

Viabilidade da Irrigação Suplementar do Feijoeiro na Época das Águas



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
58**

**Viabilidade da Irrigação Suplementar
do Feijoeiro na Época das Águas**

*Ludmilla Ferreira Justino
José Alves Júnior
Rafael Battisti
Luís Fernando Stone
Alexandre Bryan Heinemann*

**Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2022**

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da
Embrapa Arroz e Feijão

Presidente
Roselene de Queiroz Chaves

Secretário-Executivo
Luiz Roberto Rocha da Silva

Membros
Ana Lúcia Delalibera de Faria, Luís Fernando Stone, Newton Cavalcanti de Noronha Júnior, Tereza Cristina de Oliveira Borba

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Projeto gráfico da coleção
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Sebastião José de Araújo

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Viabilidade da irrigação suplementar do feijoeiro na época das águas / Ludmilla Ferreira Justino... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2022.

21 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 58)

1. Feijão – Risco climático. 2. Modelo de simulação. 3. Feijão – Análise econômica. 4. *Phaseolus vulgaris*. I. Justino, Ludmilla Ferreira. II. Alves Júnior, José. III. Battisti, Rafael. IV. Stone, Luís Fernando. V. Heinemann, Alexandre Bryan. VI. Embrapa Arroz e Feijão. VII. Série.

CDD 635.65287

Ana Lúcia Delalibera de Faria (CRB-1/324)

© Embrapa, 2022

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....7

Material e Métodos8

Resultados e Discussão13

Conclusões.....18

Referências19

Viabilidade da Irrigação Suplementar do Feijoeiro na Época das Águas

Ludmilla Ferreira Justino¹

José Alves Júnior²

Rafael Battisti³

Luís Fernando Stone⁴

Alexandre Bryan Heinemann⁵

Resumo - O estudo visou quantificar o retorno econômico proporcionado pela irrigação suplementar do feijoeiro na época das águas. A produtividade do feijoeiro foi simulada para 30 anos no modelo de cultura Cropgro-Dry Bean para a cultivar Pérola, considerando as datas de semeadura de 1º de novembro a 1º de janeiro e quatro manejos hídricos: sem irrigação; irrigação com 70%, 50% e 30% do total de água disponível no solo (TAD). As irrigações a 70%, 50% e 30% do TAD aumentaram a produtividade em 26,7% a 41,4%; 5,5% a 14,5%; e 0,4% a 2,4%, respectivamente. A demanda média foi de 53 mm ciclo⁻¹ no manejo de 70% do TAD e de 19 mm ciclo⁻¹ no de 50% e de 30%, sem necessidade de irrigação na maioria das estações de cultivo. O atraso na semeadura em relação a 1º de novembro reduziu a produtividade do feijoeiro. O preço mínimo de venda de R\$1,85 a R\$2,83 por kg é requerido para uma taxa interna de retorno superior a 12%. A irrigação a 70% do TAD fornece índice econômico semelhante e/ou superior, e produtividade maior que o sistema de sequeiro.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, manejo de irrigação, risco climático, análise econômica, modelo de simulação, estabilidade de rendimento.

¹ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Produção Vegetal, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, professor adjunto da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

Supplementary Irrigation Feasibility of Common Beans in the Rainy Season

Abstract - The study aimed to quantify the economic return provided by irrigation of common beans at rainfed season. Common bean yield was simulated for 30 growing seasons using the DSSAT-Cropgro-Dry bean model for the cultivar P erola. The yield simulations considered sowing dates from November 1st to January 1st, and four water managements: rainfed and irrigation starting at 70%, 50% and 30% of the total soil water available. The irrigation at 70%, 50% and 30% of total soil water available increased yield, from 26.7% to 41.4%, from 5.5% to 14.5%, and from 0.4% to 2.4% in relation to the rainfed system. The average demand of 53 mm cycle⁻¹ was required by the management 70% of total soil water available and 19 mm cycle⁻¹ for the 50% of total soil water available. The delay on sowing date after November 1st decreased the yield. A minimum sales price ranging from R\$1.85 to R\$2.83 per kg is required, according to the water management and the sowing date, for an internal return rate higher than 12%. Irrigation at 70% of total soil water available provides a similar or better economic index and a higher yield than the rainfed system.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, irrigation management, climate risk, economic analysis, crop modelling, yield stability.

Introdução

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), uma das leguminosas mais produzidas e consumidas no mundo, efetiva o Brasil no terceiro lugar do ranking de países produtores de feijão (FAO, 2018), com área cultivada de 1,5 milhão de hectares e produção de 2,2 milhões de toneladas, dados da safra 2017/2018 (Conab, 2019). A cultura é relevante economicamente e socialmente para o País, gerando lucro para pequenos e grandes produtores.

O estado de Goiás é um dos maiores produtores de feijão-comum do Brasil, sendo produzidas 367 mil toneladas na safra 2017/2018 (Conab, 2019), distribuídas nas épocas das águas, da seca e de inverno. A produção ocorre em 85% dos municípios da região Central Brasileira, onde há mudança no tipo de produção, baseada no sustento do pequeno agricultor. Atualmente, cresce o número de produtores com alto nível tecnológico, com a irrigação como opção (Barbosa; Gonzaga, 2012).

O cultivo do feijoeiro nas épocas das águas e da seca é caracterizado pelas datas de semeadura, respectivamente, de novembro a dezembro e de janeiro a fevereiro, períodos abastecidos de água das chuvas. Na época de inverno a semeadura ocorre de maio a junho, com abastecimento de água principalmente por irrigação (Heinemann et al., 2016). O feijoeiro é cultivado em rotação com outras culturas como soja, milho e tomate. O uso da irrigação durante a época de inverno é responsável pelas maiores produtividades dentre os períodos de cultivo, visto que nos demais a irrigação não é necessária devido às chuvas, entretanto, a distribuição irregular causa deficits hídricos durante a estação de crescimento (Heinemann et al., 2016; Sales et al., 2016).

A água é um dos principais fatores limitantes da agricultura brasileira (Sentelhas et al., 2015; Battisti et al., 2018a). A produtividade potencial do feijoeiro foi reduzida em 34% no município de Santo Antônio de Goiás, GO, região deste estudo, considerando a média de 21 safras, devido ao déficit hídrico (Meiros et al., 2003), além da elevação da perda de produção devido ao aquecimento global (Silva et al., 2010). A ocorrência de déficit hídrico durante a emergência e a maturação da cultura pode reduzir a produtividade em 20%, enquanto durante o período vegetativo e reprodutivo em 75% (Oliveira; Silva, 1990). A irrigação se destaca como alternativa importante

para reduzir esse tipo de risco (Sales et al., 2017; Almeida et al., 2018; Battisti et al., 2018b).

O sistema de aspersão através de pivô-central se expande no Brasil Central devido à possibilidade de uso em diferentes culturas, incluindo feijão, milho, soja, tomate, café e pastagem. O estado de Goiás possuía 242.000 ha com o sistema em 2016 (IMB, 2018). A irrigação é usada principalmente durante o cultivo de inverno, devido à ausência de chuvas, levando a baixos fluxos nos cursos de água coletada para irrigação (Agência Nacional de Águas, 2019). Assim, propõe-se a utilização da água dos rios na época das águas, irrigando as culturas durante os veranicos e evitando o déficit hídrico no desenvolvimento, aumentando a produtividade (Euclides et al., 2006).

O antagonismo para o uso de pivô-central na irrigação do feijoeiro durante o período das chuvas são os custos econômicos. O prognóstico deste estudo é que a irrigação suplementar na época das águas evita o déficit hídrico do solo e aumenta a produtividade do feijoeiro, devendo ser realizada no período do ano em que haja disponibilidade de água nos cursos, evitando conflitos de uso dessa substância. O objetivo da pesquisa foi determinar o retorno econômico, a produtividade e a demanda de água através da simulação de irrigação por pivô-central durante a estação chuvosa, em Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil.

Material e Métodos

Região e dados meteorológicos

A pesquisa foi realizada em Santo Antônio de Goiás, GO (Figura 1), região na qual há presença significativa de sistemas de irrigação por pivô-central, porém a irrigação na época de inverno, sem chuvas, tem suscitado conflitos entre o uso da água e o consumo da população da capital, Goiânia, com mais de 1,5 milhão de habitantes. Tal condição cria a possibilidade de expansão da produção de feijão-comum na época das chuvas, estação do ano em que há sobra de água na região (Figura 2).

As temperaturas máxima e mínima do ar, a umidade relativa do ar, a precipitação pluvial, a radiação solar global e a velocidade do vento a 2 m

foram obtidas para o período de 1º de janeiro de 1983 a 31 de dezembro de 2012. A estação meteorológica está localizada em Santo Antônio de Goiás, GO, na Fazenda Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, latitude $-16,47^\circ$, longitude $-49,28^\circ$ e altitude de 823 m. A região foi classificada como Zona Tropical, com inverno seco (Aw), segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013).

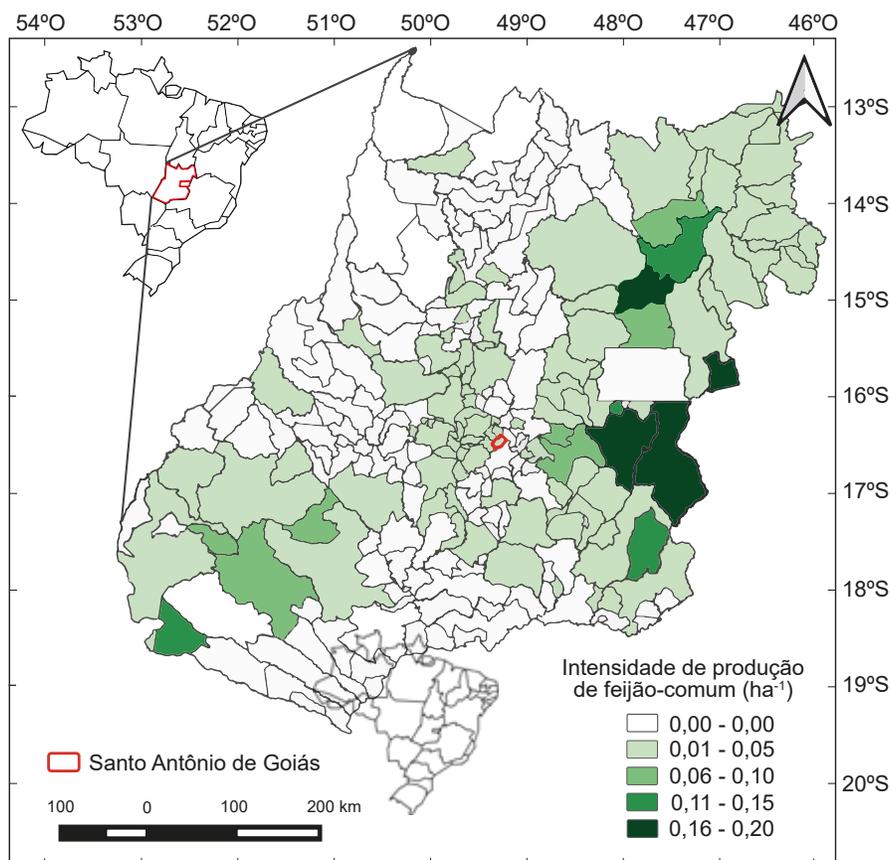


Figura 1. Intensidade de produção de feijão-comum para a época das águas no estado de Goiás (razão entre a área de produção de feijão para a safra 2016/2017 e a área total do município).

Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

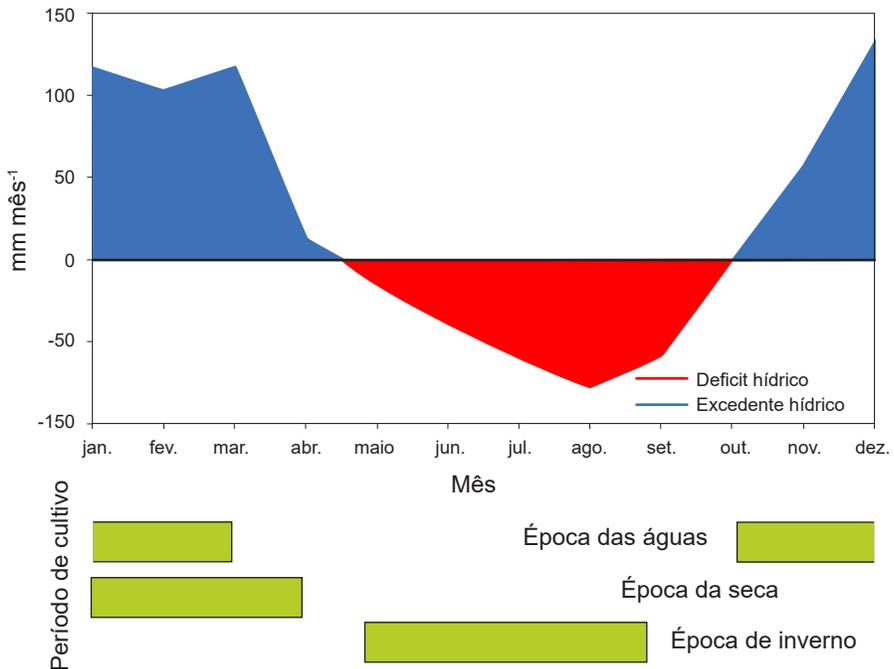


Figura 2. Balanço hídrico do solo, com base na evapotranspiração climatológica mensal e precipitação obtidas de acordo com Thornthwaite e Mather (1955), em diferentes períodos de cultivo do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO (considerando-se 75 mm de água disponível no solo como balanço hídrico mensal).

Modelo de simulação e manejo

A produtividade e a irrigação necessárias do feijoeiro foram obtidas por meio do modelo de simulação Cropgro Dry Bean, da plataforma Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Hoogenboom et al., 2017). Heinemann et al. (2016) calibraram o modelo usando experimentos de campo no Brasil Central para a cultivar Pérola, comumente utilizada durante as épocas das águas e da seca no estado de Goiás. Os parâmetros exigidos pelo modelo de cultura e as características do solo da região, medidos no mesmo local da estação meteorológica, constam na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes específicos da cultivar de feijoeiro Pérola exigidos pelo modelo de simulação e parametrizados por Heinemann et al. (2016) e indicadores do solo da região de estudo.

| Coeficiente | Descrição | Valor |
|-------------|--|-------|
| CSDL | Duração crítica do dia curto, abaixo da qual o desenvolvimento reprodutivo progride sem efeito da duração do dia (fotoperíodo crítico - hora). | 12,17 |
| PPSEN | Declive da resposta relativa de desenvolvimento ao fotoperíodo com o tempo positivo para plantas de dia curto (1h). | 0 |
| EM-FL | Tempo entre a emergência e o florescimento (dias fototérmicos). | 37 |
| FL-SH | Tempo entre o florescimento e a formação da primeira vagem (dias fototérmicos). | 5,5 |
| FL-SD | Tempo entre o florescimento e a formação da primeira semente (dias fototérmicos). | 12,1 |
| SD-PM | Tempo entre a formação da primeira semente e a maturação fisiológica (dias fototérmicos). | 17 |
| FL-FL | Tempo entre o florescimento e o final da expansão foliar (dias fototérmicos). | 18 |
| LFMAX | Taxa máxima de fotossíntese foliar a 30 °C, 350 vpm CO ₂ e alta luminosidade (mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹). | 1 |
| SLAVR | Área foliar específica (cm ² g ⁻¹). | 217 |
| SIZLF | Área foliar máxima do trifólio (cm ²). | 165 |
| XFRT | Fração máxima de crescimento diário dividido em semente + casca. | 1 |
| WTPSD | Massa máxima por unidade de grão (g). | 0,31 |
| SFDUR | Duração do enchimento de grãos (dias fototérmicos). | 19 |
| SDPDV | Média de sementes por vagem. | 5,5 |
| PODUR | Tempo para que a cultivar atinja a carga máxima de vagens (dias fototérmicos). | 5 |
| THRSH | Razão máxima entre semente e semente + vagem, na maturação (%). | 75 |
| SDPRO | Fração de proteína nas sementes (g/proteína) / (g/sememente). | 0,235 |
| SDLIP | Fração de óleo nas sementes (g/óleo) / (g/sememente). | 0,03 |

| Parâmetros do solo | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Camada | PWP | FC | SAT | SRGF | BD | OC | CLAY | SILT |
| 0 - 10 | 0,283 | 0,377 | 0,460 | 1 | 1,76 | 1,67 | 41,1 | 26,3 |
| 10 - 20 | 0,292 | 0,387 | 0,440 | 0,8 | 1,88 | 1,23 | 45,2 | 23 |
| 30 - 40 | 0,286 | 0,380 | 0,450 | 0,6 | 1,85 | 1,06 | 43,2 | 25,8 |
| 40 - 50 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0,3 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |
| 50 - 60 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0,1 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |
| 60 - 70 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |
| 70 - 80 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |
| 80 - 90 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |
| 90 - 100 | 0,299 | 0,398 | 0,460 | 0 | 1,82 | 0,87 | 45,4 | 23,5 |

PWP: Ponto de murcha permanente (cm³ cm⁻³); FC: Capacidade de campo (cm³ cm⁻³); SAT: Ponto de saturação (cm³ cm⁻³); SRGF: Fator de crescimento da raiz; BD: Densidade do solo (Mg m⁻³); OC: Conteúdo de carbono orgânico (%); CLAY: Conteúdo de argila (%); SILT: Conteúdo de silte (%).

Foram simuladas produtividade e demanda de irrigação para as datas de semeadura de 1º de novembro a 1º de janeiro, a cada 15 dias, seguindo a recomendação do Zoneamento de Risco Agroclimático (Brasil, 2019), e quatro manejos de água, sequeiro (sem irrigação) e irrigação, considerando 70%, 50% e 30% da água total do solo disponível para a cultura. A simulação da produtividade não considera limitações devido a doenças e excesso de água no solo. Os valores de produtividade e de irrigação foram submetidos à análise de variância considerando os fatores data de semeadura, manejo da irrigação e interação, consistindo em 30 repetições.

Custos de produção

Os custos de produção do feijão-comum foram obtidos no IFAG (2018). Para o manejo na época das águas, o custo incluiu preparo do solo, fertilização, sementes, semeadura, colheita, mão de obra, máquinas e dispêndios financeiros (taxa de juros, contribuição social e custo de oportunidade da terra). O custo de oportunidade da terra foi obtido considerando 3% do preço total ao ano (Turra, 1990). O custo adicional para o sistema de irrigação inclui a implantação, a depreciação, a manutenção do pivô e o bombeamento, com base no manejo de irrigação. A depreciação foi obtida baseada nos valores iniciais, de refugo e no tempo de uso do sistema pivô-central, por 30 anos (Okawa, 2001).

O custo do pivô-central foi quantificado para uma área de 70 ha, com eficiência de irrigação de 85%, evapotranspiração de referência máxima de 5 mm dia⁻¹ (INMET, 2018) e coeficiente de cultivo máximo (kc) de 1,5 (Allen et al., 1998). Tais parâmetros resultaram numa aplicação máxima de água bruta de 8,8 mm dia⁻¹. Os custos de bombeamento do sistema de irrigação foram associados ao manejo de irrigação, variando em função dos custos de energia de acordo com o tempo em que o pivô-central foi utilizado para irrigação, com base na quantidade necessária simulada. Quantificou-se o custo variável considerando um motor de 100 CV e custo de energia de R\$0,48 por kWh. Os custos totais foram calculados para cinco datas de semeadura e quatro manejos de água, calculando a viabilidade econômica para cada condição. Os custos totais da estação de cultivo por manejo de água foram de R\$3.379,49, R\$3.628,85, R\$3.588,21 e R\$3.581,64 por hectare, respectivamente, para os sistemas não irrigado e irrigado, a 70%, 50% e 30% do TAD. Os custos iniciais foram de R\$17.237,46 para o sistema não irrigado e de R\$367.237,46 para os sistemas de irrigação.

Preço de venda e análise econômica

O sistema pivô-central foi avaliado considerando a viabilidade econômica obtida com base na receita bruta da multiplicação da produção de feijão pelo preço de venda. Considerou-se o preço de venda variando entre R\$1,33 a R\$5,00 (IFAG, 2018). Obteve-se a produção total multiplicando-se a produtividade de grãos resultante das simulações pela área total de estudo (70 ha). O valor presente líquido (VPL), diferença entre o benefício presente e os custos, a análise de custo-benefício, o tempo de retorno dos investimentos e a taxa interna de retorno (TIR) potencial do projeto para criar um retorno financeiro, foram considerados na análise da receita bruta e o custo total por manejo de irrigação. Foi também considerada uma taxa de retorno mínima aceitável de 12% ao ano, baseada em 30 anos de durabilidade do pivô-central (Garzel, 2003; Frizzone; Andrade Júnior, 2005). O preço mínimo de venda foi definido, visando alcançar a taxa interna mínima de retorno, com base na regressão linear, com os cálculos realizados através da planilha Excel AmazonSaf, obtida da Arco-Verde e Amaro (2011).

Resultados e Discussão

Manejo da irrigação

A irrigação aumentou a produtividade do feijoeiro, comparado ao sistema não irrigado (Figura 3A). O sistema de sequeiro teve maior variabilidade de produtividade, entre 500 kg ha⁻¹ e cerca de 3.000 kg ha⁻¹. A faixa de produção no sistema de sequeiro teve o maior risco associado à produção de feijão-comum. Meireles et al. (2003) observaram que na região deste estudo a época das águas tem maior risco de quebra de produtividade por deficit hídrico devido à distribuição irregular das chuvas no período. A data de semeadura de 1º de janeiro teve a maior faixa de produtividade e a menor mediana (Figura 3A). A produtividade média foi de 1.835 kg ha⁻¹, 1.784 kg ha⁻¹, 1.495 kg ha⁻¹, 1.484 kg ha⁻¹ e 1.433 kg ha⁻¹, respectivamente, nas datas de semeadura 1º de novembro, 15 de novembro, 1º de dezembro, 15 de dezembro e 1º de janeiro (Figura 3A), mostrando significância estatística (valor de $p = 3,70 \cdot 10^{-5}$).

O manejo da irrigação aumentou a produtividade, reduziu a variabilidade nas diferentes datas de cultivo (Figura 3A) e mostrou significância estatística

(valor de $p = 1,72 \cdot 10^{-21}$). A irrigação ajuda a melhorar a produtividade da água e reduzir os custos ambientais (Zheng et al., 2019), especialmente dada a abundância dessa substância no período das águas. O maior aumento de produtividade foi obtido a 70% de TAD, com médias de 26,7%, 30,9%, 37%, 36,5% e 41,4%, respectivamente, para as datas de semeadura em 1º de novembro, 15 de novembro, 1º de dezembro, 15 de dezembro e 1º de janeiro, comparando-se com o sistema não irrigado. Apesar dos resultados, não houve interação significativa entre manejos de irrigação e datas de semeadura relativamente à produtividade do feijoeiro. Para o manejo da água em 50% e 30% do TAD, os ganhos de produtividade variaram entre 5,5% a 14,5% e 0,4% a 2,4%, respectivamente, indicando menor contribuição para a produtividade nesses manejos de irrigação.

Santana et al. (2009) avaliaram a produtividade do feijoeiro com irrigação em 40%, 70%, 100%, 130% e 160% do volume necessário para reabastecer o solo até a capacidade de campo, e verificaram que a produtividade aumentou até o nível de irrigação de 100% (capacidade de campo).

Houve redução na produtividade com o adiamento da semeadura de 1º de novembro para 1º de janeiro em todos os manejos (Figura 3A). A redução da produtividade variou de 1.830 kg ha⁻¹ para 1.444 kg ha⁻¹ no sistema não irrigado, entre as datas de semeadura 1º de novembro e 1º de janeiro (Figura 3A). A menor redução da produtividade média foi observada no manejo de irrigação de 70% de TAD (277 kg ha⁻¹), enquanto no manejo de 30%, o decréscimo atingiu 370 kg ha⁻¹. Os resultados indicam que o atraso na semeadura em relação a 1º de novembro reduziu a produtividade do feijoeiro devido à duração do ciclo, à temperatura do ar e à radiação solar, potencializada pelo aumento do déficit hídrico (Garzel, 2003; Frizzzone; Andrade Júnior, 2005).

O volume de irrigação necessário foi de 53 mm ciclo⁻¹ para o manejo de água de 70% do TAD (Figura 3B), com produtividade pelo menos 26,7% maior, considerando 30 safras e cinco datas de semeadura. Marrou et al. (2014) destacaram que a avaliação do manejo da irrigação é essencial para melhorar a produtividade do feijoeiro usando menos água, como o caso de 70% do TAD. Para esse manejo de irrigação, a data de semeadura de 1º de janeiro exigiu um valor médio maior (59 mm ciclo⁻¹) seguidas de 1º de novembro e 15 de dezembro (57 mm ciclo⁻¹), 1º de dezembro (46 mm ciclo⁻¹) e 15 de novembro (45 mm ciclo⁻¹) (Figura 3B). O manejo de irrigação de 50% de TAD requereu

média de 19 mm ciclo⁻¹ (Figura 3B) com, pelo menos, 25% da estação de cultivo, época das águas, não necessitando de irrigação. No manejo de 30% do TAD, a maioria das safras não necessitou de irrigação (Figura 3B), limitando o aumento da produtividade a 14,5%. Nessas condições, a análise de variância indicou significância estatística apenas para o manejo da irrigação (valor de $p = 2 \cdot 10^{-16}$), e nenhuma para as datas de semeadura ou as interações.

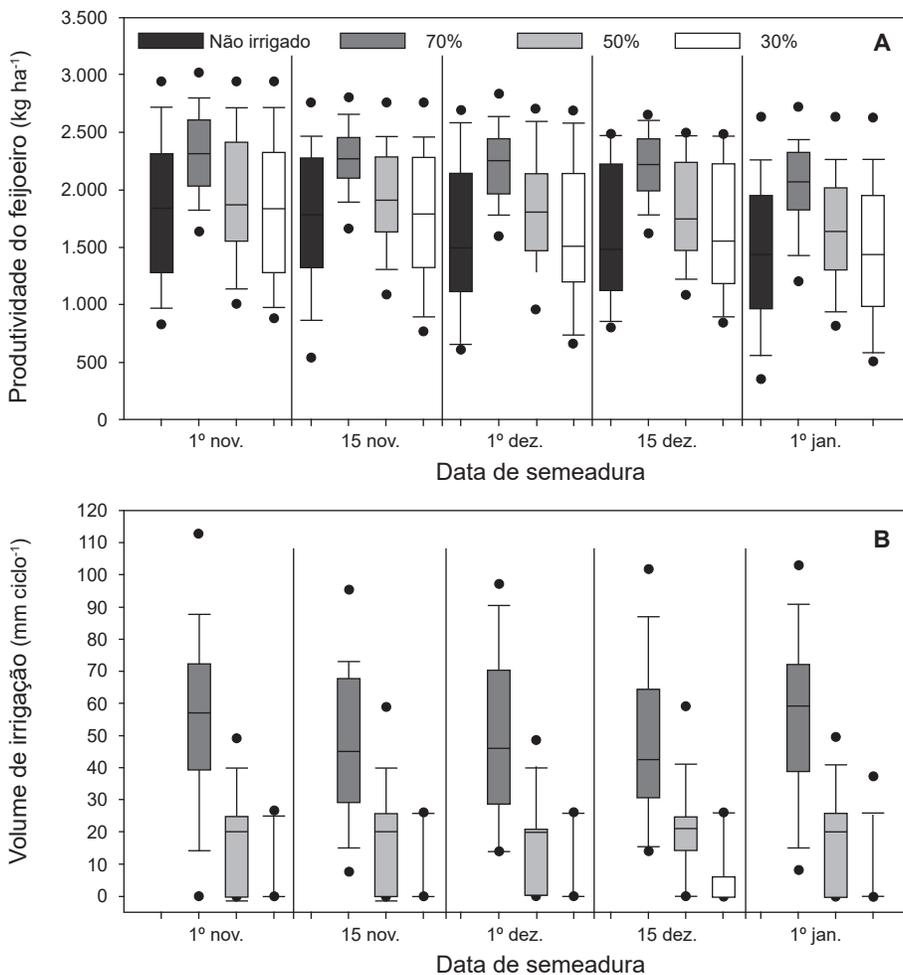


Figura 3. Produtividade do feijoeiro (A) e volume de irrigação (B) para datas de semeadura em sistema não irrigado e irrigado a 70%, 50% e 30% da água total do solo disponível para a cultura. O diagrama indica o percentil, 5%-95%; 10%-90%; 25%-75%; e 50% para 30 safras .

Avaliação econômica por sistema de produção

O VPL aumentou quando o preço de venda do feijão-comum variou de R\$1,33 para R\$5,00 o quilograma (Figuras 4A e 4B). A irrigação a 70% do TAD teve valores superiores, com VPLs máximos de R\$4,16 milhões e R\$3,38 milhões, respectivamente, nas datas de semeadura 1º de novembro e 1º de janeiro (Figuras 4A e 4B), considerando um período de 30 anos. O VPL para irrigação a 50% e 30% do TAD foi menor ou semelhante ao VPL para a condição não irrigada (Figuras 4A e 4B), ambos exigindo preço de venda mais alto do que a irrigação a 70% do TAD para obter VPL igual a zero. Seguindo a tendência da produtividade, o atraso na semeadura de 1º de novembro (Figura 4A) a 1º de janeiro (Figura 4B) resultou na redução do VPL para todos os manejos. Exemplificando, tendo em conta um preço de venda de R\$2,67 por kg, o atraso na data de semeadura reduziu o VPL de R\$0,83 milhão para 0,25 milhão no sistema não irrigado, enquanto a 70% do TAD a redução foi de R\$1,10 milhão para 0,69 milhão (Figuras 4A e 4B).

O retorno sobre o investimento (RSI) variou de, aproximadamente, R\$0,5, quando o preço de venda era de R\$1,33 por kg, para mais de R\$2,5, quando atingiu R\$5,00 por kg (Figuras 4C e 4D). A data de semeadura 1º de janeiro teve menor RSI e maior diferença entre os manejos hídricos. Na data de semeadura tardia o uso de 70% de TAD como manejo da irrigação resultou em RSI maior do que nos outros sistemas (Figura 4D), podendo ser atribuído ao aumento do deficit hídrico, dada à semeadura tardia (Battisti e Sentelhas, 2014). O *payback* ou índice de retorno define o tempo para a volta do investimento inicial. O uso da irrigação exigia um tempo máximo entre oito (70% do TAD) e 13 anos (30% do TAD) (Figuras 4C e 4D), requerendo preço mínimo de venda para RSI positivo.

Os riscos para o agricultor podem ser reduzidos com políticas públicas que garantam preço mínimo para investimento em sistemas de irrigação, incluindo outros benefícios que reduzam os custos de produção (Langarita et al., 2017), assegurando a produção de alimentos. Os preços mínimos de venda para uma taxa interna mínima de retorno de 12% são menores para o sistema não irrigado do que para o irrigado, requerendo um preço mínimo de venda entre R\$1,85 e R\$2,34 por kg (Figura 5). O manejo da irrigação a 70% do TAD demandou um preço mínimo de venda próximo a R\$2,38 por kg para o período de semeadura entre 1º de novembro e 15 de dezembro, enquanto o

de 1º de janeiro exigiu R\$2,60 por kg. Porém, para os manejos a 50% e 30% do TAD foi necessário preço de pelo menos R\$2,60 por kg, para a semeadura em 1º de novembro, chegando a aproximadamente R\$2,83 por kg, com o atraso na semeadura para 1º de janeiro (Figura 5). Esse estudo foi derivado do artigo publicado por Justino et al. (2019).

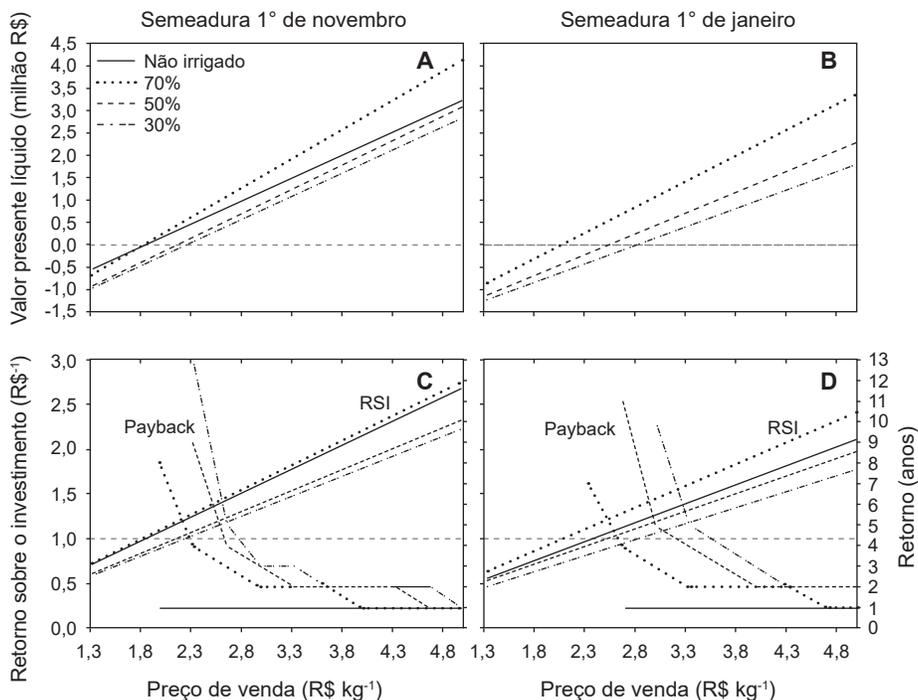


Figura 4. Valor presente líquido (A e B), retorno sobre o investimento (RSI) (C e D) para as datas de semeadura de 1º de novembro (alta produtividade) (A e C) e 1º de janeiro (produtividade menor) (B e C), em razão dos preços de venda e manejo da irrigação para o feijoeiro.

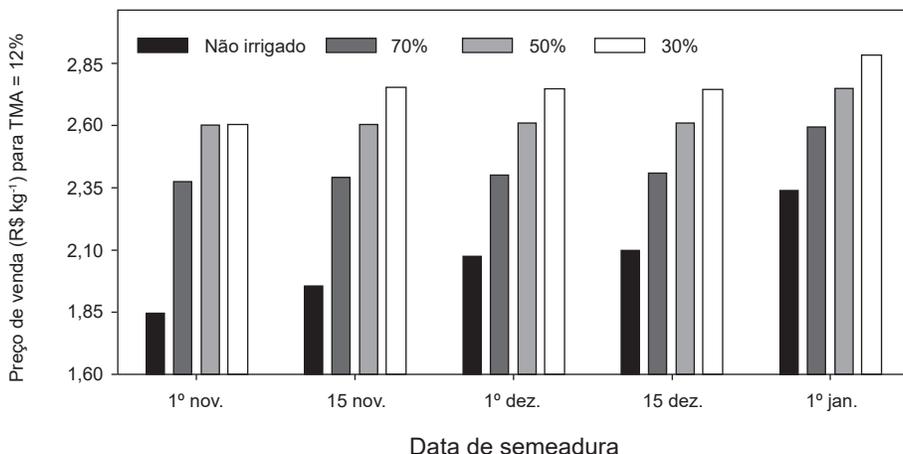


Figura 5. Preço mínimo de venda para obtenção de taxa interna mínima de retorno de 12% em razão da data de semeadura e manejo de irrigação do feijoeiro .

Conclusões

- O uso do manejo de irrigação a partir de 70% do total de água disponível no solo reduz consideravelmente a variabilidade da produtividade por causa do menor déficit hídrico durante a estação chuvosa, mostrando retornos econômicos melhores ou semelhantes às condições não irrigadas;
- O manejo da irrigação a partir de 50% e 30% da água total do solo disponível para a cultura utilizou um volume inferior a 70%, aumentando a produtividade do feijoeiro apenas durante as épocas de cultivo com extremo déficit hídrico;
- O preço de venda do feijão e as datas de semeadura definem o índice econômico para implantação do sistema pivô-central;
- O manejo da irrigação durante o período de chuvas pode ser aplicado a outras regiões do mundo com padrões climáticos semelhantes, visando melhorar a produtividade das culturas e evitar conflitos pela água num período do ano em que a vazão dos rios é maior, garantindo estabilidade no rendimento e produção de alimentos ao longo das estações de cultivo.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **HIDROWEB**: séries históricas de estações. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 27 dez. 2019.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- ALMEIDA, V.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparison of the economic viability of agriculture irrigated by central pivot in conventional and no-tillage systems with soybean, maize and industrial tomato crops. **Global Science and Technology**, v. 11, p. 256-276, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, Dec. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. **Cálculo de indicadores financeiros para sistemas agroflorestais**. 2. ed. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2014. 36 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 57). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1033617>.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. (ed.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira**: 2012-2014. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 272). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/926285>.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: a case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1149-1156, nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1149-1156>.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PARKER, P. S.; NENDEL, C.; CAMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; BASSO, C. J. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 2, p. 154-162, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP17293>.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; DANTAS, J. P. S.; MORAES, M. F. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 3, p. 159-168, June 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0016-0>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico>. Acesso em: 1º mar. 2019.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**: feijão. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais - estudo de caso. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, n. 71/72, p. 42-50, 2006.
- FAO. **FAOSTAT. Food and agriculture data**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 20 abr. 2018.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. (ed.). **Planejamento de irrigação**: análise de decisão de investimento. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 627 p.

GARZEL, J. C. **Matemática financeira e análise de investimentos**. Curitiba: SENAR-PR, 2003. 37 p.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; DI STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 225, p. 57-74, Sept. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2016.05.010>.

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; SHELIA, V.; BOOTE, K. J.; SHING, U.; WHITE, J. W.; HUNT, L. A.; OGOSHI, R.; LIZASO, J. L.; KOO, J.; ASSENG, S.; SINGELS, A.; MORENO, L. P.; JONES, J. W. **Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT): version 4.7**. 2017. Disponível em: <https://dssat.net>. Acesso em: 10 out. 2018.

IFAG. Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária em Goiás. **Custos de produção**. Disponível em: <http://ifag.org.br/>. Acesso em: 12 nov. 2018.

IMB. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. **Mapeamento dos pivôs centrais de 2016**. Disponível em: <http://www.imb.go.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Monitoramento do clima**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>. Acesso em: 14 nov. 2018.

JUSTINO, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; LEITE, C. V.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 224, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105749>.

LANGARITA, R.; CHÓLIZ, J. S.; SARASA, C.; DUARTE, R.; JIMÉNEZ, S. Electricity costs in irrigated agriculture: a case study for an irrigation scheme in Spain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, n. 2, p. 1008-1019, Feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.075>.

MARROU, H.; SINCLAIR, T. R.; METRAL, R. Assessment of irrigation scenarios to improve performances of Lin got bean (*Phaseolus vulgaris*) in southwest France. **European Journal of Agronomy**, v. 59, p. 22-28, Sept. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.006>.

MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100020>.

MUASYA, R. M.; LOMMEN, W. J. M.; MUUI, C. W.; STRUIK, P. C. How weather during development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) affects the crop's maximum attainable seed quality. **Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 56, n. 1/2, p. 85-100, Oct. 2008. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(08\)80018-8](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(08)80018-8).

OKAWA, H. **Pivô central**: forma prática de calcular seu custo de operação. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2001. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=223>. Acesso em: 1º mar. 2018.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 317-322, mar. 1990.

SALES, D. L. A.; ALVES JÚNIOR, J.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUEZ, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, e201703, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2017.011>.

SALES, D. L. A.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, J. M. F.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA, R. M. Common bean evapotranspiration estimated by orbital images. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 867-872, Mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10500>.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 532-538, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000200027>.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, Nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>.

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V. Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 11, p. 1760-1768, Nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.006>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TURRA, F. E. **Análise de diferentes métodos de cálculo de custos de produção na agricultura brasileira**. 1990. 86 p. Dissertação (Mestrado em Economia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ZHENG, H.; YING, H.; YIN, Y.; WANG, Y.; HE, G.; BIAN, Q.; CUI, Z.; YANG, Q. Irrigation leads to greater maize yield at higher water productivity and lower environmental costs: a global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 273, p. 62-69, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.009>.



Arroz e Feijão