

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Chaiane Guerra da Conceição

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DO  
FEIJOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE ALEGRETE, RS**

Santa Maria, RS

2016

**Chaiane Guerra da Conceição**

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DO  
FEIJOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE ALEGRETE, RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS

2016



**Chaiane Guerra da Conceição**

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DO  
FEIJOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE ALEGRETE, RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

**Aprovado em 05 de dezembro de 2016:**

---

**Adroaldo Dias Robaina Dr. (UFSM)**

(Presidente/Orientador)

---

**Márcia Xavier Peiter Dra. (UFSM)**

(Coorientadora)

---

**Ana Rita Costenaro Parizi Dra. (IF Farroupilha)**

---

**Leonita Beatriz Girardi Dra. (URI – Santo Ângelo)**

Santa Maria, RS

2016

## DEDICATÓRIA

Dedico ao meu filho Martin, que me acompanhou desde a barriga nesta caminhada, e embora muito pequeno, deu-me condições de me dedicar ao trabalho. Sei que desde já, aprende o valor do ensino na vida de uma pessoa.

Você é minha inspiração. Te Amo!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida.

À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida.

Ao Professor Adroaldo Dias Robaina, pela orientação e oportunidade concedida, pelos ensinamentos, paciência, incentivo e dedicação para que eu alcançasse meu objetivo. Fica meu carinho, minha amizade, em especial meu respeito e admiração.

À Professora Márcia Xavier Peiter, pela oportunidade, pelas lições e ensinamentos, sempre com muita sabedoria, meu carinho e admiração.

À Professora Ana Rita Costenaro Parizi, pela confiança, incentivo, dedicação e carinho durante todos estes anos, que nos contemplou com uma linda amizade.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Irrigação, em especial a Silvana, Leonita, Luis, Jhosefe, Elisa, Bruna, Jardel, Rogério, Taíse, Ricardo, Vinícius, Anderson e Wellington pelo convívio e amizade.

À Universidade Federal do Pampa, em especial aos Professores Fátima Cibele Soares e Roberlaine Ribeiro Jorge, e aos técnicos Giulian Gautério e Pablo Paula, pela disponibilidade do espaço para realização do trabalho e auxílio durante o experimento.

À minha família, especialmente aos meus amados pais Juarez e Santa, pela educação, carinho e incentivo constante, pelo exemplo de vida e de honestidade. Amo vocês.

Ao meu esposo João, com quem amo partilhar a vida, obrigada pelo carinho, paciência, por entender minha ausência, por me fortalecer a cada novo desafio, e ter sido essencial na condução do experimento.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

*"Sonhos determinam o que você quer.*

*Ação determina o que você conquista".*

*Aldo Novak*

## RESUMO

# ANÁLISE DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DO FEIJOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE ALEGRETE, RS

AUTOR: Chaiane Guerra da Conceição

ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

O cultivo do feijão apresenta importância mundial, tanto no que se refere ao desenvolvimento econômico, quanto ao caráter social. É cultivado nos mais diversificados tipos de sistemas produtivos, e em praticamente todo território brasileiro. Porém, é ainda considerado para muitas regiões, como cultura de subsistência e produzido pela agricultura familiar. Dentre os fatores de produção que mais influenciam no sucesso de lavouras produtivas e de qualidade, o déficit hídrico está entre o mais agravante. A região fronteira oeste do Rio Grande do Sul, apresenta grande potencial para a produção de feijão, se levado em consideração a média da precipitação pluvial ocorrida nos meses de cultivo. No entanto, a má distribuição da precipitação durante os estádios fenológicos da cultura, pode ocasionar na redução da produção. Desta forma, a irrigação torna-se uma forte aliada, juntamente com os demais fatores da produção, na suplementação da água, nos períodos críticos, visando que a cultura se desenvolva e alcance o seu máximo potencial produtivo. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre os componentes de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do feijão, cultivado na região fronteira oeste do RS. O trabalho experimental foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete – RS, no período de fevereiro a julho de 2016. Foi utilizada a cultivar BRS Valente. Os tratamentos foram dispostos em um Delineamento Inteiramente Casualizado com quatro repetições. O manejo das irrigações foi baseado no turno de rega fixo de quatro dias, e a quantidade de água aplicada se deu com base na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), obtida através do produto da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente de cultura (k<sub>c</sub>). Os tratamentos de irrigação foram: 25, 50, 75, 100 e 125% de reposição da ET<sub>c</sub>. Durante o ciclo da cultura do feijão foram avaliados os componentes de crescimento e desenvolvimento das plantas como: altura de plantas, diâmetro do caule e índice de área foliar. Ao final do ciclo da cultura, foram avaliados os componentes de produção: número de vagens planta<sup>-1</sup>, número de grãos vagem<sup>-1</sup>, peso médio do grão, produção de grãos e de matéria seca e produtividade da água. Também foram determinados o índice de colheita e a lâmina ótima econômica da cultura de acordo com diferentes preços do fator água. A irrigação aplicada com lâmina de 100% de reposição da ET<sub>c</sub> maximiza a produção de grãos de feijão para a região de Alegrete, RS, para as condições de clima e solo em que o experimento foi conduzido.

**Palavras-Chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Déficit hídrico. Lâminas de irrigação.



## SUMMARY

### ANALYSIS OF GROWTH AND ECONOMIC PRODUCTIVITY OF IRRIGATED BEAN IN REGION OF ALEGRETE, RS

AUTHOR: Chaiane Guerra da Conceição

ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

The cultivation of beans has global importance, both in terms of economic development, as the social character. It is grown in the most diverse types of productive systems, and in practically all Brazilian territory. However, it is still considered to many regions, such as subsistence crop and produced by family farmers. Among the factors of production that most influence on the success of productive and quality of crops, the water deficit is among the most aggravating. However, both the water deficit as water excess can be harmful to bean crop. The region of Alegrete, RS presents great potential for bean production, considering the average rainfall occurred in the growing months. However, the poor distribution of the precipitation during the phenological stages of the crop, can result in reduction of the production. In this way, along with the other factors of production, irrigation becomes a strong ally in water supplementation, during critical periods, aiming for the crop to develop and reach its maximum productive potential. In this context, the objective of this study was to evaluate the influence of the application of different irrigation levels on the components of growth, development and productivity of bean crop, cultivated in border west region of RS. The experiment was carried out in a greenhouse at Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete - RS in the period from February to July 2016. It was used the cultivar BRS Valente. Treatments were arranged in a completely randomized design with four replications. The management of irrigation was based on fixed watering shift of four days, and the amount of water applied was stipulated based on crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), the product of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and the crop coefficient (k<sub>c</sub>). The irrigation treatments were: 25, 50, 75, 100 and 125% of replacement of ET<sub>c</sub>. During the bean crop cycle has been measured the growth and development components of plants as plant height, stem diameter and leaf area index. At the end of the crop cycle, production components were evaluated: number of plant pods, number of pod grains, average weight of grain, grain yield and production of dry matter and water productivity. Also the harvest index were determined and the economic great level of irrigation for the crop. Irrigation applied under 100% of ET<sub>c</sub> replacement maximizes the grain production of beans in region of Alegrete, RS, found for the climate and soil conditions in which this experiment was conducted.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Water Deficit. Levels of Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição dos vasos em seus diferentes tratamentos dentro da casa de vegetação.....	31
Figura 2 - Temperatura e Umidade Relativa média diária, observadas durante o ciclo do feijoeiro.....	33
Figura 3 - Valores diários de evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) e da evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ), durante o ciclo da cultura do feijoeiro.....	38
Figura 4 - Influência da água aplicada sobre a altura de plantas de feijão.....	42
Figura 5 - Influência da água aplicada sobre o diâmetro do caule de plantas de feijão...	43
Figura 6 - Influência da água aplicada sobre o número de vagens planta <sup>-1</sup> do feijão.....	46
Figura 7 - Influência da água aplicada sobre a produção de grãos do feijão.....	48
Figura 8 - Influência da água aplicada sobre a matéria seca do feijão.....	50
Figura 9 - Influência da água aplicada sobre a produtividade da água para a cultura do feijão.....	51
Figura 10 - Influência da água aplicada sobre o índice de colheita da cultura do feijão....	52
Figura 11 - Lâmina ótima econômica, em função da relação preço da água (P <sub>w</sub> ) e o preço do quilo do feijão (P <sub>y</sub> ), para a produtividade comercial.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala fenológica do feijoeiro comum.....	18
Tabela 2 - Coeficiente de cultura (kc) para três fases do ciclo do feijoeiro, no sistema convencional de semeadura.....	26
Tabela 3 - Características da cultivar BRS Valente.....	32
Tabela 4 - Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas) para os diferentes tratamentos.....	41
Tabela 5 - Influência da água aplicada sobre o índice de área foliar do feijão.....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1	CULTURA DO FEIJÃO – ASPECTOS GERAIS.....	16
2.2	FENOLOGIA DO FEIJOEIRO.....	17
2.3	ASPECTOS CLIMÁTICOS QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE FEIJÃO	18
2.4	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA.....	21
2.5	IRRIGAÇÃO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....	22
2.6	PRODUTIVIDADE DA ÁGUA.....	25
2.7	COEFICIENTE DE CULTURA (KC).....	26
2.8	EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	27
2.9	ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	28
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1	LOCAL, ÉPOCA E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	30
3.2	SEMEADURA E ADUBAÇÃO.....	31
3.3	DESCRIÇÃO DA CULTIVAR UTILIZADA.....	31
3.4	TRATOS CULTURAIS.....	32
3.5	ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS.....	32
3.6	IRRIGAÇÃO.....	33
3.7	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA PLANTA.....	34
3.7.1	Índice de área foliar.....	34
3.7.2	Altura de plantas e diâmetro do caule.....	35
3.8	COMPONENTES DE PRODUÇÃO E MATÉRIA SECA.....	35
3.8.1	Matéria seca.....	35
3.8.2	Produção de grãos.....	35
3.8.3	Índice de colheita.....	36
3.8.4	Produtividade da água.....	37
3.9	DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA CULTURA.....	37
3.10	ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	39
3.11	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1	IRRIGAÇÃO.....	41
4.2	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS.....	41
4.2.1	Altura de Planta.....	41
4.2.2	Diâmetro do caule.....	43
4.2.3	Índice de área foliar.....	44
4.3	COMPONENTES DE PRODUÇÃO.....	45
4.3.1	Número de vagens por planta.....	45
4.3.2	Número de grãos por vagem.....	47
4.3.3	Peso médio do grão.....	47
4.3.4	Produtividade de grãos.....	47
4.3.5	Produção de matéria seca.....	49
4.3.6	Produtividade da água.....	50
4.3.7	Índice de Colheita.....	52
4.3.8	Análise econômica da produção de grãos.....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>65</b>
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA DA PLANTA PARA O FEIJOEIRO.....	65
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO DO CAULE PARA O FEIJOEIRO.....	66
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR PARA 20% DO CICLO.....	67
	APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE.....	68
	APÊNDICE E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA.....	69
	APÊNDICE F – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE COLHEITA.....	70

## 1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola evolui incessantemente, em busca de novas tecnologias que visem o aumento das produções das culturas, visando o ritmo de crescimento populacional e a demanda por alimentos.

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta elevada importância na alimentação humana, em vista de suas características protéicas e energéticas. Atualmente é um produto cultivado por pequenos e grandes produtores, nos mais diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras. O feijoeiro comum reveste-se de grande importância econômica e social em todo território nacional com diversificação das variedades produzidas. Segundo a Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB (2016), a área de feijão semeada no país na safra de 2015/2016 foi de 2.837,4 mil hectares, ficando o Brasil como o terceiro maior produtor mundial com 12% do total produzido, atrás de Myanmar (16,4%) e Índia (15,7%).

O feijão preto comum é mais popularmente consumido no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo. No restante do país outras variedades tais como o feijão carioca tem maior aceitação.

Quando se tratam de fatores climáticos que mais influenciam na produção deste alimento, são preponderantes: a precipitação pluvial, temperatura e a radiação solar. Sendo, dentre estes, a precipitação pluvial, escassa ou mal distribuída, a principal causadora do insucesso das lavouras (PEREIRA et al., 2014).

O município de Alegrete faz parte da região fronteira oeste do Rio Grande do Sul, sendo esta compreendida na metade sul do Estado. A região fronteira oeste, por sua vez, é caracterizada pelo latifúndio, pouco empreendedorismo e do conservadorismo capitalista, onde se predomina a produção de pecuária e do arroz irrigado (ILHA et al., 2016). Neste contexto, delineia-se como uma região em processo de estagnação em termos de implantação de novas culturas, como é o caso da cultura do feijão que apresenta poucas áreas destinadas à produção e cultivada em pequena escala como cultura de subsistência.

Devido a estes fatores, para que este cenário se modifique, são necessários novos estudos que demonstrem a capacidade produtiva de grãos de feijão para esta região. Levando-se em consideração a elevada influência das condições ambientais sobre essa cultura, que ocasiona variações e instabilidade no rendimento, tornando o feijão uma cultura de risco e gerando insegurança aos produtores e conseqüentemente o desestímulo ao seu cultivo.

Ainda, em relação à região de Alegrete, esta apresenta boa aptidão agrícola para o cultivo do feijão. Especialmente levando em consideração a média de precipitação para os meses de cultivo (setembro a fevereiro), que situa-se de 480 a 510 mm (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2014), ultrapassando a necessidade hídrica da cultura que é de 300 a 400mm em todo ciclo.

Porém, o regime pluviométrico irregular da região é um dos principais fatores que afeta a expansão de culturas como o feijão, pois o déficit hídrico causado pela falta de água pode causar danos fisiológicos irreversíveis que refletem no desempenho produtivo do mesmo. Em contrapartida, o excesso de água, promovido normalmente por anomalias climáticas, como é o caso do El Niño, também se comporta como grande causador na redução produtiva, em razão na baixa ou nenhuma aeração das raízes, aliado a baixa radiação solar. Devido a este fato, o preço médio do produto obteve aumento de 110,6% no seu valor em relação à safra de 2015, para o período de setembro de ambos os anos.

Neste contexto, a técnica da irrigação, consiste em um aliado na suplementação hídrica, aliada a demais fatores como manejo de solo, sementes de qualidade e uso recomendado de fertilizantes e insumos, visando o uso eficiente de recursos naturais como a água, e ainda levando em consideração que este é um dos principais vilões nos custos finais da produção. Deste modo, fica evidenciado que o estudo da aplicação de diferentes lâminas de irrigação na cultura do feijão e a eficiência da aplicação de água, levando em consideração os fatores sociais e ambientais da região fronteira oeste, tem como objetivo viabilizar a incorporação de novas áreas e tecnificar as áreas já existentes, apresentando uma nova opção.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo geral avaliar os parâmetros de crescimento, bem como a produção e a análise econômica do feijoeiro comum submetido a diferentes lâminas de irrigação, no cenário agrícola do município de Alegrete, RS.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Através da revisão bibliográfica exibida a seguir, é possível obter informações relevantes sobre a cultura do feijão, em forma de um breve histórico que leva em consideração, além de dados gerais da cultura, a influência da deficiência hídrica, o uso da prática da irrigação, e no que isto acarreta em termos de produção e qualidade da mesma.

### 2.1 CULTURA DO FEIJÃO – ASPECTOS GERAIS

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Fabaceae e de origem Peruana, apresenta-se como uma das principais e mais importantes fontes de proteína, sendo um ingrediente tradicional na dieta das populações rural e urbana (SILVA, 2005).

O feijoeiro comum é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus* e considerando todos os gêneros e espécies englobados como feijão nas estatísticas da FAO, este engloba cerca de 107 países produtores em todo o mundo (YOKOYAMA, 2003).

As diferenças na preferência do tipo de grão de feijão pelos consumidores propõe a difusão da pesquisa tecnológica e direcionam a produção e a comercialização do produto, pois as regiões brasileiras são bem definidas quanto à este aspecto.

No Brasil, a cultura do feijoeiro nos últimos anos vem sofrendo grandes modificações. Nas décadas de 80 e 90, a produção se caracterizava apenas em pequenas áreas, com pouca ou nenhuma tecnologia, voltados para a subsistência familiar e apostando na instabilidade do mercado (DALCHIAVON et al., 2011). Sendo a agricultura familiar a responsável por mais de 67% da produção no país, que ainda é feita com baixo uso de tecnologia, fato este que tem causado a baixa produtividade média nacional (GALBIATTI et al., 2011).

O Brasil produz aproximadamente 2,5 milhões de toneladas por ano deste grão, com consumo médio na ordem de 17,5 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2011).

A estimativa de produção por área brasileira para a safra 2015/2016 é de 887 kg ha<sup>-1</sup> gerando em torno de 2515,8 mil toneladas do grão, segundo dados da Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB). Essa média é relativamente baixa, considerando que atualmente se produzam sementes com altos potenciais produtivos, ultrapassando 4000 kg ha<sup>-1</sup>. (EMBRAPA, 2012).

No Estado do Rio Grande do Sul, a produção de feijão decresceu, segundo a instabilidade climática, principalmente em relação a precipitação pluvial, segundo o



Ministério da Agricultura e Pecuária, que destaca que na década de 1970 eram semeados 250 mil hectares, e na safra 2015/2016 foram observados apenas 41,8 mil hectares, 4% ainda menos que os 48,6 mil da safra anterior. Os valores reais de produção apresentados para o Estado no ano de 2015 foram de 1275 kg ha<sup>-1</sup> contabilizando 56,2 mil toneladas do grão.

Esta informação corrobora com Parizi (2007), que estudando a aplicação de diferentes lâminas de irrigação na cultura do feijão para a região de Santiago – RS verificou valores de 1603,03 kg ha<sup>-1</sup>, sendo possível observar que houve uma redução de 25,7%, daquele ano em relação a 2015 em termos de produção de grãos.

Brito et al. (2016), em contrapartida, estimou valores de produtividade de 861 kg ha<sup>-1</sup>, para tratamentos sem restrição hídrica, apresentando valores próximos a média nacional para este ano. Deste modo, verifica-se a redução na produção de grãos da cultura.

Quanto a época de cultivo, a cultura de feijão, tradicionalmente, divide-se em três épocas básicas de semeadura, sendo estas, a "1ª Safra" (agosto e setembro), compreendendo o período chuvoso, "2ª Safra" (janeiro e fevereiro), e "3ª Safra" (abril a junho), porém este ano, devido à interferência climática, houve redução de 7,1, 0,4, e 16,5% para a 1ª, 2ª e 3ª safras, respectivamente.

No Rio Grande do Sul, normalmente, a principal safra é semeada na época das águas, onde a colheita ocorre entre os meses de novembro a janeiro, ficando com o ciclo de desenvolvimento em um período que pode ocorrer déficit hídrico, principalmente no final do ciclo. Já na época da seca, a cultura pode ser mais fortemente comprometida pela ocorrência de déficit hídrico, devido à maior demanda evaporativa atmosférica e pela distribuição desuniforme da precipitação pluvial.

## 2.2 FENOLOGIA DO FEIJOEIRO

O feijoeiro compreende duas fases, denominadas fase vegetativa e fase reprodutiva. Na primeira, o início se caracteriza pelo completo desdobramento das folhas primárias, até o aparecimento dos primeiros botões florais (FANCELLI, 1990, 1992). Este período é normalmente favorecido pela ocorrência de temperaturas de 21 a 29,5°C, boa disponibilidade hídrica e luminosidade. Já a fase reprodutiva de desenvolvimento, ocorre logo após a emissão dos primeiros botões florais e se estende até o ponto de maturidade fisiológica da cultura. Nesta fase, há extrema sensibilidade à deficiência e excesso de água no solo (FANCELLI, 2009).

Saad e Libardi (1997) propuseram que o ciclo da cultura do feijão é dividido em quatro fases, sendo a fase 01 compreendida desde a sementeira e emergência da cultura até o aparecimento do terceiro trifólio desdobrado em 50% das plantas; fase 02 se dá pelo início do aparecimento dos primeiros botões florais até o surgimento das primeiras vagens cheias; fase 3, inicia-se com o aparecimento das primeiras vagens cheias em 50% das plantas e se finda com a modificação da cor das vagens; a fase 04 tem seu início com a modificação da cor das vagens em 50% das plantas, do verde ao amarelo ou pigmentado) e tem seu fim com a colheita da cultura.

Fancelli (2009) propôs a escala fenológica do feijoeiro, que pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1- Escala fenológica do feijoeiro comum.

<b>Fase</b>	<b>Estádio</b>	<b>Descrição do início de cada estágio</b>
<b>Vegetativa</b>	V0	Início da germinação em 50% das sementes
	V1	Instante em que os cotilédones de 50% das plantas estiverem ao nível do solo
	V2	Instante em que as folhas primárias de 50% das plantas estiverem completamente desenvolvidas
	V3	Instante em que o primeiro trifólio de 50% das plantas estiverem completamente desenvolvidos
	V4	Instante em que o terceiro trifólio de 50% das plantas estiverem completamente desenvolvidos
<b>Reprodutiva</b>	R5	Instante em que os primeiros botões florais são observados em 50% das plantas
	R6	Instante em que abrir a primeira flor em 50% das plantas
	R7	Instante em que são observadas as primeiras vagens em 50% das plantas
	R8	Instante em que é observada a primeira vagem cheia em 50% das plantas
	R9	Instante em que houver modificação da cor das vagens em 50% das plantas (do verde ao amarelo ou pigmentado)

Fonte: Fancelli (2009).

### 2.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE FEIJÃO

Os componentes de produção para a cultura do feijão são: população final de plantas, número de vagens planta<sup>-1</sup>, número de grãos vagem<sup>-1</sup> e massa de cem grãos, sendo que todos

estes, podem ser alterados por condições climáticas, fertilidade do solo e práticas agrícolas, o que refletirá provavelmente na produtividade de grãos (PORTES, 1996).

Para a cultura do feijoeiro, destacam-se como principais vilões climáticos a precipitação pluvial, temperatura e a radiação solar (PEREIRA et al., 2014).

A temperatura é o elemento climático que mais exerce influência sobre a porcentagem de vingamento de vagens e, de maneira geral, faz referência sobre o efeito prejudicial das altas temperaturas sobre o florescimento e a frutificação do feijoeiro. A temperatura média ideal para cultivo do feijoeiro varia durante o dia de 18 a 24 °C e durante a noite de 15 a 21° C, com temperaturas próximas a 35 °C as vagens não vingam.

A alta temperatura afeta bastante quanto relacionada com a baixa umidade do ar, ocasionando perda da produtividade por abortamento de flores e deficiência no enchimento de grãos. Em contrapartida, baixas temperaturas estimulam um aumento considerável no ciclo da cultura e grandes períodos com baixa luminosidade também atrapalham na produção (COBUCCI & BIAVA, 2005).

Didonet (2010), estudando a temperatura em relação à pré-floração e a produção do feijoeiro comum, constatou que com o aumento da temperatura mínima, da radiação solar global incidente e da taxa diária de absorção de nitrogênio, até o terceiro trifólio, provocaram redução no rendimento de grãos do feijoeiro.

Hoffmann Júnior et al. (2007), em estudo com submissão de plantas de feijão a 30°C, observou que em relação ao número de flores e de vagens abortadas, os maiores valores foram constatados para as cultivares “Iraí”, “Carioca Precoce” e “PR 468” que floresceram mais precocemente, pelo fato de terem sido submetidas a maior número de dias com temperatura de 30° C, o que contribuiu para o elevado número de flores abortadas.

Tratando-se da radiação solar, Araújo (2015), explica que a cultura do feijoeiro, quando exposta à baixa quantidade de radiação solar, apresenta decréscimo no índice de área foliar, concorrendo para uma menor área de interceptação de energia, com efeito em todo seu metabolismo fisiológico. Por outro lado, em condições de alta radiação solar, os índices foliares serão maiores. Porém, isso não significa que haverá um aumento no rendimento da cultura, pois maior produção de grãos está diretamente relacionada à eficiência fotossintética da cultivar. O mesmo autor ainda afirma que a radiação solar influencia consideravelmente as taxas de fotossíntese das plantas.

O valor de saturação de radiação solar varia com a idade e o tipo da planta. De forma geral, pode-se citar que regiões que apresentem valores de radiação solar em torno de 150-250

$W m^2$  podem ser consideradas como ideais para o desenvolvimento do feijoeiro. Acima de  $400 W m^{-2}$ , a taxa de fotossíntese é praticamente constante.

Já a precipitação pluvial constitui-se em um dos principais fatores preponderantes a produção das culturas. No feijoeiro estima-se que este parâmetro seja o principal causador do baixo rendimento, exigindo no mínimo 300 mm de precipitação pluviométrica bem distribuída durante todo seu ciclo (MATZENAUER et al., 1999).

A deficiência hídrica na fase de florescimento é extremamente prejudicial, este fato se deve à limitações anatômicas e fisiológicas, por apresentar baixa capacidade de recuperação após a ocorrência da deficiência hídrica e também por resultar em um sistema radicular pouco desenvolvido (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

A ocorrência de deficiência hídrica no Rio Grande do Sul para o feijoeiro é frequente, podendo se esperar redução no rendimento de grãos desta cultura, em duas a cada dez safras (MATZENAUER et al., 2004).

Desta forma, Ramirez-Vallejo e Kelly (1998) observaram que o número de vagens e de grãos representam os componentes de produtividade com maior resposta ao estado hídrico das plantas enquanto o tamanho das sementes apresentou-se como mais estável. Ainda neste contexto, Guimarães et al. (2011), destaca que o número de vagens planta<sup>-1</sup> é o componente agrônomo mais sensível ao estado hídrico do feijoeiro comum e acrescenta-se ainda que o número de vagens planta<sup>-1</sup> é mais intensamente afetado que o de grãos vagem<sup>-1</sup>, inferindo - se que a deficiência hídrica atua com mais intensidade sobre a abscisão de flores e vagens do que sobre a esterilidade do grão de pólen, a qual determina menor número de grãos vagem<sup>-1</sup>.

Cunha et al. (2013) em seus estudos, observou que as plantas de feijoeiro submetidas a déficit hídrico de 21 e 37% nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente, têm sua produtividade reduzida em 29%. O mesmo autor ainda destaca que o déficit hídrico de 22% na fase reprodutiva é capaz de reduzir a produtividade do feijoeiro em 15% e o número de grãos vagem<sup>-1</sup> e a altura das plantas variam em função do regime hídrico com reduções significativas devido às irrigações com menores lâminas.

Torres et al. (2013), em trabalho com diferentes lâminas de irrigação associadas a diferentes tipos de coberturas de solo, obtiveram produtividade de  $2200 kg ha^{-1}$  para o feijoeiro irrigado com 100% de reposição da ETc. Meira e Buzetti (2005), em trabalho com doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado, observaram valores de 12,11 para número médio de vagens planta<sup>-1</sup>, 5,70 de número de grãos vagem<sup>-1</sup> e peso de cem grãos de 27,57g.

## 2.4 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA

Tratando-se dos parâmetros de crescimento das plantas, Loomis e Amthor (1999), consideram que a maioria das culturas de lavoura apresentam um modelo de crescimento sigmóide, onde se verifica que o início do ciclo o crescimento é lento, aumentando gradativamente até atingir um ponto máximo e se estabilizar.

O índice de área foliar, para Fancelli e Dourado Neto (2000), é a relação entre a superfície da folha fotossinteticamente ativa em relação à unidade de superfície de solo. Assim, segundo Faravin et al. (2002), o IAF ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ), expressa a relação existente entre a área foliar da planta e a área do terreno ocupada pela cultura, sendo esta uma variável importante como parâmetro indicativo da produtividade.

De acordo com Bastos et al. (2002), é de grande importância o estudo do desenvolvimento foliar na avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas, levando-se em consideração que as folhas constituem em um aparato fotossintético e são responsáveis pela formação de carboidratos que são alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos da planta.

A variação da área foliar no tempo, de maneira geral, apresenta aumento linear até um máximo, permanecendo por um período e decrescendo logo depois, em razão da senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese está diretamente relacionada a área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (PEREIRA e MACHADO, 1987).

Parizi (2007), constatou valores máximos de IAF de  $7,74 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , para tratamentos com estratégias de irrigação com reposição de 80% da ETo, na região de Santiago - RS. Já Carvalho et al. (2011) observou índice de área foliar máximo de  $6,42 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  para o feijoeiro comum irrigado com 100% de reposição da ETc. Valores que corroboram com o encontrado por Souza e Lima (2012), que obteve valor de  $6,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  no período de maturação da variedade carioca.

Para o parâmetro de altura de planta, Souza et al. (2003), observou esta variável em diferentes cultivares de feijão na “safra das águas” e na “safra da seca” e constatou alturas de plantas de 92 e 70 cm respectivamente.

Já Carvalho et al. (2016) obteve valor de altura de planta de 53,69 cm para tratamento do feijoeiro irrigado com 100% de reposição da ETc.

Também representando um parâmetro de crescimento e não tão menos importante que a altura das plantas para se representar as mudanças de tamanho, o diâmetro do caule, segundo Abubaker (2008) define que esta variável para a cultura do feijão, está diretamente relacionada com a densidade populacional de plantas. Uma vez, que em estudo com diferentes densidades, obteve valores variando de 3,54 a 6,17 para espaçamentos entre linhas de 10 e 60 cm, respectivamente.

## 2.5 IRRIGAÇÃO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO

A irrigação aliada a fatores como temperatura permite ganhos significativos de produtividade da cultura do feijão, enquanto o déficit hídrico ou excesso de água, podem ocasionar perdas e menores produções (AGUIAR et al., 2008).

Diante dos avanços tecnológicos e características socioeconômicas, o cultivo de feijão tem sido praticado por agricultores que têm os mais variados níveis de tecnologia, onde se destaca a irrigação ( LOPES et al., 2011 ).

No Brasil, o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é cultivado em praticamente todo o território nacional, em várias épocas de semeadura, o que o expõe a uma grande diversidade climática, compreendendo áreas que apresentam deficiência da precipitação pluvial (DIDONET, 2005).

Deste modo, a irrigação pode ser considerada uma prática agrícola indispensável, para que se possam obter lavouras com produtividades elevadas e de boa qualidade. Propiciando ainda, a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo nas quais sem a irrigação a produção das culturas são impraticáveis ou consideradas de baixa produtividade.

O consumo de água despendido pelas culturas dependem da demanda energética atmosférica, do conteúdo presente de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera, tornando-se necessário o estudo de parâmetros de apoio para o cálculo da necessidade hídrica da planta, como por exemplo, o coeficiente de cultura (kc) (OLIVEIRA, et al., 2013).

A avaliação de sistemas de cultivo e de técnicas de manejo que potencializem a produção da cultura com o emprego da técnica da irrigação assume importância considerável devido à escassez de recursos hídricos e pelo fato da agricultura irrigada ser um dos setores que mais demandam água. A necessidade de se produzir com qualidade e em maior quantidade, reduzindo os impactos ambientais sobre o recurso natural 'água' exige novos

conhecimentos sobre as reais necessidades hídricas das culturas (REIS et al., 2007; MORAIS et al., 2008; SANTANA et al., 2009).

Para Silveira e Stone (2001), a produtividade do feijoeiro é bastante afetada pela condição hídrica do solo e, deficiência ou excesso de água nas diferentes fases do ciclo da cultura causam redução da produtividade.

Santana et al. (2008), verificaram um aumento na produtividade do feijoeiro em função da reposição de água, atingindo o máximo de 3.377,4 kg ha<sup>-1</sup> com o volume correspondente a 100% de água consumida, havendo queda de produtividade de grãos na ordem de 799 kg ha<sup>-1</sup>, quando utilizou-se 160% da reposição de água.

Deste modo, Parizi (2010), comparando a produção de grãos da cultura submetida a diferentes disponibilidades hídricas, obteve um aumento na produtividade de feijão de 53,10% em relação ao tratamento sem irrigação para o tratamento irrigado com 100% de reposição da evapotranspiração da cultura.

Já Torres et al. (2013) observou decréscimo de 35,90% na produtividade do feijoeiro irrigado com 40% de reposição da evapotranspiração da cultura para a cultura irrigada com 100%. O autor ainda comenta que déficit hídrico causado pelas lâminas d'água equivalentes a 40% e 70% da evapotranspiração diária da cultura reduziu o crescimento das plantas e a quantidade de vagens e grãos planta<sup>-1</sup>.

Mantovaniet al. (2012) em um estudo realizado em Cristalina, GO, concluiu que a maior produtividade foi de 2.946,52 kg ha<sup>-1</sup> quando foi irrigado no sistema com maior coeficiente de uniformidade de aplicação de água (90%).

Se tratando do excesso de água, que também pode se tornar prejudicial, Santana et al. (2010), descreve que o excesso de água no solo promove, entre outras, a asfixia das raízes, diminuindo a absorção e resultando em diminuição da produtividade e redução da produtividade de água.

Sendo assim, Alves Júnior (2006), salienta que o manejo da irrigação envolve a tomada de decisão do quanto e quando irrigar, levando em consideração outros aspectos do sistema produtivo como a adubação, o controle fitossanitário, os aspectos climatológicos e econômicos, o manejo e as estratégias de condução da cultura. Costa (2004), ainda destaca que a falta de definição dessas duas variáveis, acarreta no uso ineficiente de água, tanto em relação a aplicação de água em demasia, quanto abaixo das necessidades da cultura.

No Brasil, a grande maioria dos produtores que utilizam a agricultura irrigada pouco utiliza qualquer tipo de estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação, e o monitoramento automático para esse manejo é ainda incipiente (GOMIDE, 1998).

Com o manejo inadequado, mesmo quando as irrigações são aplicadas em excesso, as plantas podem ser submetidas a déficit hídrico, comprometendo assim seu maior potencial produtivo. Esse fato ocorre quando o produtor aplica quantidades maiores de água do que o solo pode armazenar e fixa turnos de rega espaçados demais entre as irrigações (MAROUELLI et al., 2008).

Dentre os fatores que contribuem para a ausência do manejo de irrigação, está à metodologia que, embora disponível, ainda não foi apresentada aos produtores de forma acessível, de modo que facilite a sua adoção (SILVEIRA e STONE, 2001).

O manejo da irrigação pode ser realizado através de indicativos de planta, solo, clima ou ainda pela associação destas.

Devido à alta complexidade nos métodos que envolvem o controle das irrigações via planta, esta alternativa não tem tido muita aceitação, devido os métodos requererem calibrações sofisticadas, apresentarem custos dispendiosos e serem poucos sensíveis a variações do teor de água no solo, ainda são pouco confiáveis na indicação sobre o momento de irrigar (JONES, 2004).

O manejo de irrigação que leva em consideração o teor de água existente no solo bem como a energia retida no mesmo, têm sido uma das estratégias mais utilizadas, pois ao contrário dos indicadores para manejo via planta, os indicadores via solo possibilitam determinar além do momento da irrigação, a quantidade de água que deverá ser aplicada em cada irrigação. Porém segundo Jones (2004), este método pode apresentar alguns problemas como a variabilidade espacial do solo, dificuldade na definição da distância entre a planta e o equipamento a ser instalado, e ainda considera que a maioria dos sensores não mede o teor de água diretamente, o que requer calibração.

O manejo de irrigação ainda mais utilizado é o de via clima, por apresentar facilidade na obtenção dos dados necessários, que são variáveis do clima e da cultura empregada, além da facilidade de execução. Dentre os equipamentos que compreendem esse tipo de manejo, podemos citar os tanques Classe A, estações meteorológicas e os lisímetros.

Neste contexto, muitos trabalhos que envolvem métodos de manejo de irrigação, veem sendo produzidos, a fim de verificar quais se adaptam as diferentes condições climáticas, agregado a disponibilidade de materiais e dados que se fazem presentes.

Lopes et al. (2011) verificou que a produção e o número de grãos  $\text{vagem}^{-1}$  do feijoeiro não apresentaram diferença com o manejo baseado pelo método do Tanque Classe “A” e pelo método indireto de Hargreaves-Samani, porém apresentaram aumento de 32,1 e 31,5% na



produtividade e 36,9 e 34,9% no número de grãos  $\text{vagem}^{-1}$  quando comparados com o método tensiométrico.

Pavani et al. (2008) obteve valores com diferenças estatísticas significativas para as variáveis de produção e número de vagens  $\text{planta}^{-1}$  com aumento de 54,96 e 28,8%, para os manejos com Tanque Classe “A” e tensiômetro, respectivamente. O autor ainda relata que os tratamentos de manejo de irrigação via Tanque Classe “A” resultaram, no geral, em valores de potenciais mátricos maiores do que nos de tensiômetros, que em termos quantitativos, representa maior disponibilidade hídrica na zona radicular das plantas sob Tanque Classe “A”.

## 2.6 PRODUTIVIDADE DA ÁGUA

O uso eficiente da água na agricultura irrigada é uma preocupação que cresce em escala proporcional ao aumento da escassez de água de boa qualidade, acentuando a competição entre os mais diversificados setores que dela dependem.

Atualmente chamada de produtividade de água, representa uma forma mais global de avaliar o uso da irrigação, não se restringindo apenas aos aspectos de manejo do sistema, mas considerando também as questões relativas ao retorno econômico do uso da irrigação, à preservação ambiental e ao uso racional da água (TAVARES et al., 2007).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), aproximadamente 70% de toda água potável do mundo, é utilizada na irrigação, o que torna cada vez mais preocupante e ao mesmo tempo estimulante o estudo relacionado à economia, porém eficiente da água na agricultura.

Em termos de produção, a produtividade de água de irrigação, pode ser avaliada através da relação entre o aumento da produção em peso e o volume de água consumido (TAVARES, 2007).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979) a produtividade de água pelas culturas agrícolas depende, sobretudo, das condições físicas do solo, das condições atmosféricas, do estado nutricional das plantas, de fatores fisiológicos, da natureza genética e o seu estágio de desenvolvimento.

Doorenbos e Kassam (1994) estabelecem, para a cultura do feijoeiro, o valor da produtividade de água na produção de grãos com umidade de 10% da ordem de 3 a 6  $\text{kg mm}^{-1}$ . Valores superiores foram encontrados por Cunha et al. (2013), que obteve 8,72  $\text{kg mm}^{-1}$  para este parâmetro com irrigação baseada pelo método de Penmann. Parizi (2007) observou que a maior produtividade de água não se deu no tratamento com maior disponibilidade hídrica, e

sim naquele que apresentava 80% de reposição da ETc, obtendo valor de  $0,97 \text{ kg m}^{-3}$ . Munoz-Perea et al. (2006) encontraram valores de produtividade da água de  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Santana (2008) relataram valores de produtividade de água variando de 2,66 a  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  de acordo com a reposição de água no solo com e sem irrigação, e constataram que as maiores médias ocorreram quando a irrigação foi realizada com 40% da ETc.

## 2.7 COEFICIENTE DE CULTURA (Kc)

Para se relacionar a necessidade de água de um determinado cultivo com suas características de crescimento, é bastante utilizado o coeficiente obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência: o coeficiente de cultura (Kc), sugerido por Doorenbos e Pruitt (1977). De acordo com Carrijo e Oliveira (1997), o Kc faz a integração entre as três características que diferenciam a evapotranspiração da cultura daquela utilizada como referência, que são: altura da planta ou estágio de desenvolvimento, a resistência e o albedo da superfície solo-cultura considerada.

A distribuição do coeficiente de cultura (Kc) durante o ciclo produtivo, é relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado (MEDEIROS et al., 2002).

Segundo Pereira et al. (2010) é válido ressaltar que quando se determina o coeficiente de cultura, é necessário que se leve em consideração o método de irrigação utilizado, pois dependendo deste fator, a porcentagem de área de solo umedecida é afetada, implicando conseqüentemente na evaporação através deste. Dependendo da forma como se estima a evapotranspiração de referência, os valores de coeficiente de cultura são claramente influenciados, pois alguns métodos subestimam e outros superestimam estes valores.

Segundo Stone e Silveira (2005), para o cultivo do feijoeiro em sistema de semeadura convencional, são utilizados os dados de coeficientes de cultura como mostra a Tabela 02.

Tabela 2 - Coeficiente de cultura (kc) para três fases do ciclo do feijoeiro, no sistema convencional de semeadura.

<b>Coeficiente de cultura (kc)</b>		
Germinação ao início da floração	Floração	Desenvolvimento de vagens à maturação
0,69	1,28	1,04

Fonte: Stone et al. (2005).

## 2.8 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

De acordo com Silva et al. (2015), em razão da demanda crescente por recursos hídricos dos mais variados modos, é necessário que haja o planejamento de gestão e da utilização de maneira otimizada e racional principalmente na produção agrícola, que demanda volumes bem mais relevantes quando comparada com as atividades urbanas.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) ou evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>), é considerada um importante parâmetro agrometeorológico para o planejamento e manejo de irrigação, mas, também, é considerada elemento climático de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos (CARVALHO, J, et al. 2011). Em áreas irrigadas se torna fundamental sua determinação, tanto para obtenção do projeto quanto para o volume de água a ser aplicado no manejo da irrigação (ALLEN et al., 2011; FOOLADMAND, 2012; NIAGHI et al., 2013; TABARI et al., 2013).

Dentre os métodos disponíveis para determinação da ET<sub>o</sub>, estão compreendidos o método direto pelo Tanque Classe “A”, e os métodos indiretos, que são classificados em três tipos: métodos baseados em temperatura, métodos baseados na radiação e métodos combinados (TRAJKOVIC e KOLAKOVIC, 2009; ROJAS e SHEFFIELD, 2013).

Neste contexto, muitos pesquisadores e profissionais desenvolvem e utilizam métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>, conforme a disponibilidade de dados meteorológicos que possuem (BENLI et al., 2010; LUO et al., 2012; KISI, 2014), sendo que estes, segundo Shiri et al, (2014), dependem da disponibilidade de dados do local que se estuda.

O Método de Penmann-Monteith (PM-FAO 56) é o método-padrão recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998), para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em escala diária, por levar em conta uma gama de dados climáticos em sua determinação como dados de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade de vento e a radiação global, obtidos nas estações meteorológicas, apresentando-se como uma estimativa mais segura quando comparado aos demais métodos.

Porém, quando não há o conhecimento destas variáveis, é possível que se utilizem métodos mais simplificados que levem em consideração menos variáveis e as que encontram-se disponíveis no local, como é o caso do método de Benevides-Lopes, que necessita apenas de dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%).

Bezerra et al. (2014), observou que não ocorrem grandes dispersões dos dados na correlação do método de Benevides-Lopes para o método de Penmann-Monteith,

apresentando classificação ótima segundo Camargo e Sentelhas (1997), para a região de Mossoró – RN.

Fanaya Júnior et al. (2012) constatou que o método de Benevides-Lopes classificou-se com sofrível, quando comparado ao método padrão no município de Aquidauana - MS.

É importante salientar que o desempenho dos métodos em relação ao método de Penmann-Monteith, varia conforme as diferentes regiões, e antes de ser aplicado deve, preferencialmente, que se tenham informações para a região em estudo. Porém, como o método de Benevides-Lopes depende apenas de dados de temperatura e umidade relativa, seu uso se torna facilitado.

Ainda em relação a evapotranspiração de referência, para se obter a racionalização do uso da água em projetos agrícolas, uma das alternativas disponíveis é a estimativa da (evapotranspiração da cultura) baseada no produto da ETo e coeficiente da cultura (Kc) (LI et al., 2010; CARVALHO, J, et al., 2011; TRAJKOVIC et al., 2011; MINUZZI et al., 2014).

Segundo Burman et al. (1983), é através da evapotranspiração, que pode ser definida a quantidade correta de água a ser aplicada nos cultivos, para isto, existem várias metodologias para a sua determinação, podendo ser separadas em dois grandes grupos: determinação direta e determinação indireta.

Para a determinação da evapotranspiração da cultura, o Método dos lisímetros de drenagem é o mais preciso para determinação direta desde que instalado corretamente, sendo estes, utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. De acordo com Kirkhan et al. (1984), os lisímetros são estruturas destinadas a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem. Na determinação indireta, pode-se citar o produto entre a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura.

Santana et al. (2014) relata que a cultura do feijoeiro apresenta tendência de aumento da ETc na fase de floração e produção com aproximadamente 60 DAE. O mesmo autor, ainda comenta que a ETc apresentou média de 5,25mm dia<sup>-1</sup> com total evapotranspirado de 441,30mm. Essa informação corrobora com o encontrado por Orillo et al. (2016), que observou valor de 5,4mm dia<sup>-1</sup> coincidindo também com o período reprodutivo da cultura.

## 2.9 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS

O principal fator que determina o nível de rentabilidade econômica das atividades agrícolas é o custo refletido pela produção das culturas, permitindo avaliar a eficiência dos sistemas de produção utilizados pelos produtores.

Pode-se expressar a produtividade em função, apenas, da água utilizada pelo cultivo, levando-se em consideração que os demais fatores envolvidos na produção permaneçam fixos, em nível ótimo e iguais para todos tratamentos.

Tendo-se em vista que o custo da água seja integralmente composto pelo custo da energia elétrica ( $\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) necessária para realizar a irrigação, este pode ser obtido através do produto da energia dissipada específica no sistema de irrigação ( $\text{kWh mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), pelo número de horas de funcionamento do sistema de irrigação, pelo custo médio da energia elétrica ( $\text{R\$ kWh}^{-1}$ ), proposto por Lima et al. (2009).

Vários trabalhos encontrados na bibliografia apresentam valores estimados do custo da água ( $\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), para diversos tipos de sistemas de irrigação.

Vieira et al. (2014), com o objetivo de determinar as lâminas de irrigação que resultassem na máxima produtividade, no máximo rendimento econômico e no máximo rendimento industrial da cana-de-açúcar em área irrigada por pivô central em Jaíba – MG, obteve valor de  $\text{R\$ 1,56 mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Paz et al. (2002) estudando a redução da receita líquida decorrente da aplicação deficiente ou excessiva de água, na cultura do feijão irrigado por aspersão, citou valores na ordem de 1,15 e  $\text{R\$ 2,70 mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

Figueiredo et al. (2008), com o objetivo de propor um método para determinar a quantidade ótima de irrigação, considerando diferentes combinações entre receita líquida esperada para a cultura do feijoeiro e nível de risco, quando o único fator limitante à produção é a disponibilidade hídrica, apresentou valor do custo da água de  $\text{R\$ 2,66 mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

De acordo com Ramos et al. (2012), o custo da água chegou a  $\text{R\$ 2,80 mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , em estudo realizado visando determinar estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para a produção de grãos verdes, com a água como fator limitante da produção e diferentes valores de preço do produto.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão expostos os materiais e métodos utilizados neste trabalho, além de informações como localização, época, implantação e condução do referido experimento.

#### 3.1 LOCAL, ÉPOCA E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete – Rio Grande do Sul.

O município de Alegrete apresenta coordenadas geográficas 29°71'16" de latitude sul e 55°52'61" de longitude oeste (coordenadas do centro da praça Getúlio Vargas). O local se encontra a 121m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical, temperado quente, com estações bem definidas (Cfa Koppen).

A média de precipitação pluviométrica é de 1525 mm anuais. A menor média mensal ocorre em agosto e a maior em outubro. As precipitações intensas, dentro de um período de 24 horas, são de até 115 mm. A temperatura média anual é de 18,6°C, variando entre 13,1°C em julho e 35,8°C em janeiro. A menor temperatura mínima observada desde 1931 foi de -4,1°C e a máxima de 40,4°C. A formação de geadas ocorre entre os meses de maio e setembro. A umidade relativa média do ar é de aproximadamente 75% em todos os meses do ano segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2004).

O experimento foi realizado no ano agrícola 2015/16, abrangendo o período de fevereiro/2016 a maio/2016.

Para a condução do experimento, foram utilizados vinte vasos de material plástico, apresentando dimensões de 33 cm de diâmetro e 30cm de altura, com capacidade para aproximadamente 20 litros, dispostos sobre uma bancada com 30 cm de distância do solo, divididos em cinco tratamentos de irrigação com quatro repetições cada (Figura 02).

Os vasos foram preenchidos com solo oriundo de um Argissolo Vermelho distrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro (STRECK et al., 2008), coletado da área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Alegrete.

A Figura 1 apresenta a disposição dos vasos sobre a bancada, dentro da casa de vegetação.

Figura 1 - Disposição dos vasos em seus diferentes tratamentos dentro da casa de vegetação.



### 3.2 SEMEADURA E ADUBAÇÃO

A semeadura foi realizada no dia 26 de fevereiro de 2016 no sistema de plantio convencional. Antecedente a semeadura, foi realizado tratamento fitossanitário nas sementes com o inoculante Standak Top. A semeadura foi realizada de forma manual, colocando-se dez sementes por vaso, a uma profundidade de 03 cm, logo após a emergência das plantas, foi realizado um raleio, de maneira que permanecessem três plantas por vaso. Foi utilizada a cultivar BRS Valente, que possui ciclo médio.

A adubação foi realizada logo após a semeadura, em proporção, aplicando-se o equivalente a  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  da formulação 00-25-20. Aos 15 dias após a semeadura realizou-se a aplicação de nitrogênio (N), na quantidade equivalente a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ .

### 3.3 DESCRIÇÃO DA CULTIVAR UTILIZADA

De acordo com a Embrapa (2004), a cultivar BRS Valente destaca-se pela produtividade, ampla adaptação, qualidade de grão, porte ereto e resistência ao acamamento, durante todo o seu ciclo, que varia de 80 a 94 dias. Indicado para os estados de Goiás/Distrito

Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A cultivar BRS Valente é recomendada para o cultivo em consórcio ou em monocultivos para três épocas de semeadura. Na semeadura devem ser utilizadas 15 sementes metro<sup>-1</sup> a fim de garantir uma população de 12 plantasmetro<sup>-1</sup> na colheita. O espaçamento entre linhas recomendado é de 40 a 50 cm. A cultivar apresenta um tipo de grão preferido pelo mercado consumidor, com excelente aspecto visual e cocção rápida com caldo grosso de cor marrom chocolate. Possui resistência ao mosaico comum, reação intermediária à ferrugem e mancha angular; sob inoculação artificial, apresenta resistência a diversos patótipos do fungo causador da antracnose.

A Tabela 3 apresenta algumas das principais características da cultivar escolhida para o experimento.

Tabela 3 - Características da cultivar BRS Valente.

Tipo de Planta	Arbustiva, indeterminado (tipo II)
Porte	Ereto
Cor da flor	Violeta
Nº de dias para floração	40-53 dias
Cor da semente	Preta
Brilho	Opaco

**Fonte:** Embrapa (2003).

### 3.4 TRATOS CULTURAIS

Na medida de ocorrência foram realizados os tratos culturais de forma homogênea em todos os vasos, de forma a manter todo experimento sem interferência de plantas daninhas, pragas e doenças. Porém em nenhum momento surgiram indícios de pragas e doenças, somente foram realizadas retiradas de plantas daninhas, periodicamente.

### 3.5 ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS

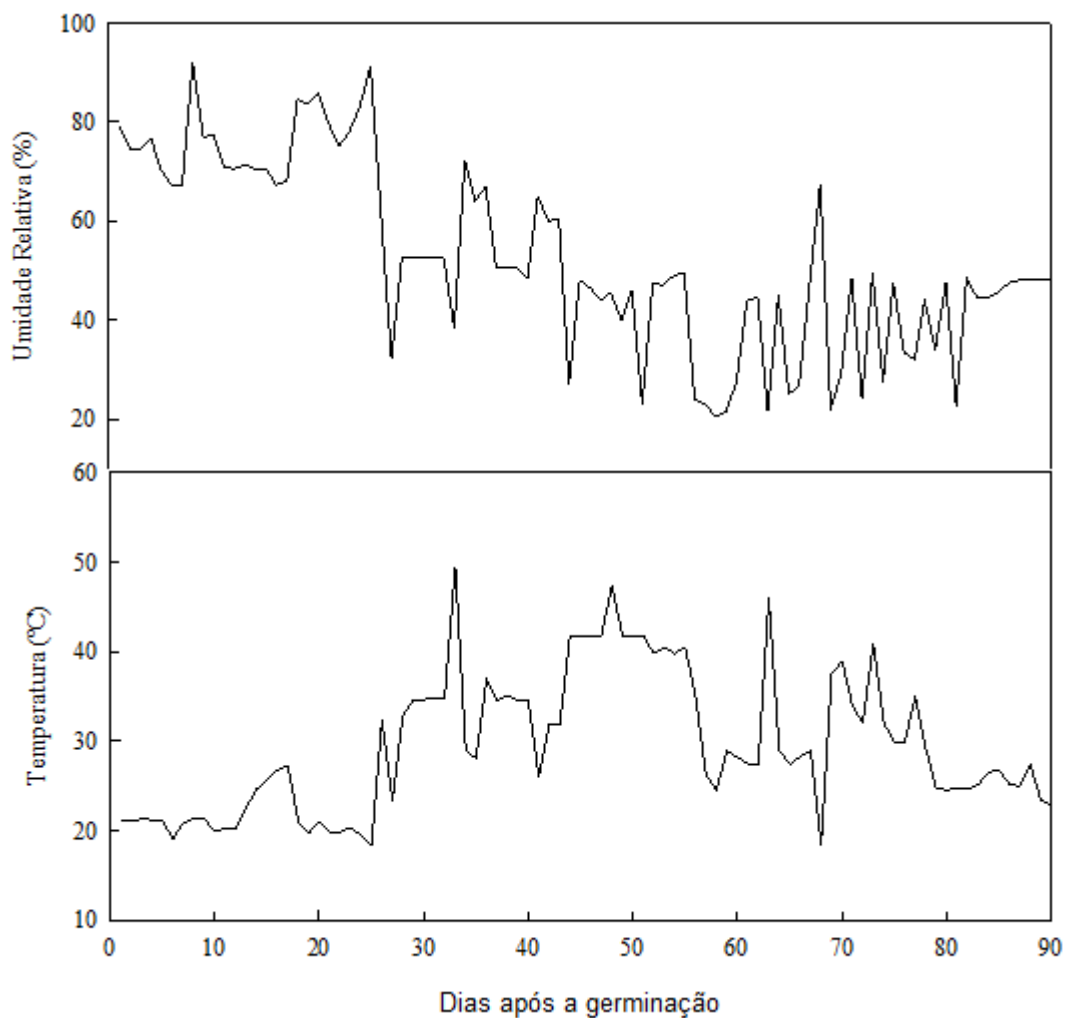
Os dados referentes às condições climatológicas dentro da casa de vegetação, foram obtidas com auxílio de um termo higrômetro digital, que foi instalado próximo a bancada com o experimento. Os elementos agrometeorológicos coletados diariamente foram os valores



máximos e mínimos de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%). Com base nestes valores foi possível determinar a temperatura e a umidade relativa média do dia, para todo o período que compreendeu o ciclo da cultura do feijão. A germinação ocorreu quatro dias após a semeadura.

Os valores diários de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos em dias após a germinação da cultura do feijão, podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Temperatura e Umidade Relativa média diária, observadas durante o ciclo do feijoeiro.



### 3.6 IRRIGAÇÃO

O manejo de irrigação utilizado baseou-se no turno de rega pré fixado, com intervalo de quatro dias entre as irrigações. As lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo da cultura

foram efetuadas com base nos dados de evapotranspiração de referência e realizada através da expressão:

$$ET_c = ETo.kc \quad (1)$$

Onde:

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura (mm);

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência (mm);

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultura.

Para os tratamentos de irrigação foram testadas cinco lâminas distintas, correspondendo a 25% (tratamento 01), 50% (tratamento 02), 75% (tratamento 03), 100% (tratamento 04) e 125% (tratamento 05) do valor da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

A água da irrigação era adicionada aos vasos de maneira uniforme com o auxílio de proveta plástica, onde o valor evaporado em milímetros era convertido para mililitros.

### 3.7 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA PLANTA

#### 3.7.1 Índice de área foliar

As determinações de área foliar tiveram início aos 22 dias após a semeadura, sendo as determinações realizadas em uma planta marcada por repetição, totalizando quatro plantas por tratamento.

A área foliar das plantas foi determinada através do produto das medidas de comprimento e maior largura de cada folha, multiplicada pelo coeficiente de 0,75 (STICKLER et al., 1961).

As medidas foram feitas em nove trifólios planta<sup>-1</sup>, sendo três trifólios na parte de baixo da planta, três trifólios na parte intermediária e três trifólios na parte de cima da planta.

A estimativa do índice de área foliar foi determinada através da média do comprimento máximo das folhas (CM), média da largura máxima das folhas (LM), fator de correção de 0,75, número de folhas (NF) e número de plantas m<sup>-2</sup> (NPL), através da seguinte equação:

$$IAF = \frac{CM.LM.0,75.NF.NPL}{10000} \quad (2)$$

Onde:

CM - média do comprimento máximo das folhas (cm);

LM - média da largura máxima das folhas (cm);

0,75 - fator de correção;

NF - número de folhas da planta;

NPL - número de plantas m<sup>-2</sup>.

### 3.7.2 Altura de plantas e diâmetro do caule

Juntamente com as medidas de área foliar, foram realizadas as medidas de altura de planta (cm) e diâmetro do caule (mm).

A medida de altura de planta foi obtida medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se régua graduada, para a medição do diâmetro do caule foi utilizado paquímetro digital.

Comumente a estas medidas, foram realizadas as determinações de número de folhas por planta.

## 3.8 COMPONENTES DE PRODUÇÃO E MATÉRIA SECA

### 3.8.1 Matéria seca

A determinação de matéria seca foi realizada ao final do ciclo da cultura de cada tratamento através da secagem das plantas em estufa durante 72 horas a 65°C.

Logo após a secagem, as plantas foram retiradas da estufa e determinada a massa referente a cada uma, utilizando uma balança de precisão.

### 3.8.2 Produção de grãos

Quando as plantas atingiram a senescência e umidade própria para colheita, foram avaliados os componentes de produção: número de vagens planta<sup>-1</sup>, número de grãos vagem<sup>-1</sup> e peso médio do grão.

Para a obtenção dos componentes de produção foram coletadas cinco plantas de cada repetição. As plantas foram separadas, colocadas em envelopes de papel, identificadas e secadas em estufa durante 72 horas a 65°C, e posteriormente realizadas as determinações.

Após a retirada das plantas da estufa foram contabilizados o número de vagens planta<sup>-1</sup>, debulhadas e contados os grãos vagem<sup>-1</sup>.

O peso médio do grão foi obtido através da média da pesagem dos grãos planta<sup>-1</sup> de cada repetição para cada tratamento de irrigação.

A estimativa da produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida através da seguinte equação:

$$Pg = \frac{10}{0,01 - U} \cdot NPL \cdot NVP \cdot NGV \cdot PMG \quad (3)$$

Onde:

Pg - produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>);

U - umidade dos grãos para colheita (13%);

NPL - número de plantas m<sup>-2</sup>;

NVP - número de vagens plantas m<sup>-1</sup>;

NGV - número de grãos vagem<sup>-1</sup>;

PMG - peso médio do grão (g).

### 3.8.3 Índice de colheita

Com os valores de massa seca total e a produção dos grãos, obteve-se o índice de colheita, através da seguinte fórmula:

$$IC = \frac{Pg}{MS} \quad (4)$$

Onde:

Pg - produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>);

MS - matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>).

### 3.8.4 Produtividade da água

A produtividade da água (PW) para os diferentes tratamentos de irrigação em relação à produção de grãos foi determinada através da expressão:

$$PW = \frac{Pg}{TAA} \quad (5)$$

Onde:

Pg - produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

TAA - total de água aplicada ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

### 3.9 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E DA CULTURA

Conforme a disponibilidade de dados meteorológicos disponíveis dentro da casa de vegetação (umidade relativa e temperatura) foi utilizado o método indireto de Benevides-Lopes para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).

Os dados necessários para a determinação da ET<sub>o</sub> foram coletados diariamente com o auxílio de termo higrômetro digital instalado dentro da casa de vegetação.

A evapotranspiração de referência dentro da casa de vegetação foi estimada através do método de Benevides-Lopes e adotando a correção de Rigoni et al. (2013):

$$ET_o = 0,67.10^{\left(\frac{7,5T}{T+237,5}\right)} (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,12 \cdot T - 0,38 \quad (6)$$

Onde:

T - temperatura média (°C);

UR - umidade Relativa média do ar (%).

Os valores diários de evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) no decorrer do ciclo do feijoeiro, foram obtidos através da multiplicação dos valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) - obtidos através do método de Benevides-Lopes - corrigida por Rigoni et al (2013), e os valores de coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) para as três diferentes fases do ciclo do feijão.

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \quad (7)$$

Onde:

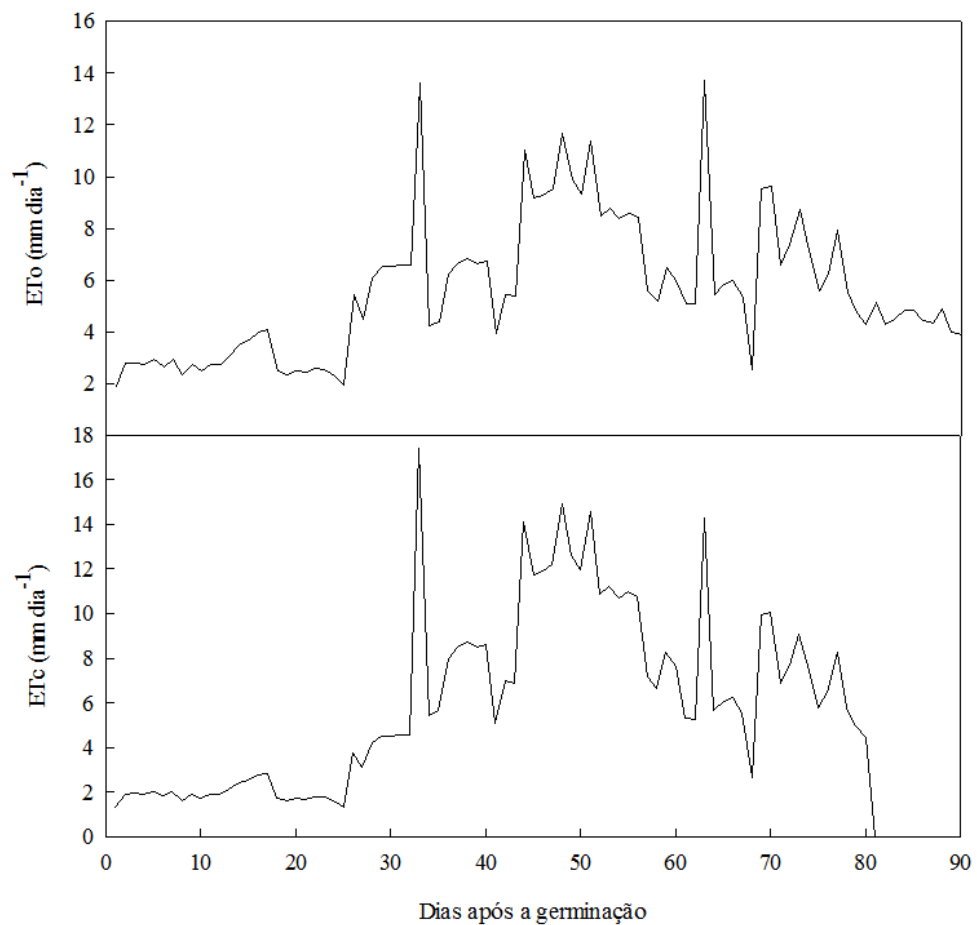
$ET_c$  - evapotranspiração da cultura (mm);

$ET_o$  - evapotranspiração de referência (mm);

$K_c$  - coeficiente de cultura.

A Figura 3 apresenta os valores de evapotranspiração referência e da evapotranspiração da cultura durante o decorrer do ciclo do feijoeiro, nas condições onde o experimento foi realizado.

Figura 3 - Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), durante o ciclo da cultura do feijoeiro.



A  $ET_o$  apresentou média de  $5,57 \text{ mm dia}^{-1}$ , com dois picos de  $13,59$  e  $13,72 \text{ mm dia}^{-1}$  correspondentes aos 37 e 67 dias após a semeadura, respectivamente.

Para a ETc, nota-se que o maior pico ocorreu aos 67 dias após a semeadura e a média durante todo período foi de 5,41 mm dia<sup>-1</sup>. Este período corresponde a fase de início do enchimento dos grãos (maturação fisiológica).

### 3.10 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS

A caracterização da resposta da cultura à irrigação é conhecida como função de produção, a qual varia com a quantidade de água aplicada.

Os dados de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) em relação às diferentes lâminas foram submetidos a uma análise de regressão do tipo polinomial de segundo grau:

$$Y = a + bw + cw^2 \quad (8)$$

Onde:

Y - produtividade (kg ha<sup>-1</sup>);

w - lâmina de irrigação (mm);

a, b e c - coeficientes de ajuste da equação de regressão para a produção de grãos.

Neste estudo, levou-se em consideração apenas os custos com o fator água, de modo que os demais fatores envolvidos na produção da cultura do feijão como insumos, fertilizantes, máquinas, etc, permaneçam fixos, em nível ótimo e iguais para todos os tratamentos que compõe este trabalho.

Para a obtenção da lâmina de irrigação que corresponde ao maior retorno ou eficiência econômica (MEE), o modelo a ser minimizado é o da receita líquida ou lucro líquido, representado pela equação 9:

$$L = (a + bw + cw^2) \cdot Py - w \cdot Pw \quad (9)$$

Onde:

L - receita líquida ou lucro líquido;

Py= preço de venda do produto (R\$ kg<sup>-1</sup>);

Pw = custo de aplicação da lâmina de irrigação (R\$ mm ha<sup>-1</sup>).

A derivada primeira da equação 9 em relação à lâmina de água aplicada quando igual a zero permite obter a lâmina de irrigação que corresponde ao lucro máximo, ou lâmina que correspondente a máxima eficiência econômica (MEE):

$$dL/dw = (b + 2cw) \cdot Py - Pw = 0 \quad (10)$$

Resolvendo a equação 10 em relação a W tem-se:

$$W = \frac{Px / Py - b}{2c} \quad (11)$$

Onde:

W - lâmina ótima econômica.

Os preços da lâmina de água aplicada ( $P_x$ ) utilizados foram obtidos na bibliografia em Reais (R\$), foram convertidos para Dólares (\$), com base na cotação da moeda americana, que de acordo com o Banco Central do Brasil, era de R\$ 3,18 por U\$ 1,00. (18/10/2016).

O preço do produto ( $P_y$ ) foi obtido através da média estadual do valor da comercialização por saca de 60 kg, para o mês de setembro/2016, ficando este em torno de R\$ 217,50 (U\$ 68,40), obtendo-se o valor do quilo do produto que foi de U\$ 1,14  $\text{kg}^{-1}$ , pago ao produtor para o mesmo mês de outubro de 2016.

Deste modo, levaram-se em consideração valores médios do custo da água, dentro de uma faixa de 0,30 a 1,50 \$  $\text{mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ .

Neste contexto, o preço do fator água foi variado a cada \$ 0,30 e o preço do produto mantido fixo, obtendo-se onze relações ( $P^w/P_y$ ), que foram utilizadas na equação 11.

### 3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a interpretação dos resultados foi realizada análise de variância usando-se o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância utilizando o pacote estatístico Sisvar 5.6, e quando houve diferença significativa entre os tratamentos, foi realizada análise de regressão e construídos os gráficos com auxílio do software Sigma Plot 13.0.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o experimento. Primeiramente são apresentados os dados da aplicação da irrigação, seguido dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta e os componentes de produção. A análise de variância dos parâmetros apresentados encontra-se nos apêndices, indicados pelo texto.

### 4.1 IRRIGAÇÃO

Na Tabela 4 são apresentadas as lâminas de irrigação aplicadas em cada tratamento, durante o ciclo dos mesmos.

Em razão de o experimento ter sido conduzido em casa de vegetação, a irrigação foi total, e realizada no intervalo de quatro dias. Deste modo, e sem a interferência da precipitação pluvial, ficou evidente a influência da irrigação na maioria dos parâmetros avaliados na cultura do feijão, como serão observados e discutidos nos próximos itens.

Tabela 4 - Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas) para os diferentes tratamentos.

<b>Lâmina de irrigação % de reposição da ETc</b>	<b>Lâmina média aplicada por irrigação (mm)</b>	<b>Lâmina de irrigação total (mm)</b>
<b>25</b>	8,50	123,18
<b>50</b>	17,00	246,36
<b>75</b>	25,50	369,54
<b>100</b>	34,00	492,72
<b>125</b>	42,50	615,90

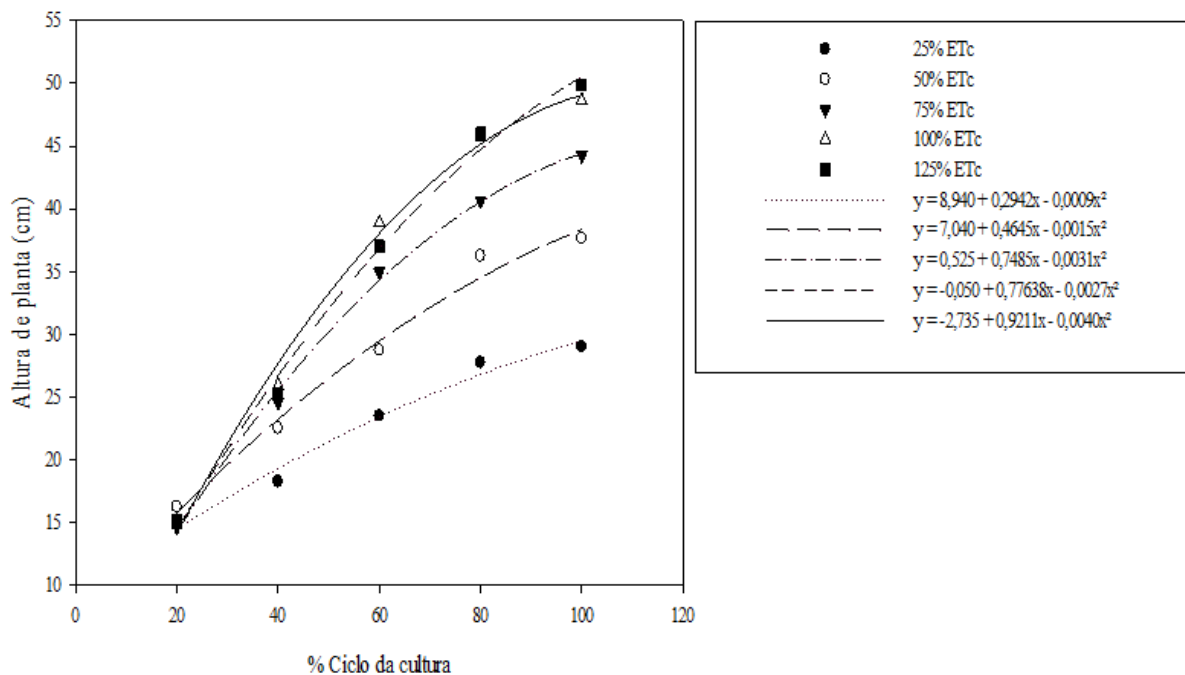
### 4.2 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

#### 4.2.1 Altura de Planta

A altura de planta apresentou significância estatística a partir de 40% do período do ciclo para todos os tratamentos, mantendo-se deste modo até o fim dos mesmos.

A média máxima observada foi de 41,87 cm aos 100% do ciclo (94 dias após a semeadura). Na Figura 4, observa-se a evolução temporal para a altura de plantas em função das lâminas de irrigação. A ANOVA para a altura de plantas está apresentada no Apêndice A.

Figura 4 - Influência da água aplicada sobre a altura de plantas de feijão.



É possível observar que a irrigação apresentou influência direta neste parâmetro, apresentando ordem quadrática crescente de 41,85% do tratamento menos irrigado (25% da ETc) para o mais irrigado (125% da ETc), conforme o aumento da disponibilidade hídrica nos diferentes tratamentos.

A média encontrada neste estudo, corrobora com os dados obtidos por Abrantes et al. (2011), que em estudo com uso de reguladores de crescimento na cultura do feijão, obteve valores de 48,54 cm para a variedade IAC Apuã, em Selvíria – MS.

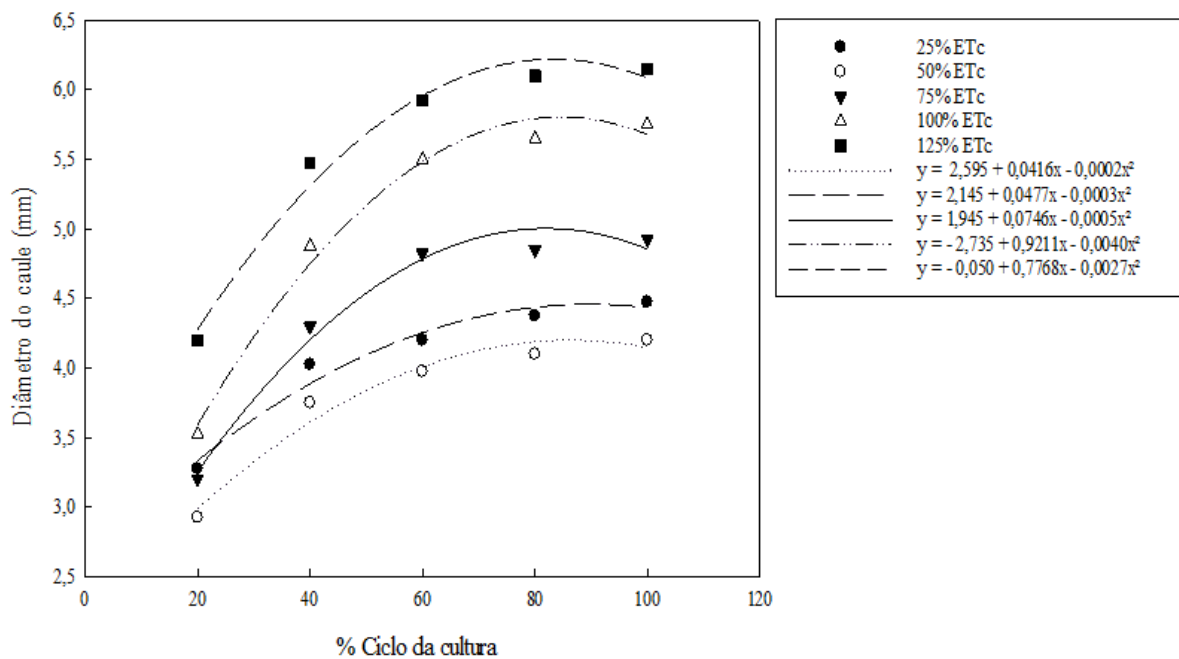
Porém os valores obtidos não se correlacionam com os informados pela Embrapa, que informa que a cultivar BRS Valente, utilizada neste estudo, apresenta altura de 60 a 80 cm. Esta diferença pode ser associada em razão do estudo ter sido realizado em casa de vegetação, o que ocasiona em uma redução da radiação solar sobre as plantas, e conseqüentemente interfere na fisiologia da mesma (ARAÚJO, 2015).

#### 4.2.2 Diâmetro do caule

A influência das lâminas de irrigação apresentou significância estatística na variável diâmetro do caule para todos os tratamentos. A ANOVA para as diferentes percentagens do ciclo podem ser observadas no Apêndice B.

Na Figura 5 é possível observar que o diâmetro do caule obteve comportamento em ordem quadrática crescente no decorrer dos ciclos dos tratamentos, apresentando aumento de circunferência conforme o acréscimo de água disponibilizada. O maior valor encontrado foi de 6,15 mm no tratamento com maior reposição de água (125% ETc). Já o menor valor foi de 4,20 mm no segundo tratamento de menor reposição de água (50% ETc) aos 100% do ciclo.

Figura 5 - Influência da água aplicada sobre o diâmetro do caule de plantas de feijão.



Estes dados estão de acordo com os observados por Salgado et al. (2012), que em estudos comparando diferentes cultivares de feijão submetidos a diferentes níveis de aplicação de nitrogênio, obtiveram valores de 5,1 e 6,8 mm. Porém se difere dos valores obtidos por Alves et al. (2009), que observaram valores de 9,83 e 11,56 para a cultura do feijoeiro em comparação de diferentes parâmetros de níveis de biofertilizantes. Alencar et al. (2013), trabalhando com feijoeiro irrigado e diferentes níveis de salinização, observou que o diâmetro

do caule decresce linearmente conforme a adição de água, e obteve média de 9,24 mm, considerada relativamente alta se comparado com os demais autores.

De acordo com Vale et al. (2012), o caráter diâmetro de caule é de grande importância para a arquitetura da planta, visto que caules espessos e rígidos podem evitar o acamamento, e em estudo com diferentes genótipos de feijão submetidos a duas condições hídricas, obteve valor médio de 4,4 mm para a variedade IPR Chopim.

#### 4.2.3 Índice de área foliar

A evolução do índice de área foliar (IAF) para os diferentes tratamentos de irrigação apresenta-se na Tabela 5. A diferença estatística significativa, mostrando a influência das lâminas de irrigação, não foi observada no início e ao final dos ciclos dos tratamentos. As tabelas contendo a ANOVA para cada percentagem de ciclo encontram-se no Apêndice C.

Tabela 5 - Influência da água aplicada sobre o índice de área foliar do feijão.

ETc (%)	Ciclo da cultura (%)				
	20	40*	60*	80*	100
25	0,885	1,389	2,338	2,960	0,784
50	0,796	1,677	4,442	3,472	1,575
75	0,589	1,813	3,932	2,408	1,566
100	0,667	3,433	6,623	4,940	1,632
125	0,741	3,769	7,545	4,817	1,646
<b>Média</b>	0,735	2,416	4,975	3,719	1,440
<b>CV (%)</b>	18,83	43,11	26,47	34,03	43,9

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Observa-se que para a maioria dos tratamentos, o IAF foi crescente até 60% do ciclo, com exceção do tratamento com 25% de reposição da ETc, que apresentou crescimento até 80% do ciclo. Ao final do ciclo dos tratamentos (100%), quando as plantas encontravam-se em estágio de maturação fisiológica, os valores decresceram, apresentando comportamento normal, tratando-se de uma cultura anual como o feijão. Salienta-se que 60% do ciclo, representam aproximadamente o estágio R8, onde começa a ocorrer o enchimento dos

primeiros grãos. O coeficiente de variação para as diferentes percentagens do ciclo apresentou dispersão média para 20 e 60% do ciclo, e dispersão alta para 40, 80 e 100% do ciclo, demonstrando que houve uma heterogeneidade entre os dados.

O maior IAF foi observado no tratamento com maior disponibilidade hídrica (125% da ETc), apresentando  $7,545 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , para os demais tratamentos, o comportamento manteve decrescente conforme a diminuição da aplicação de água.

Estes dados podem ser comparados com os valores observados por Monteiro et al. (2012), que estudando os efeitos da irrigação e da adubação nitrogenada sobre as variáveis agrônomicas da cultura do feijão obteve valor máximo de IAF de  $8,30 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  aos 59 DAS e o menor IAF foi de  $1,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Parizi (2010), também descreve que a cultura do feijoeiro apresenta um crescimento foliar acentuado até 70/78 DAE, que compreende o estágio reprodutivo da cultura, para tratamentos irrigados de 0 a 100% de reposição da ETc, obteve valores de  $7,19 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , para o tratamento mais irrigado, para a Região de Santiago - RS.

De acordo com Correia e Nogueira (2004), a redução da área foliar, principalmente nos tratamentos sob déficit hídrico, pode ser explicado como uma estratégia de sobrevivência utilizada pela planta, que tem como intuito diminuir a área disponível à transpiração.

Esta redução é constituída por um mecanismo morfológico de defesa, onde a redução da interface entre a planta e a atmosfera reduz a transpiração, que é considerado positivo, porém também reduz em mesma escala a assimilação fotossintética, que é negativo em termos de produção da cultura (OLIVEIRA et al., 2014).

### 4.3 COMPONENTES DE PRODUÇÃO

#### 4.3.1 Número de vagens por planta

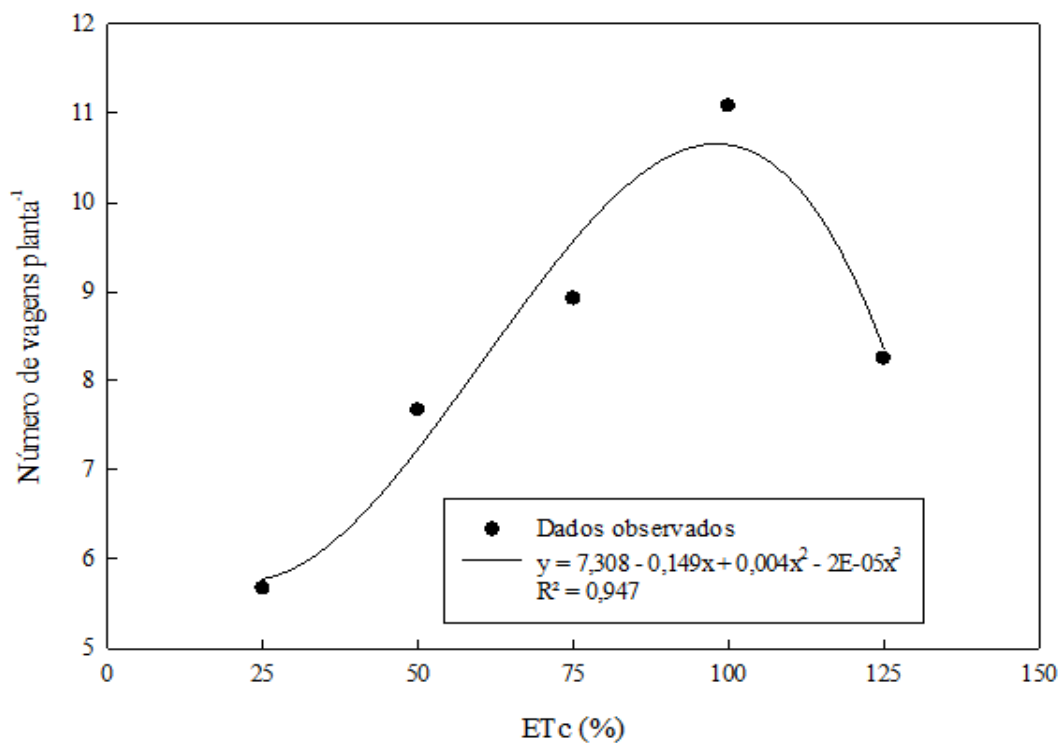
A resposta da influência da irrigação aplicada na cultura do feijão para o número de vagens planta<sup>-1</sup> está exposta na Figura 6. A ANOVA encontra-se no Apêndice D.

O comportamento desta variável apresentou diferença estatística significativa e comportou-se de forma polinomial cúbica a adição de água, obtendo crescimento da menor lâmina (25% ETc) para a lâmina de 100% da ETc, e decrescendo para a maior lâmina (125% ETc). O maior valor de número de vagens planta<sup>-1</sup> foi observado no tratamento com 100% de reposição da ETc, apresentando média de 11,08.

Observa-se que o excesso de água (125% ETc), resultou na diminuição de 25,5% no valor deste parâmetro, para a lâmina de 100% de reposição da ETc, que produziu mais

legumes neste estudo. Este resultado está de acordo com o obtido por Monteiro et al. (2012), que observou o mesmo comportamento deste parâmetro para a cultura do feijão irrigado, apresentando crescimento de 8,73 para 17,05 com lâminas de 179,5 e 357,5 mm, respectivamente, e decréscimo para 12,63 para o incremento de água com lâmina de 406,2 mm.

Figura 6 - Influência da água aplicada sobre o número de vagens planta<sup>-1</sup> do feijão.



Em contrapartida, Lacerda et al. (2014), estudando o rendimento do feijoeiro e considerando diferentes profundidades de adubação e lâminas de irrigação, observou valor máximo de 11,71 para o número de vagens planta<sup>-1</sup> com lâmina de 125% da ETc, e salienta que este parâmetro foi diretamente influenciado pela quantidade de água aplicada na cultura do feijão, verificando que maiores reposições de lâminas de evapotranspiração proporcionaram aumento relativo no número de vagem planta<sup>-1</sup>.

Torres et al. (2013), observaram que o número de vagens planta<sup>-1</sup> obteve maior valor na reposição da lâmina de 100% da ETc, apresentando 10,37 vagens planta<sup>-1</sup> em trabalho com diferentes reposições de lâminas e diferentes coberturas de solo. Também destacam que o acréscimo de lâmina (130 e 160% ETc), resulta no declínio deste parâmetro, ficando de acordo com o obtido neste estudo.

Acosta-Gallegos e Shibata (1989) destacam que esse componente do rendimento para a cultura do feijão, é determinado no estágio inicial do florescimento da cultura, ficando assim, sensível ao déficit hídrico. Os mesmos autores ainda salientam, que o número de vagens planta<sup>-1</sup>, é intimamente influenciado pela população de plantas, de maneira que, reduzindo-se a população de plantas, ocorre aumento desse componente.

Este aspecto corrobora com o descrito por Guimarães et al. (2011), que salienta que a deficiência hídrica tem maior relevância sobre a abscisão de flores, resultando conseqüentemente na diminuição do número de vagens.

#### **4.3.2 Número de grãos por vagem**

O número de grãos vagem<sup>-1</sup> não apresentou diferença estatística significativa influenciado pelas diferentes lâminas de irrigação. Este fato se deve ainda a explicação de Guimarães et al. (2011), que considera a deficiência hídrica mais relevante no parâmetro de vagens planta<sup>-1</sup>, do que sobre a esterilidade do grão de pólen, a qual determinará a redução no número de grãos vagem<sup>-1</sup>. O valor deste componente de produção obteve média de 3,54 para os tratamentos de irrigação, estando de acordo com o encontrado por Monteiro et al. (2012), que observaram valores de 3,49 a 4,61, em diferentes níveis de reposição de água, e por Ferreira et al. (2014), que estudando diferentes genótipos de feijão do tipo preto comum, obtiveram valor de 3,1 para a mesma cultivar deste estudo (BRS Valente). A ANOVA para o número de grãos vagem<sup>-1</sup> encontra-se no Apêndice D.

#### **4.3.3 Peso médio do grão**

As diferentes disponibilidades hídricas não apresentaram influência sobre o peso médio do grão de feijão, não apresentando diferença estatística significativa entre os tratamentos.

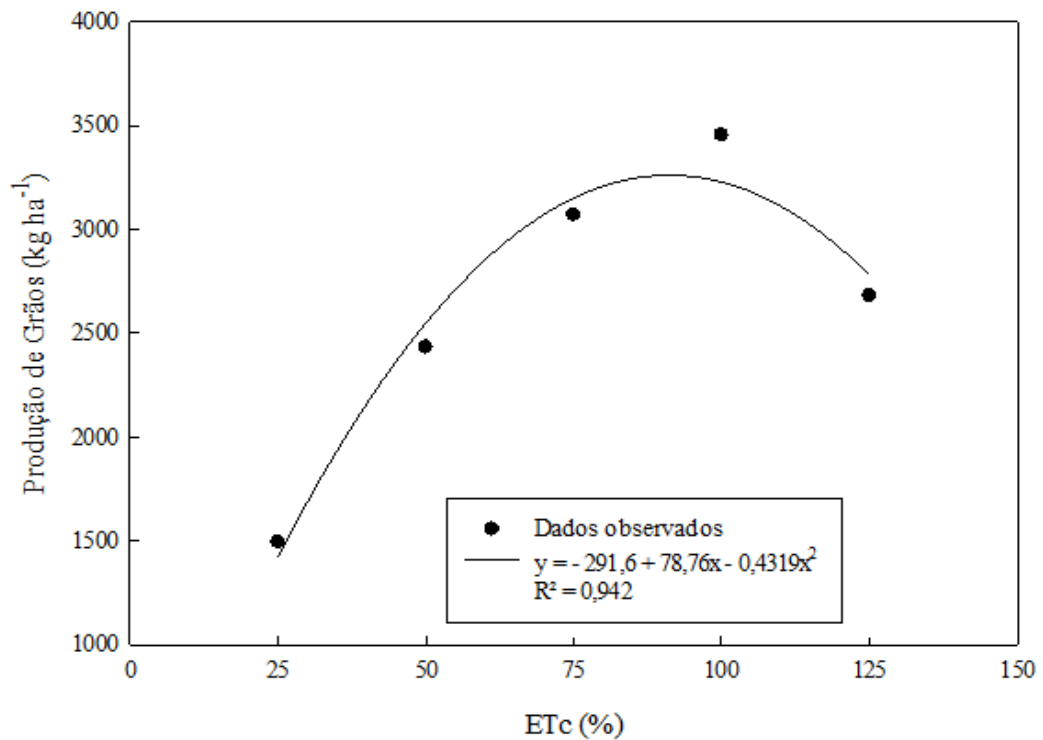
A média obtida foi de 0,22 g, coincidindo com o determinado pelas informações da cultivar. A análise estatística para este parâmetro de produção encontra-se no Apêndice D.

#### **4.3.4 Produtividade de grãos**

A influência das lâminas de irrigação na cultura do feijão para os tratamentos em estudo pode ser observada na Figura 7. A ANOVA pode ser vista no Apêndice D.

Observa-se que a produtividade aumentou conforme o incremento da lâmina de irrigação, atingindo nível máximo de produtividade na lâmina correspondente a 100% de reposição da ETc, havendo um declínio para a lâmina de 125% da ETc, deste modo, ajustou-se em uma função polinomial quadrática. A maior produtividade de grãos da cultura do feijão para a lâmina de 100% da ETc foi estimada em 3554,1 kg ha<sup>-1</sup>, com a utilização de 492,72 mm de água durante todo o ciclo da cultura, e a menor produtividade (1493,5 kg ha<sup>-1</sup>) foi observada na menor lâmina aplicada, correspondente a 25% da ETc (123,18 mm). Os demais tratamentos obtiveram valores de produção estimados em 2433,4, 3070,0, e 2680,9 kg ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos com 50, 75 e 125% da ETc, respectivamente.

Figura 7 - Influência da água aplicada sobre a produção de grãos do feijão.



O comportamento da produção de grãos de feijão observado neste estudo corroboram com os obtidos por Torres et al. (2013), que trabalhando com lâminas de 40, 70, 100, 130 e 160% da ETc em Uberaba - MG, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, obteve aumento da produção até a lâmina de 100% e reduzindo conforme a lâmina era aumentada (130 e 160%). Os mesmos autores ainda explicam que as lâminas excedentes a 100% da ETc provavelmente provocaram deficiência de oxigênio no solo em determinados períodos, provocando a redução da atividade microbiana e causando a redução da



produtividade. Em relação ao déficit causado pelas lâminas de 25 e 50% neste estudo, podem ser explicadas pelo fato de que a falta de água ocasionou a redução do crescimento das plantas e o número de vagens planta<sup>-1</sup>, inferindo em menores produções finais.

O valor de maior produção obtido neste estudo está de acordo com o encontrado por Carvalho et al. (2014), que testando diferentes manejos de irrigação, em sistema de plantio direto, para a cultivar IAC Alvorada na região de Botucatu, SP, obteve valores de 3638 kg ha<sup>-1</sup>, quando a cultura foi irrigada pelo método de estimativa indireto de Penman-Montheit, e aplicando lâmina de 100% de reposição da ETc.

Porém, estes dados divergem com os observados por Lacerda et al. (2014) que com o objetivo de avaliar a cultura do feijão em função da profundidade de deposição do adubo e das lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da ETc) em sistema de semeadura direta, obteve produtividade máxima de 3045,00 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com maior reposição de água (125% da ETc). Este fato pode ser explicado em virtude de que o estudo do referido autor apresentou um gasto de 405,16 mm de água para composição desta lâmina, e neste estudo observou-se o uso de 492,72 mm para a lâmina de 100% da ETc.

É possível ainda, observar que a produção de grãos apresentou o mesmo comportamento para a variável número de vagens planta<sup>-1</sup>, conforme o incremento da lâmina de água, o que indica, mais uma vez, a direta relação desta variável com a produtividade final da cultura do feijão.

#### **4.3.5 Produção de matéria seca**

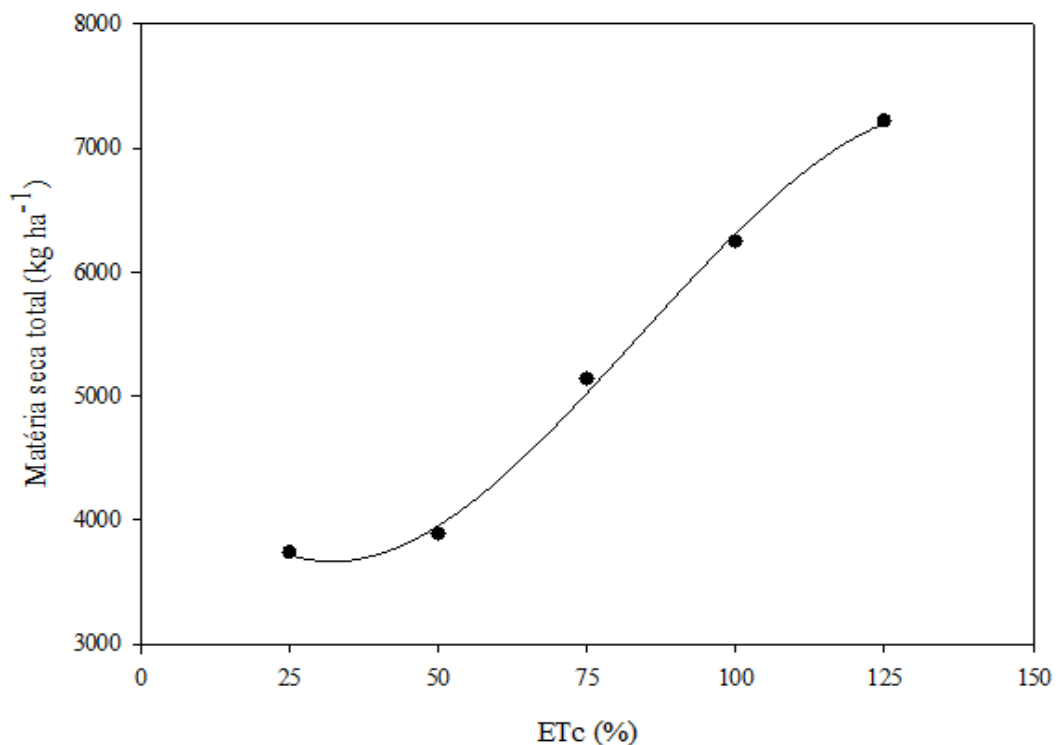
Na Figura 8 observa-se a influência das lâminas de irrigação na produção de matéria seca para a cultura do feijão. A ANOVA para este parâmetro pode ser observado no Apêndice D.

O comportamento da produção de matéria seca foi crescente conforme o incremento da lâmina de irrigação, deste modo obteve-se valor máximo de 7216,70 kg ha<sup>-1</sup> para a lâmina de maior reposição da ETc (125%), e a menor produção foi observada na menor lâmina de reposição da ETc (25%) apresentando valor de 3735,3 kg ha<sup>-1</sup>. A diferença deste parâmetro de produção da cultura entre as lâminas de irrigação, apresentou um nível de proporcionalidade, especialmente nas três maiores lâminas, apresentando diferenças de produção de 1250,20, 1107,80 e 974,40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os tratamentos com menores lâminas (25 e 50% da ETc), apresentarem diferença de 149,00 kg ha<sup>-1</sup>.

Pode-se observar também que o comportamento polinomial quadrático da produção de matéria seca se comparou ao comportamento das variáveis de crescimento da cultura como altura de planta e diâmetro do caule e ao índice de área foliar, inferindo-se que estas variáveis estão diretamente ligadas ao resultado final de produção de MS.

Tanaka (1964) explica que a produção de matéria seca aumenta proporcionalmente com o aumento do índice de área foliar, até atingir determinado valor, e salienta ainda, que o aumento de IAF devido a maior produção de matéria seca resulta a uma maior produção de grãos. Porém, para este estudo, essa afirmação não corresponde, uma vez que a maior produção de matéria seca coincide com a terceira maior produção de grãos. Este fato se explica de modo que segundo Dias et al. (2004) relata que o excesso de irrigação reduz a produtividade e a qualidade da produção, pelo fato de provocar a abscisão de flores, ocasionando a redução de legumes, entre outros fatores.

Figura 8 - Influência da água aplicada sobre a matéria seca do feijão.

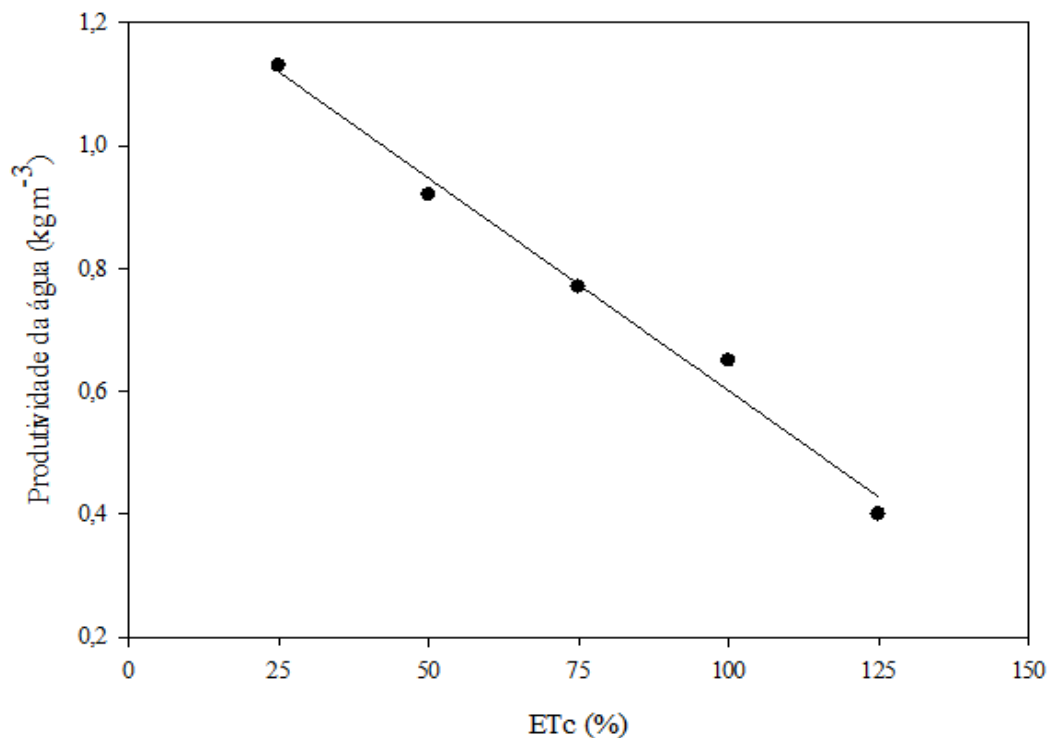


#### 4.3.6 Produtividade da água

A produtividade da água com relação à produção de grãos obtida neste estudo apresenta-se na Figura 9. A ANOVA pode ser observada no Apêndice E.

De acordo com a figura 9, é possível observar que a produtividade da água apresentou comportamento linear decrescente conforme o incremento das lâminas de irrigação, ou seja, o maior valor de  $1,13 \text{ kg m}^{-3}$  foi obtido pelo tratamento com menor reposição da lâmina (25% da ETc), coincidindo ainda com a menor produção de grãos observada neste estudo.

Figura 9 - Influência da água aplicada sobre a produtividade da água para a cultura do feijão.



Isto indica que as lâminas de irrigação acima desse nível, visando a máxima produção de grãos, só deverão ser economicamente recomendadas quando a água não for um fator limitante ou então, apresentar baixo custo na produção agrícola.

Os dados divergem com os indicados por Doorenbos e Kassam (1979), que estabeleceram, para a cultura do feijoeiro, o valor da produtividade da água na ordem de  $0,3$  a  $0,6 \text{ kg m}^{-3}$  quando utilizado de  $300$  a  $500 \text{ mm}$  de água.

Porém, em trabalhos com diferentes manejos na irrigação do feijão (tensiometria, Tanque classe “A” e Penman-Monteith), Cunha et al. (2013), obtiverem média de PW de  $0,88 \text{ kg m}^{-3}$ , e explicam esse aumento principalmente ao fato do tipo de manejo de irrigação utilizado, de forma que alguns manejos propiciam suprimento de água bastante diferenciado.

Santana (2007) relata que o conceito produtividade da água é relativo, ou seja, maiores valores de PW não significam maior produtividade de grãos. O mesmo autor observou em seu

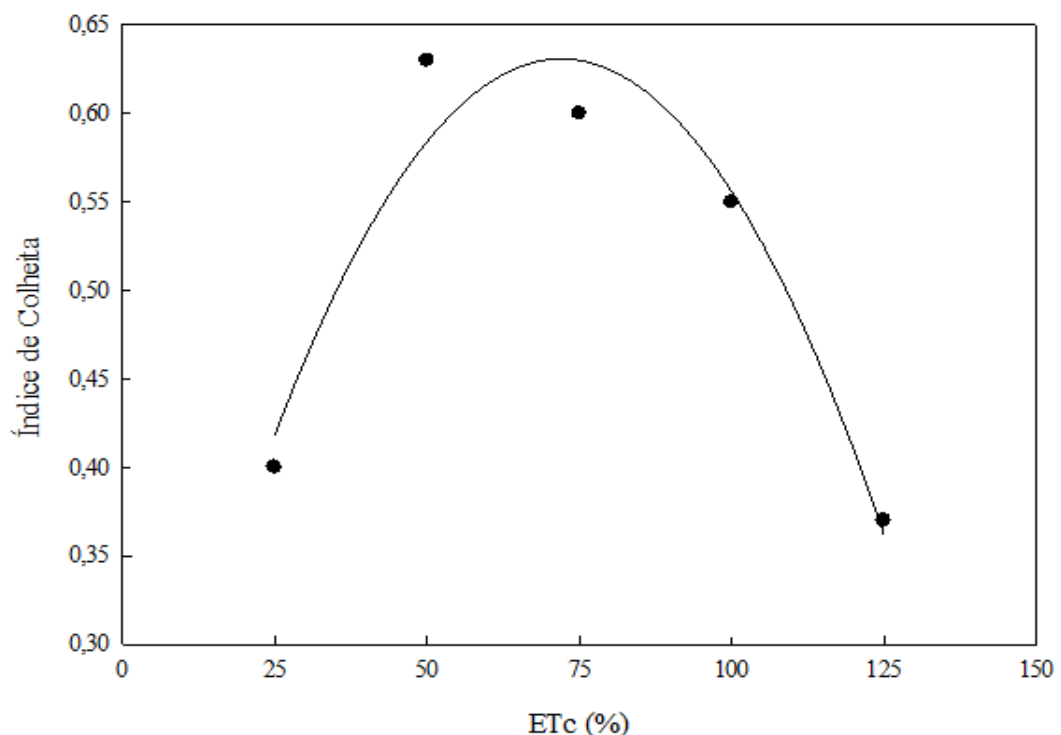
estudo de irrigação e supressão de água, que obteve o maior valor de PW em torno de  $1,0 \text{ kg m}^{-3}$  quando aplicou a menor lâmina de reposição da ETc (40%), onde obteve a menor produção de grãos de feijão.

#### 4.3.7 Índice de Colheita

O índice de colheita (IC) foi alterado estatisticamente pela influência da aplicação de diferentes lâminas de irrigação na cultura do feijão, e apresentou comportamento polinomial quadrático conforme o incremento de água, como é visto na Figura 10. A ANOVA pode ser observado no Apêndice F.

O índice de colheita variou de 0,37 a 0,63, apresentando média de 0,51, ou seja, 51% da matéria seca é devida aos grãos. O maior valor observado foi no tratamento com reposição de 50% da ETc.

Figura 10 - Influência da água aplicada sobre o índice de colheita da cultura do feijão.



Kawano (1990), explica que quanto maior o índice de colheita, maior é o direcionamento e aproveitamento de fotoassimilados para o rendimento de grãos, e que baixos índices podem indicar uma má adaptação da cultura ao ambiente. Duarte et al. (2013), ressalta

que o IC de uma cultura é altamente influenciado pela densidade de semeadura, disponibilidade de água, nutrientes e temperatura, sendo entre estes, o primeiro citado, o que mais influencia.

Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com Parizi (2010), onde em estudo testando diferentes lâminas de irrigação na cultura do feijão para a região de Santiago – RS, com a cultivar FT Nobre, obteve média de 0,52 no IC.

Já Araújo e Teixeira (2012), obtiveram média de 0,62, estudando diferentes genótipos de feijão com relação a produção de grãos. Segundo Pinto Júnior (2016), os maiores valores de IC são esperados em cultivares mais modernas, o que conduz ao entendimento das diferenças deste parâmetro entre os trabalhos encontrados na bibliografia.

#### **4.3.8 Análise econômica da produção de grãos**

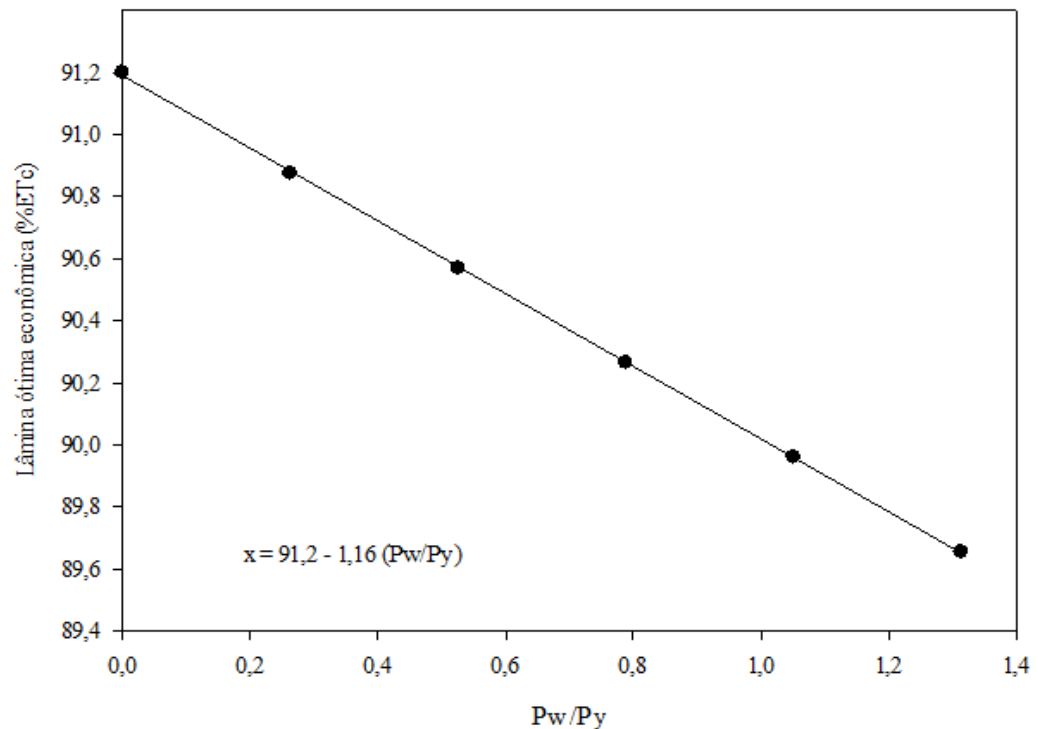
A lâmina ótima de irrigação para a obtenção da máxima eficiência econômica, que foi calculada igualando-se a primeira derivada da receita líquida em relação à  $ET_c$  (%) à relação de preço do fator variável água ( $P_w$ ) e do preço do produto ( $P_y$ ), pode ser observada na Figura 11.

De acordo com a equação expressa na Figura 11, é possível observar que quando a relação  $P_w/P_y$  é zero, a lâmina ótima econômica que proporciona a máxima eficiência técnica é de 91,2% da  $ET_c$ , sendo desta maneira, a utilização de lâminas superiores a esta, consideradas inadequadas. Deste modo, na medida em que se eleva a relação  $P_w/P_y$  são obtidas diferentes lâminas economicamente ótimas que proporcionam a máxima eficiência econômica para cada uma dessas relações.

Locatelli et al, (2014) estudando a eficiência da irrigação sobre diferentes cultivares de feijão caupi no cerrado, com aplicação de lâminas de 30, 60, 90, 120 e 150% da  $ET_o$ , concluíram que as lâminas ótimas econômicas que proporcionaram a máxima eficiência técnica para as cultivares BRS Guariba e BRS Novaera foram de 74,3 e 94,02%, respectivamente, destacando também, que lâminas acima desses valores não são adequadas visando a máxima eficiência técnica.

Verifica-se ainda na Figura 11, que para cada relação  $P_w/P_y$  definidas neste estudo, infere-se de uma lâmina ótima econômica. Deste modo, nota-se também que a medida em que se aumenta essa relação (preço do fator água crescente) a lâmina ótima econômica ( $ET_c$ ), que proporciona a máxima eficiência econômica, decresce.

Figura 11 - Lâmina ótima econômica, em função da relação preço da água ( $P_w$ ) e o preço do quilo do feijão ( $P_y$ ), para a produtividade comercial.



Diante do exposto, variando apenas o preço do fator água e mantendo-se o preço do produto, a lâmina ótima econômica (%ETc) de irrigação a se aplicar deve ser menor, para que o produtor obtenha o lucro máximo na atividade agrícola.

Deve-se ainda salientar, que os dados obtidos e discutidos anteriormente, são resultantes da utilização do método de Benevides-Lopes, para determinação da ETo, e conseqüentemente para determinação da ETc, o que implica em possíveis diferenças quando se aplicam lâminas baseadas em outros métodos, para realização do manejo da irrigação.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia utilizada para a realização deste estudo, e nas condições em que o experimento foi conduzido pode-se concluir que:

Os parâmetros de crescimento de altura de planta e diâmetro do caule comportaram-se de forma crescente conforme o incremento de água, demonstrando crescimento de 41,85 e 46,4%, respectivamente, do tratamento menos irrigado para o mais irrigado.

O índice de área foliar apresentou diferença estatística dos 40 aos 80% do período do ciclo. O pico de crescimento foi observado até 60% do ciclo onde foi observado o maior valor de  $7,545 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , no tratamento com reposição de 125% da ETc. No início e ao final do ciclo da cultura, essa variável não apresentou diferença estatística significativa.

As variáveis de número de grãos vagem<sup>-1</sup> e peso médio do grão não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos de irrigação, e obtiveram médias de 3,54 e 0,22 g, respectivamente.

A maior produção de grãos foi obtida no tratamento com lâmina de irrigação de com 100% de reposição da ETc, onde observou-se produção de  $3554,1 \text{ kg ha}^{-1}$ , a menor produção foi observada no tratamento com lâmina de 25% de reposição da ETc, e apresentou valor de  $1493,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . Também, observa-se que a maior lâmina testada (125%) reduziu a produção de grãos de feijão.

A irrigação com 100% de reposição da ETc maximiza a produção de grãos da cultura do feijão para a região de Alegrete, RS, uma vez que influencia diretamente no aumento dos componentes de produção da cultura, não sendo recomendadas lâminas de irrigação excedentes a isso, uma vez que, além do custo da produção se tornar maior devido o custo com a água, a produção é proporcionalmente reduzida em razão do excesso hídrico.

A lâmina ótima econômica que proporciona a máxima eficiência técnica encontrada para este estudo foi de 91,2% da ETc. Na medida em que se eleva a relação  $P_w/P_y$  são obtidas diferentes lâminas economicamente ótimas que proporcionam a máxima eficiência econômica para cada uma dessas relações.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, F. A. et al. **Uso do regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 21, p. 148-154, 2011.
- ABUBAKER, S. **Effect of plant density on flowering date, yield and quality attribute of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under center pivot irrigation system.** American Journal of Agricultural and Biological Sciences, ed.3, p.666-668, 2008.
- ACOSTA-GALLEGOS, J.A; SHIBATA, J. K. **Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars.** Field Crop Research, Amsterdam, v. 20, p. 81-93, 1989.
- AGUIAR, R.S. et al. **Evaluation of hydric deficit -tolerant promising bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina v.29, p.1-14, 2008.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
- ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v.98, n.6, p.921-929, 2011.
- ALENCAR, A. E. et al. **Parâmetros de crescimento de genótipos de caupi submetido a diferentes níveis de salinidade.** III Congresso Nacional de Feijão-Caupi. Recife – PE, 22 a 24 de abril de 2013.
- ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida ‘Tahiti’ a diferentes níveis de irrigação.** 2006. 202p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.
- ALVES, S. V. et al. **Desempenho produtivo do feijoeiro em função da aplicação de biofertilizante.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil), v.4, n.2, p. 113-117, abr./jun. 2009.
- ARAÚJO, A. P; TEIXEIRA, M. G. **Variabilidade dos índices de colheita de nutrientes em genótipos de feijoeiro e sua relação com a produção de grãos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.36, n.1, jan./fev. 2012.
- ARAÚJO, L. C. **Valor de cultivo e uso (VCU) de linhagens Fp-10 de feijão-de-vagem em Bom Jesus do Itabapoana e Cambuci – RJ.** 2015. 80f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 2015.
- BASTOS, E.A. et al. **Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos.** Engenharia Agrícola, v.22, n.1, p.43-50, 2002.
- BENLI, B. Et al. **Performance of Penman-Monteith FAO56 in a semiarid highland environment.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.136, n.11, p.757-765, 2010.



BEZERRA, J. M. et al. **Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil)**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2014.

BRITO, J. E. D. et al. **Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. V.10, nº 2, 2016.

BURMAN, R. D et al. **Water Requeriments**. In: Jensen, M.E. ed. Design and operation offarm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, Cap.6, p. 189-232, 1983.

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

CARRIJO, O. A; OLIVEIRA, C. A. S. **Irrigação de hortaliças em solos cultivados sob proteção de plástico**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 20 p. (Circular técnica, 10), 1997.

CARVALHO, L. G. et al. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. Pesquisa Agropecuária Tropical. v.41, no.3, Goiânia, jul./set.2011.

CARVALHO, J. J. et al. **Teor de acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico**. Irriga, Botucatu, Edição Especial 01, p. 104-117, 2014

CARVALHO, J. J. et al. **Grow thand production of common bean in direct seeding under irrigated deficit condition**. v. 11, p. 2841-2848, 2016.

COBUCCI, D; BIAVA, M. EMBRAPA,2005.**Cultivo do Feijão Comum**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijaoComumRO/clima.htm>>. Acesso em 05 de agosto de 2016.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO (CONAB). V. 3 - **SAFRA 2015/16- N. 12- Décimo Segundo levantamento** | Setembro2016. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_09\\_15\\_18\\_32\\_boletim\\_12\\_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf)> Acesso em 22 de setembro de 2016.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. **Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachishypogaea L.*) submetido a déficit hídrico**. Revista de Biologia e Ciência da Terra, v.4, n.2, 2004.

COSTA, S. V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-tanque evaporimétrico**. 2004. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CUNHA, P. C. R. et al. **Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v.17, n.7, p.735-742, 2013.

- DALCHIAVON, F. C. et al. **Produtividade da soja e resistência à penetração do solo sob sistema de plantio direto no cerrado brasileiro.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, jan./mar. 2011.
- DIAS, N. S. et al. **Água no meloeiro.** Revista Cultivar Hortalças e Frutas, Pelotas, v. 27, 2004.
- DIDONET, A. D. **Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro.** In: Peloso, M. J. Del; Melo, L. C. (ed.) Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Cap.1, p.9-37, 2005.
- DIDONET, A. D. **Importância do período de pré-floração na produtividade do feijoeiro.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 505-512, out./dez. 2010.
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. **Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage.** Paper 33, 1979, 193p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994, 306p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 1977. 194p. Riego y Drenaje, n.24.
- DUARTE, E. A. A.; MELO FILHO, P. D. A.; SANTOS, R. C. **Características agrônomicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 8, p. 843-847, 2013.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Socioeconomia: feijão. 2012.** Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 09 de setembro de 2016.
- EMBRAPA –. Embrapa Arroz e Feijão. **Cultivo do Feijoeiro Comum.** Sistemas de Produção. Versão Eletrônica. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/clima.htm>>. Acesso em: 20 de julho de 2016.
- EMBRAPA. **Rendimento do feijoeiro em semeadura direta considerando-se a profundidade de adubação e lâminas de irrigação, 2004.** Disponível em <[https://Downloads/BRS-Valente-nova-cultivar-de-feijoeiro-comum-do-grupo-comercial-preto-para-o-Distrito-Federal-e-noroeste-mineiro%20\(1\).pdf](https://Downloads/BRS-Valente-nova-cultivar-de-feijoeiro-comum-do-grupo-comercial-preto-para-o-Distrito-Federal-e-noroeste-mineiro%20(1).pdf)> Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.
- FANAYA JÚNIOR, E. D. et al. **Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS.** Irriga, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418 - 434, out./dez. 2012.
- FANCELLI, A. L. **Feijão irrigado.** Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura. p.7-24: Fenologia e exigências climáticas do feijoeiro, 1990.

- FANCELLI, A. L. **Feijão irrigado**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Departamento de Agricultura. p.5-22: Fenologia e exigências climáticas do feijoeiro, 1992.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba, Porto Alegre; Agropecuária, 2000, 360p.
- FANCELLI A. L. **Feijão: tópicos especiais de manejo**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV. 208p, 2009.
- FARAVIN, J. L. et al. **Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- FERREIRA, P. S. et al. **Comportamento de genótipos de feijoeiro comum, do grupo preto, no verão**. 11º Congresso Nacional de pesquisa de feijão. Anais... Londrina – PR, 2014.
- FIGUEIREDO, M. G. et al. **Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor função do nível de aversão ao risco do produtor**. Acta Sci. Agron.Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.
- FOOLADMAND, H. R. **Comparing reference evapotranspiration using actual and estimated sunshine hours in south of Iran**. African Journal of Agricultural Research, v.7, n.7, p.1164-1169, 2012.
- GALBIATTI, J. A. et al. **Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 167-177, 2011.
- GOMIDE, R.L. **Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998. Poços de Caldas, MG. Anais. Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. cap.2, p.133 - 238.
- GUIMARÃES, C. M. et al. **Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.15, n.7, p.649–656, 2011.
- HOFFMANN JÚNIOR, L. et al. **Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo**. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.6, p.1543-1548, nov./dez. 2007.
- ILHA, A. S; ALVES, F. D; SARAIVA, L. H. B. **Desigualdades regionais no Rio Grande do Sul: O caso da metade sul**. Disponível em:  
<[http://cdn.fee.tche.br/eeg/1/mesa\\_3\\_ilha\\_alves\\_saravia.pdf](http://cdn.fee.tche.br/eeg/1/mesa_3_ilha_alves_saravia.pdf)> Acesso em 10 de outubro de 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)**. 1961-1990.
- JONES, H. G. **Irrigation scheduling: advantages and pitfalls on plant-based methods**. Journal of Experimental Botany, London, GB, v.55, n.407, p.2427-2436, 2004.
- KAWANO, K. **Harvest index and evolution of major food crop cultivars in the tropics**. Euphytica, v. 46, n.3, p. 195-202,1990.

- KISI, O. **Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.140, n.1, p.1-7, 2014.
- KIRKHAM, R.R.; GEE, G.W.; JONES, T.L. **Weighing lysimeters for long-term water balance investigations at remote sites.** Soil Science Society of America Journal, v.48, p.1203-1205, 1984.
- LACERDA, E. G. et al. **Rendimento do feijoeiro em semeadura direta considerando-se a profundidade de adubação e lâminas de irrigação.** Engenharia na agricultura, viçosa - MG, v.22 n.3, p. 205-210, mai./jun. 2014.
- LI, Y. et al. **Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v.97, n.2, p.300-308, 2010.
- LIMA, A. J. et al. **Avaliação e análise da eficiência energética na irrigação em sistemas pivô central.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.4, p.499-505, jul./ago. 2009.
- LOOMIS, R. J; AMTHOR, J. S. **Yield potential, plant assimilatory capacity and metabolic efficiencies.** Crop Science, v.39, n.6, p.1584-1595.1999.
- LOPES, A. S. et al. **Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto.** Revista Ciência Agronômica, v.42, p.51-56, 2011.
- LUO, Y. et al. **Urban weather data to estimate reference evapotranspiration for rural irrigation management.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.138, n.9, p.837-842, 2012.
- MANTOVANI, E.C. et al. **Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.32, n.1, p.110-120, 2012
- MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 15p. (Boletim Técnico). 2008.
- MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; BUENO, A. C. **Relações entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*L.) com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, p.173-178, 1999.
- MATZENAUER, R. et al. **Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.** Revista Ciência Rural, v.34, p.1363-1369, 2004.
- MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE.** 2002. 103p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Perfil de feijão no Brasil**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>> Acesso em 13 de janeiro de 2016.

MINUZZI, R. B. et al. **Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina**. Irriga, Botucatu, v.19, n.3, p.548-558, 2014.

MONTEIRO, P. F. C. et al. **Assessing biophysical variable parameter of bean crop with hyper spectral measurements**. Scientia Agricola, v. 69, n.2, p. 87-94, 2012

MORAIS, N. B. et al. **Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio**. Revista Ciência Agronômica, v.39, p.369-377, 2008.

MUÑOZ-PEREA, C. G. et al. **Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars**. Crop Science, v.46, p.2111-2120, 2006.

NIAGHI, A. R. et al. **Evaluate several potential evapotranspiration methods for regional use in Tabriz, Iran**. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, v.3, n.6, p.31-41, 2013.

OLIVEIRA, G. M. et al. **Coefficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.17, no.9, 2013.

OLIVEIRA, A. E. S. et al. **Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido**. Holos, ano 30, v.01, 2014.

ORRILLO, M. et al. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta Hipólito**. Irriga, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 172-187, jan./mar, 2016.

PARIZI, A. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago, RS**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; GALBEIRO, R. B. **Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional**. Revista Engenharia Agrícola, v.28, p.12-21, 2008.

PAZ, V. P.S. et al. **Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, Campina Grande, set/dez. 2002.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal.** Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

PEREIRA, V. G. C. et al. **Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 32-42, 2014.

PEREIRA, L.S. et al. **El riego y sus tecnologías.** Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296p.

PINTO JÚNIOR, R. A. **Controle Genético do Índice de Colheita no Feijoeiro.** 2016. 49p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

PORTES, T.A.et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** Piracicaba: Potafos, p.101-137, 1996.

RAMIREZ-VALLEJO, P., KELLY, I. D. 1998.**Traits related to drought resistance in common bean.** *Euphytica* 99: 127-136.

RAMOS, H. M. M. et al. **Estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.4, p.576-583, 2012.

REIS, E. F.et al. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco.** *Idesia*, v.25, p.75-84, 2007.

RIGONI, E. R. et al. **Desempenho sazonal da evapotranspiração de referência em Aquidauana, MS.** *Engenharia na agricultura*, Viçosa - MG, v.21, n.6, p.547-562,nov/dez. 2013.

ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. **Evaluation of daily reference evapotranspiration methods as compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith equation using limited weather data in Northeast Louisiana.** *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.139, n.4, p.285-292, 2013.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por pivô central.** In: *Seminário de Quimigação, Barreiras*, 1997. Anais... São Paulo, p.25-34. 1997.

SALGADO, F. H. M.et al. **Efeito do nitrogênio em feijão cultivado em terras altas no sul do estado de Tocantins.** *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. v. 8, n. 1, jan./abr. 2012.

SANTANA; M. J de. **Resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação.** 2007. 102p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SANTANA, M.J.et al. **Coefficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação.** *Irriga*, Botucatu, v.13, n.1, p.92-112, 2008.

- SANTANA, M. J. et al. **Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*L.).** Ciências e Agrotecnologia, v.33, p.532-538, 2009.
- SANTANA, M. J. et al. **Resposta do tomateiro irrigado a níveis de reposição de água no solo.** Irriga, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 443-454, out./dez. 2010.
- SANTANA, M. J. et al. **Estimated production and evapotranspiration of irrigated bean cultivars.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.34, n.6, p. 1089-1103, nov./dez. 2014.
- SHIRI, J. et al. **Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran.** Computers and Electronics in Agriculture, New York, v.108, n.9, p.230-241, 2014.
- SILVA, J.C. **Épocas de menor risco de estresse hídrico e térmico para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul.** 2005, 42f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- SILVA, V.J. et al. **Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.
- SILVA, V. P. R. et al. **Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.19, n.5, p.411-417, 2015.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação do feijoeiro.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230 p.
- SILVEIRA, P. M. et al. **Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 2, p. 257-263, 2001.
- SOUZA, A. B.; ANDRADE, M. J. B.; MUNIZ, J. A. **Altura de planta e componentes do rendimento do feijoeiro em função de população de plantas, adubação e calagem.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.127, n.6, nov./dez.2003.
- SOUSA, M. A; LIMA, M. D. B. **Índice de área foliar e produtividade do feijoeiro sob estresse hídrico e profundidades de incorporação do adubo.** Gl. Sci. Technol., Rio Verde, v. 5, n. 2, p. 45-55, mai./ago. 2012.
- STONE, L. F; SILVEIRA, P. M. **Manejo de irrigação.** Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_86\\_1311200215104.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_86_1311200215104.html)> Acesso em 15 de dezembro de 2015.
- STICKLER, F.C., WEARDEN, S., PAULI, A. W. **Leaf area determination in grain sorghum.** Agronomy Journal, v.53, p.187-188, 1961.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. **Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions**. Irrigation Science, New York, v.31, n.2, p.107-117, 2013.

TANAKA, A. **Plant characters related to nitrogen response in rice. In: International Rice Research Institute (Los Baños, Filipinas). The mineral nutrition of the rice plant**. Baltimore, 1964.p.419-449.

TAVARES, V. E. Q. **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes**. Pelotas, RS, 2007. 182p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

TORRES, J. L. R. et al. **Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 29, n. 4, p.833-841, jul./ago. 2013.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. **Estimating reference evapotranspiration using limited weather data**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.135, n.4, p.443-449, 2009.

TRAJKOVIC, S.; STOJNIC, V.; GOCIC, M. **Minimum weather data requirements for estimating reference evapotranspiration**. Architecture and Civil Engineering, v.9, n.2, p.335-345, 2011.

VALE, N. M. et al. **Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão**. Biotemas, 25, p.135-144, 2012.

VIEIRA, T. A. et al. **Viabilidade técnica e econômica da produção do feijoeiro irrigado**. Disponível em <[http://www.iftm.edu.br/proreitorias/pesquisa/revista/pdf/Resumo\\_31.pdf](http://www.iftm.edu.br/proreitorias/pesquisa/revista/pdf/Resumo_31.pdf)> Acesso em: 10 de outubro de 2016.

YOKOYAMA, L.P. **Cultivo de Feijoeiro Comum**. Embrapa: Arroz e feijão, 2003.



## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA DA PLANTA PARA O FEIJOEIRO.

Causas da Variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Pr>Fc	CV %
20% do ciclo						
Irrigação	4	6,12700	1,531750	0,645	0,6389	
Erro	15	35,62250	2,374833			
Total	19	41,74950				
corrigido						
Média geral	15,145					
40% do ciclo						
Irrigação	4	152,4370	38,10925	10,998	0,0002*	8,0
Erro	15	51,97500	3,465000			
Total	19	204,4120				
corrigido						
Média geral	23,280					
60% do ciclo						
Irrigação	4	650,9350	162,7337	18,756	0,0000*	9,04
Erro	15	130,1450	8,676333			
Total	19	781,0800				
corrigido						
Média geral	32,600					
80% do ciclo						
Irrigação	4	926,9870	231,7467	45,839	0,0000*	5,73
Erro	15	75,83500	5,055667			
Total	19	1002,822				
corrigido						
Média geral	39,270					
100% do ciclo						
Irrigação	4	1196,125	299,0312	49,122	0,0000*	5,89
Erro	15	91,31250	6,087500			
Total	19	1287,437				
corrigido						
Média geral	41,875					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO DO CAULE PARA O FEIJOEIRO.**

<b>Causas da Variação</b>	<b>Graus de Liberdade (GL)</b>	<b>Soma de Quadrados (SQ)</b>	<b>Quadrado Médio (QM)</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
20% do ciclo						
Irrigação	4	3,735000	0,933750	26,806	0,0000*	5,45
Erro	15	0,522500	0,034833			
Total corrigido	19	4,257500				
Média geral	3,425					
40% do ciclo						
Irrigação	4	7,673000	1,918250	14,737	0,0000*	8,04
Erro	15	1,952500	0,130167			
Total corrigido	19	9,625500				
Média geral	4,485					
60% do ciclo						
Irrigação	4	11,04300	2,760750	10,144	0,0004*	
Erro	15	4,082500	0,272167			10,68
Total corrigido	19	15,12550				
Média geral	4,885					
80% do ciclo						
Irrigação	4	11,41800	2,854500	12,002	0,0001*	9,72
Erro	15	3,567500	0,237833			
Total corrigido	19	14,98550				
Média geral	5,015					
100% do ciclo						
Irrigação	4	11,02500	2,756250	10,096	0,0004*	10,24
Erro	15	4,095000	0,273000			
Total corrigido	19	15,12000				
Média geral	5,100					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR PARA O FEIJOEIRO.**

<b>Causas da Variação</b>	<b>Graus de Liberdade (GL)</b>	<b>Soma de Quadrados (SQ)</b>	<b>Quadrado Médio (QM)</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
20% do ciclo						
Irrigação	4	0,208803	0,052201	2,721	0,0694	18,83
Erro	15	0,287758	0,019184			
Total corrigido	19	0,496561				
Média geral	0,735					
40% do ciclo						
Irrigação	4	19,31930	4,829827	4,451	0,0143*	43,11
Erro	15	16,27724	1,085150			
Total corrigido	19	35,59655				
Média geral	2,416					
60% do ciclo						
Irrigação	4	70,58616	17,64654	10,174	0,0003*	26,47
Erro	15	26,01826	1,734551			
Total corrigido	19	96,60443				
Média geral	4,975					
80% do ciclo						
Irrigação	4	20,208164	5,052041	3,153	0,0455*	34,03
Erro	15	24,032111	1,602141			
Total corrigido	19	44,240275				
Média geral	3,719					
100% do ciclo						
Irrigação	4	2,178362	0,544591	1,361	0,2937	43,90
Erro	15	6,000107	0,400007			
Total corrigido	19	8,178469				
Média geral	1,440					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO.**

<b>Causas da Variação</b>	<b>Graus de Liberdade (GL)</b>	<b>Soma de Quadrados (SQ)</b>	<b>Quadrado Médio (QM)</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
Número de vagens por planta						
Irrigação	4	61,8624	15,4656	25,396	0,0000*	9,38
Erro	15	9,1345	0,6089			
Total corrigido	19	70,9970				
Média geral	8,31					
Número de grãos por vagem						
Irrigação	4	1,9831	0,4957	2,129	0,1275	13,75
Erro	15	3,4932	0,2328			
Total corrigido	19	5,4764				
Média geral	3,51					
Peso médio do grão						
Irrigação	4	0,0004	0,0001	1,661	0,2111	3,71
Erro	15	0,0010	0,0000			
Total corrigido	19	0,0014				
Média geral	0,221					
Produção de grãos						
Irrigação	4	8822890	2205722	18,751	0,0000*	13,06
Erro	15	1764473	117631			
Total corrigido	19	10587364				
Média geral	2626,37					
Matéria seca						
Irrigação	4	36099100,5	9024775,13	52,215	0,0000*	7,93
Erro	15	2592562	172837,515			
Total corrigido	19	38691663,2				
Média geral	5242,59					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**APÊNDICE E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA.**

<b>Causas da Variação</b>	<b>Graus de Liberdade (GL)</b>	<b>Soma de Quadrados (SQ)</b>	<b>Quadrado Médio (QM)</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
Irrigação	4	1,365320	0,341330	19,219	0,0000*	15,97
Erro	12	0,213120	0,017760			
Total corrigido	19	1,626295				
Média geral	0,83					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**APÊNDICE F – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ÍNDICE DE COLHEITA.**

<b>Causas da Variação</b>	<b>Graus de Liberdade (GL)</b>	<b>Soma de Quadrados (SQ)</b>	<b>Quadrado Médio (QM)</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
Irrigação	4	0,2196	0,0549	8,853	0,0007*	15,38
Erro	15	0,0930	0,0062			
Total corrigido	19	0,3127				
Média geral	0,512					

\*Significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.