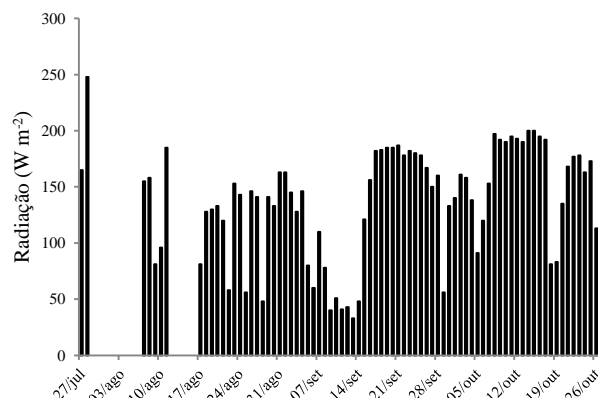


Figura 2. Variação de temperatura do ar máxima e mínima (A) e de radiação solar (B) no período de 27 de julho a 27 de outubro de 2015.

Na Tabela 1 é possível observar a quantidade de água aplicada em cada tratamento juntamente com a chuva e a precipitação efetiva. Nota-se que os valores de lâmina aplicados variaram entre os limites requeridos pela cultura, que é de 300 a 500 mm (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Houve uma maior precipitação efetiva na parcela de déficit, devido o solo estar mais seco. Com isso, maior parte da água precipitada ficava retida no perfil de extração de água pelas raízes.

Tabela 1. Quantidade de lâmina aplicada e precipitação efetiva e não aproveitada pela cultura de acordo com cada tratamento.

Tratamentos	Lâmina de irrigação aplicada	Precipitação não efetiva	Precipitação efetiva	Total de água aplicada
L1	175,8	83,7	63,2	322,7
L2	256,0	93,5	53,4	402,9
L3	272,3	97,3	49,6	419,2
L4	345,9	106,9	40,0	492,8

O teor de umidade do solo acompanhada de cada método foi comparada com o estimado pelo AquaCrop, como mostra a Figura 3.

O tratamento L1 apresentou maior eficiência e índice de concordância, e o L3 o menor erro com os dados simulados, se aproximando do estimado pelo programa, e concordando com o proposto no AquaCrop, cujo utiliza o mesmo método proposto por Allen *et al.* (1998) para calcular demanda de ETo e balanço de água no solo. O L4 apresentou maior discrepância entre os dados simulados e os medidos provavelmente por ter excedido na quantidade de água aplicada (Tabela 2).

Os valores de “d” aqui apresentados concordam com os expostos por Coorevits (2010) em que estudou a parametrização do AquaCrop para o feijão sobre as condições de clima da Bélgica.

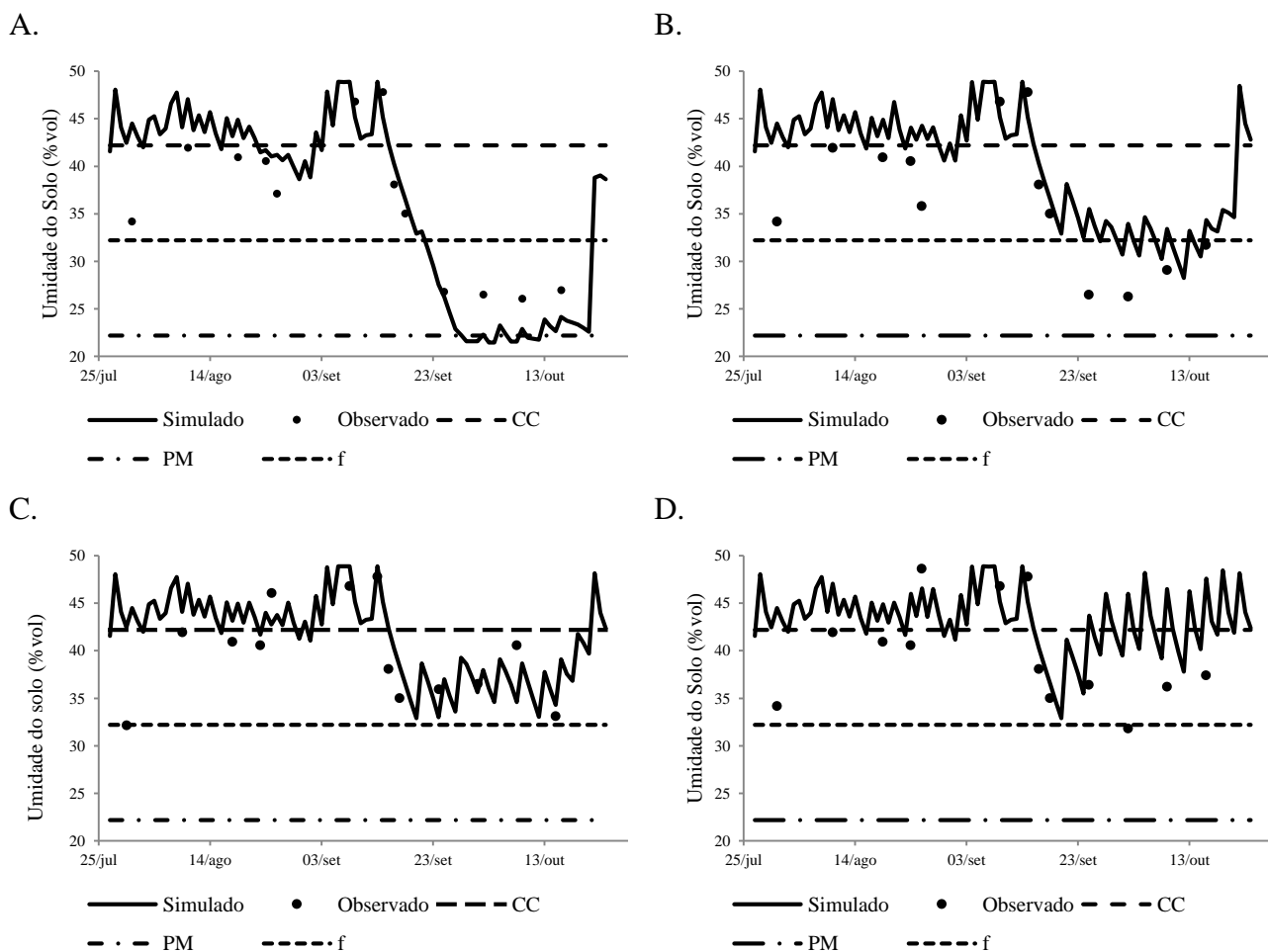


Figura 3. Umidade do solo medida e simulada pelo AquaCrop nos métodos de determinação da irrigação do tratamento L1 (A), L2 (B), L3 (C) e L4 (D).

Tabela 2. Eficiência (Ef), Raiz do erro quadrático relativo (RMSE) e índice de concordância (d) dos valores simulados e os medidos da umidade do solo.

Tratamentos	Ef	RMSE	d
L1	0,688	18,337	0,937
L2	0,304	24,854	0,790
L3	0,333	16,325	0,830
L4	0,899	29,021	0,532

O ajuste das condições locais de cultivo e de cada irrigação feito no AquaCrop resultou nos índices apresentados na Tabela 3. Esses foram valores que diferiram dos valores observados na produtividade e rendimento da cultura, tendo em vista que a cultura respondeu de maneira isolada para cada regime hídrico.

A relação da biomassa potencial com o real oscilou entre 86% e 77%. Nota-se que a produtividade e a biomassa foi correspondente à quantidade de lâmina aplicada. Os graus dias e a

evaporação foi a mesma para todos, sabendo que a cultivar de feijoeiro utilizada para os tratamentos foi a mesma, e o sistema de irrigação foi por meio de pivô central, ou seja, a porcentagem de área molhada foi igual e a cobertura vegetal utilizada no solo foi constante em todas as parcelas.

O valor de graus-dias (GD) observado para o feijoeiro foi de 980°C em todo ciclo (Tabela 3) devido a predominância de temperaturas amenas em dois dos três meses de cultivo. Renato (2013) encontrou valor de graus-dia para o feijoeiro de 1300° em um ciclo de 100 dias para temperaturas elevadas. Lopes (2006), em um cultivo de feijão em que a temperatura máxima durante o cultivo foi em torno de 29°C, apresentou em torno de 1000° graus-dia em um tipo cultivar estudado.

A transpiração foi diferente entre os tratamentos devido a diferença de água disponível. No tratamento L4, apesar de ter sido onde se aplicou maior quantidade de água, houve uma menor transpiração do que no L3, pois a planta possui uma tolerância máxima da transpiração em relação à irrigação. O valor médio diário da transpiração concordou com o intervalo apresentado por Ogindo & Walker (2004), que avaliaram a eficiência da transpiração em feijoeiro comum.

Tabela 3. Índices utilizados no AquaCrop para ajuste de simulação do crescimento e produtividade do feijoeiro para as condições de cultivo e irrigação.

Parâmetros avaliados	L1		L2		L3		L4	
	Medido	Estimado	Medido	Estimado	Medido	Estimado	Medido	Estimado
Biomassa (kg/ha)	4976	4968	5033	5062	6620	6641	6699	6687
Biomassa potencial		6413		5879		7712		8284
Produtividade (Kg/ha)	2160	2137	2437	2427	3355	3340	3421	3454
GD (°C) ¹		980,2		980,2		980,2		980,2
Evaporação (mm/dia)		38,3		45		38,3		38,3
Transpiração (mm/dia)		116,8		141,3		150,5		141,7
Lâmina infiltrada (mm)		312,6		383,6		401,6		464,6
Lâmina drenada (mm)		167,6		196,2		210,1		276,5
EWP (kg/m ³) ²		1,38		1,4		1,77		1,93
WP (g/m ²) ³		11,0		9,9		12,0		12,8
HI (%) ⁴		43,0		48,4		50,3		51,7
CCo (%) ⁵		1,32		1,21		1,25		1,29
CGC (%/dia) ⁶		15,2		15,4		15,0		15,3
CDC (%/dia) ⁷		20,3		17,9		12,0		12,2

¹GD: graus dias; ²EWP: índice de produtividade da água evapotranspirada na produção; ³WP: índice de produtividade da água aplicada durante o cultivo (chuva mais irrigação); ⁴HI: índice de colheita; ⁵CCo: taxa de crescimento do dossel inicial considerando 90% de emergência; ⁶CGC: taxa de crescimento vegetativo exponencial da cultura; ⁷CDC: taxa de declínio do desenvolvimento da cultura após atingir maturação e iniciar a senescência.

Em relação a lâmina infiltrada e drenada, percebeu-se que houve maior retenção de água no perfil de solo no tratamento do L4, por motivo interligado ao anterior. Isso é diretamente refletido nos dados de índices de produtividade da água irrigada, quando se considera somente as lâminas de

irrigação (IWP) e considerando a irrigação mais a chuva (WP) (Tabela 4), balanceando assim a produtividade observada com a quantidade de água utilizada. Isso indica que algumas vezes o excesso de água não necessariamente resulta em elevadas produtividades, quando esta ultrapassa a capacidade de retenção do solo no perfil estudado e é além da necessidade da cultura, passando a ser perdida. Fato que não se deseja quando se realiza manejo de irrigação na maioria dos casos, principalmente em tempos em que a disponibilidade de recursos hídricos está restrita.

O EWP foi proporcional à quantidade de lâmina aplicada, pois a disponibilidade de água favorece tanto a transpiração quanto a evaporação, no entanto, essa não é uma relação linear, como já pode ser observado na discussão. Quando a planta atinge o seu máximo de produtividade, a quantidade de água a mais que for aplicada se torna excesso e não é bem aproveitada pela planta, além do que favorece o crescimento vegetativo, proporcionando elevada produção de biomassa, mas baixa produtividade de grãos (ALI & TALUKDER, 2008).

Tabela 4. Índices de produtividade da quantidade de água aplicada por meio da irrigação (IWP) e contabilizando irrigação mais a chuva (WP).

Tratamentos	IWP (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	WP (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
L1	13,03	6,90
L2	13,56	9,90
L3	14,58	8,89
L4	12,33	8,05

Observou-se que o tratamento L3 foi onde houve maior rendimento da aplicação de água convertida em produtividade, visto que esse método supriu melhor a necessidade hídrica da cultura. O comportamento dos índices calculados para o L1 decorreu provavelmente do estresse sofrido pela planta, pois com a frequente baixa disponibilidade hídrica, o sistema radicular da cultura era mais desenvolvido e aproveitava melhor cada vez que havia quantidade de água disponível no solo.

Esse desempenho concorda com o apresentado por Hegab *et al.* (2014), em que também observaram elevados valores de índice de produtividade em parcelas de déficit hídrico.

Culturas como o feijoeiro respondem positivamente ao estresse hídrico em termos de produtividade quando aplicado no momento adequado. Quanto ao modo com que esse ocorre, a planta pode responder positivamente, quando esse for feito de forma gradual, ou negativamente quando for repentino (ALI & TALUKDER, 2008). Assim, além do momento adequado, o modo como isso ocorre pode propiciar um melhor rendimento na planta sobre a água absorvida. Portanto, apesar de não ter obtido produtividade elevada na parcela de déficit, em relação às outras parcelas, as plantas dessa tiveram um rendimento equiparável às demais no uso da água.

Em relação à produtividade de grãos (WP), esse apresentou menores resultados no L1 devido ao momento em que a fase de déficit hídrica foi iniciada, logo após a fase vegetativa. Houve aumento do WP no L2, devido o maior suprimento hídrico.

A fase reprodutiva do feijoeiro requer boa disponibilidade hídrica para uma produção efetiva, o que vai refletir diretamente na produção final de grãos. No entanto, se esse estresse estivesse ocorrido na fase vegetativa, em torno dos estádios V3 e V4, essa resposta poderia ser positiva em termos de estrutura da planta e aproveitamento da água aplicada, pois são nesses estádios onde a planta não sofre tanto com a baixa disponibilidade de teor de água no solo (SANTOS *et al.*, 2015).

No L4 também se observa um baixo índice, apesar de considerável produtividade. Tal fato pode acarretar em uma relação custo/benefício baixa, onde o custo obtido com a irrigação e todo funcionamento do sistema não seja vantajoso em relação à produtividade que se vá obter.

O WP obtido nesse trabalho foi inferior ao encontrado por Yuan *et al.* (2013), que cultivaram o feijoeiro e outras espécies C3 em clima semiárido, devido as diferenças nas características de clima entre as regiões dos trabalhos comparados.

O CCo e o CGC foram semelhantes entre os tratamentos de lâmina em relação ao observado e entre os tratamentos devido no início do cultivo ter sido aplicado a mesma quantidade de água até o aparecimento do primeiro trifólio para formação de um bom stand de plantas e da ocorrência de consideráveis chuvas nessa fase, o que uniformizou o crescimento inicial.

Com o CDC se observa que na parcela em que houve melhor disponibilidade de água, como o L1 e L2, o declínio da cultura foi mais lento, observando que essas chegaram próximo de cumprir todo seu ciclo fenológico. A senescência mais rápida é atribuída a um ciclo curto, devido a restrição de água nesse caso. Isso pode resultar em menor produtividade ou produtos de qualidade inferior.

Os valores de CGC foram superiores aos encontrados por Yuan *et al.* (2013), visto que a produção de grãos foi menor que o obtido e a produção de biomassa ligeiramente maior. O valor de CDC também foi menor que simulado, logo o feijoeiro cultivado por esses autores teve uma maturidade e senescência mais duradoura do que o aqui estudado.

Esses coeficientes foram bem próximos do simulado devido o ajuste ter sido feito aproximando o estimado dos dados observados o máximo possível para que o crescimento da planta no campo correspondesse ao estimado.

Foi possível observar a comparação do desenvolvimento da cultura através de dados simulados e medidos da cobertura do dossel para cada regime de irrigação na Figura 4.

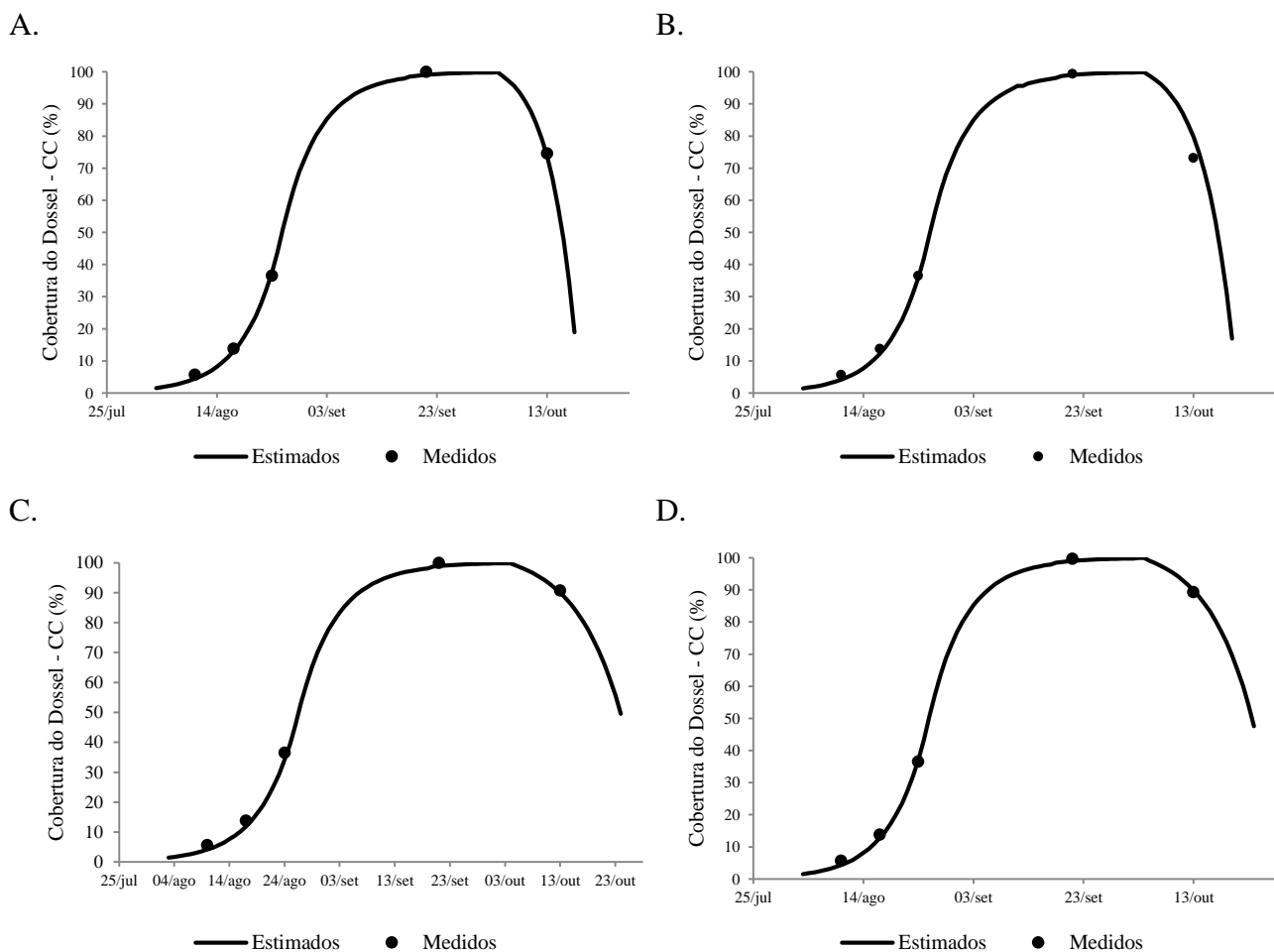


Figura 4. Cobertura do dossel simulada e observada nas lâminas L1 (A), L2 (B), L3 (C) e L4 (D).

Com o ajuste obteve-se valores confiáveis entre o simulado e o observado, obtendo valores de eficiência e concordância entre os dados de 0,99 e erro variando entre 1 e 6%, o que segundo Jamieson *et al.* (1991) é considerado como excelente simulação (Tabela 5).

Tabela 5. Eficiência (Ef), Raiz do erro quadrático relativo (RMSE) e índice de concordância (d) dos valores simulados e os medidos da cobertura do dossel.

Tratamentos	Ef	RMSE (%)	d
L1	0,999	2,146	0,999
L2	0,992	4,738	0,998
L3	0,998	3,496	0,999
L4	0,999	1,771	0,999

A biomassa observada apresentou comportamento diferente da simulada, visto que o programa considera acúmulo de massa seca contínua e crescente, enquanto que na realidade há diminuição no valor no final do ciclo devido o feijoeiro perder massa enquanto que a vagem com os grãos seca e esses atingem ponto de umidade adequada para colheita.

Observou-se na Figura 5 que no L1 e no L2, onde o ciclo da cultura foi mais curto, há um acúmulo repentino de biomassa seguido de diminuição gradativa, provavelmente devido ao estresse aplicado. Enquanto no L3 e L4 o acúmulo é mais lento atingindo o pico de biomassa acumulada mais tardiamente.

Os tratamentos L3 e L4 apresentaram um comportamento mais próximo da forma estimada pelo programa, sugerindo que quanto maior a quantidade de água aplicada, planta consegue cumprir os seus estádios fenológicos completamente, e mais a forma e crescimento da cultura no campo se aproxima do modelado pelo programa. Os que receberam menor quantidade de água tiveram um crescimento mais acelerado e acentuado e com uma maior queda de biomassa no estágio final de produção, apresentando assim maior variação com o valor simulado, como indicado na Tabela 6.

O tratamento L1 apresentou menor eficiência e maior RMSE devido o maior desvio dos pontos simulados com medidos no estágio da floração até a maturação.

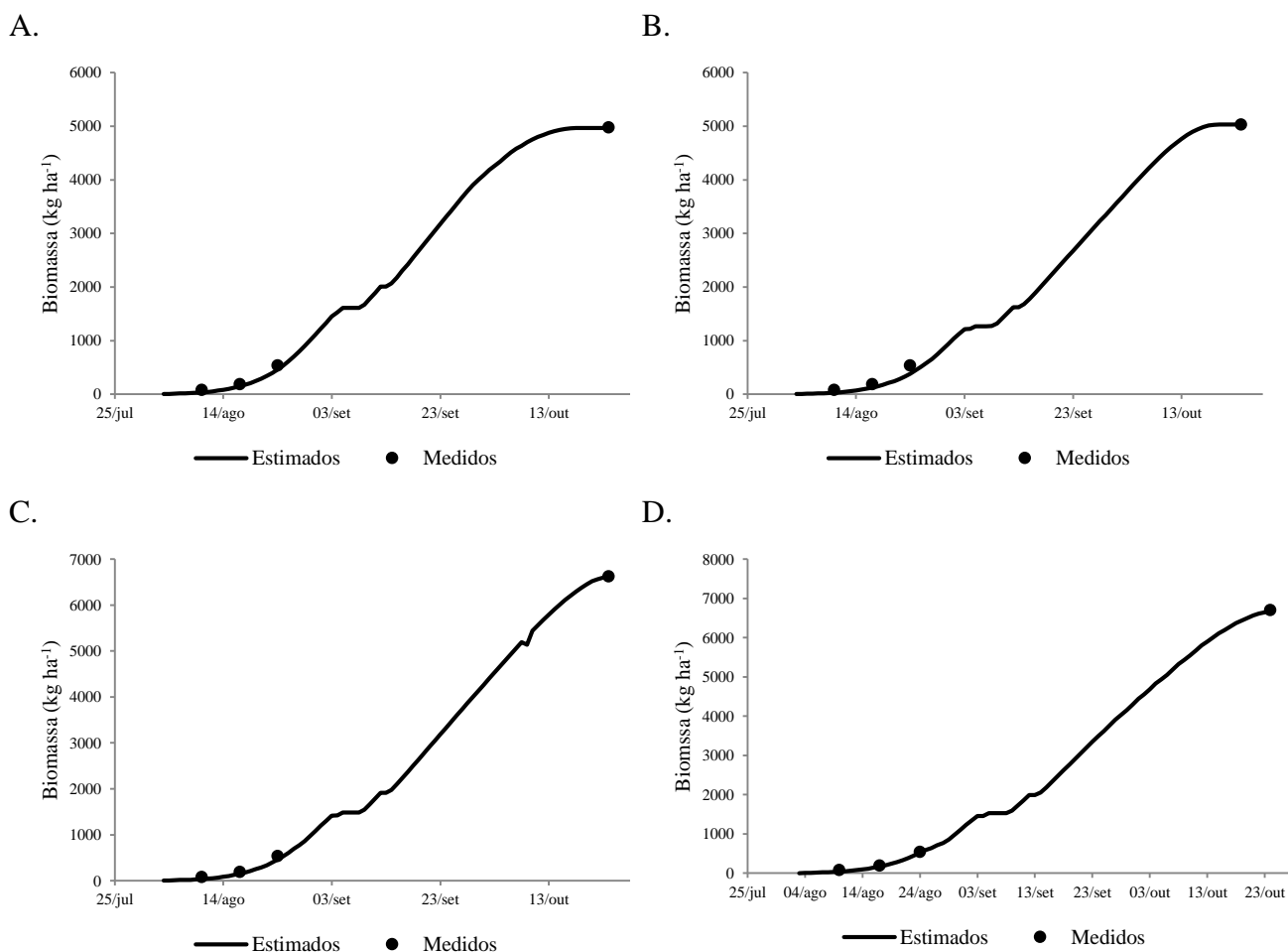


Figura 5. Diferença de comportamento entre a biomassa medida no campo e a estimada pelo AquaCrop no tratamento irrigado pelo método do L1 (A), L2 (B), L3 (C) e L4 (D).

Tabela 6. Eficiência (Ef), Raiz do erro quadrático relativo (RMSE) e índice de concordância (d) dos valores simulados e os medidos da biomassa.

Tratamentos	Ef	RMSE (%)	d
L1	0,638	66,906	0,862
L2	0,613	70,858	0,836
L3	0,819	53,703	0,935
L4	0,885	38,958	0,963

No trabalho de Hsiao *et al.* (2009) feito com milho, houve maior concordância com os dados obtidos e os simulados nos ganhos de biomassa, visto que a curva de acúmulo de biomassa dessa cultura acompanha o estimado pelo programa. Os dados apresentados por Coorevits (2010) para a cultura do feijoeiro se aproximam do observado nesse ajuste.

CONCLUSÃO

O software AquaCrop é passível de ajuste para crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão. Na cobertura do dossel se observou concordância da estimativa de crescimento do modelo proposto pelo programa de acordo com o observado no campo através da equação testada, o que já não foi observado no ganho de biomassa, necessitando assim de melhor ajuste. Houve variação na estimativa da umidade do solo pelo programa com as amostras feitas em campo.

É necessário outros estudos para condições brasileiras e adaptação de modelos propostos pelo programa com o observado no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. **Agricultural Water Management**, 95, p. 1201-1213, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Roma, 1998.

ANDRADE, C. A. B.; FONTES, P. C. R.; CARNEIRO, J. E. S.; CARDOSO, A. A. Avaliação de critérios de recomendação de adubação sobre a produtividade de cultivares de feijão. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 2, p. 281-285, 2005.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antônio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de Irrigação**. 8 ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006.

CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LANA, R. M. Q.; RIBEIRO, A. C. Feijão. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 1999. Capítulo 18.4.8, p. 306-307.

COOREVITS, L. **Calibration and validation of green beans for the AquaCrop model**. 2010. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos)-Interuniversity Programme in Water Resources Engineering, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Crop response to water**. Roma: FAO, 1979. 194p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

HEGAB, A. S. A.; FAYED, M. T. B.; HAMADA, M. M. A.; ABDRABBO, M. A. A. Productivity and irrigation requirements of faba-bean in North Delta of Egypt in relation to planting dates. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 2, p. 185-193, 2014.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Cultivos Temporários: Feijão. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Organizador). **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília – DF: INMET, 2009. p. 183-203.

HOLZWORTH, D. P.; SNOW, V.; JANSSEN, S.; ATHANASIADIS, I. N.; DONATELLI, M.; HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. W.; THORBURN, P. Agricultural production systems modelling and software: current status and future prospects. **Environmental Modelling & Software**, 72, p. 276-286, 2015.

HSIAO, T. C.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parametrization and testing for maize. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 448-459, 2009.

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**, 27, p. 337-350, 1991.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E.; Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, 7, p. 51-73, 1991.

LOPES, A. S. **Manejo do solo e da irrigação na cultura do feijoeiro sob pivô central**. 2006. 152f. Tese (Doutor em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

OGINDO, H. O.; WALKER, S. The determination of transpiration efficiency coefficient for common bean. **Physics and Chemistry of the Earth**, 29, p. 1083-1089, 2004.

RENATO, N. S. **Modelo de crescimento das culturas do milho e do feijão em condições de temperatura e CO₂ atmosféricos elevados**. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. 1 ed. UFV (Viçosa): UFV, 2015. Capítulo 3, p. 37-66.

SILVA, L. C. **Recomendações de cultivares de feijão-vermelho para o estado de Minas Gerais**. 2005. 91f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. FAO Irrigation and Drainage Paper N. 66. **Crop Yields Response to Water**. 2012.

VANUYTRECHT, E.; RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; HENG, L. K.; VILA, M. G.; MORENO, P. M. AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. **Environmental Modelling & Software**, 62, p. 351-360, 2014.

YUAN, M.; ZHANG, L.; GOU, F.; SU, Z.; SPIERTZ, J. H. J.; VAN DER WERF, W. Assessment of crop growth and water productivity for five C3 species in semi-arid Inner Mongolia. **Agricultural Water Management**, 122, p. 28-38, 2013.

WILLMOT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, p. 1309-1313, 1982.

CONCLUSÃO GERAL

A cultivar de feijoeiro “Ouro Vermelho” possui tolerância ao excesso hídrico, resultando em comportamento linear crescente de acordo com que se aumentavam esses níveis.

O NZone não apresenta efeito no desempenho do feijoeiro no campo, não havendo assim influência desse na resposta desse em relação aos elementos da produtividade.

O AquaCrop é passível de calibração para a cultura do feijão sob as condições de brasileiras de clima e cultivo. Entretanto, é necessário outros estudos para melhor embasamentos e validação dos dados obtidos.