

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**“RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM À IRRIGAÇÃO COM  
DÉFICIT, SOB SEMEADURA DIRETA”**

**JOSÉ JOAQUIM DE CARVALHO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Maio - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**“RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM À IRRIGAÇÃO COM  
DÉFICIT, SOB SEMEADURA DIRETA”**

**JOSÉ JOAQUIM DE CARVALHO**

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia  
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Maior - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C331r Carvalho, José Joaquim de, 1977-  
Resposta do feijoeiro comum à irrigação com déficit, sob semeadura direta / José Joaquim de Carvalho. - Botucatu : [s.n.], 2013  
xiv, 110 f., il., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013

Orientador: João Carlos Cury Saad  
Coorientador: Rogério Peres Soratto  
Inclui bibliografia

1. Feijão comum. 2. Feijão - Semeadura. 3. Irrigação com déficit hídrico. 4. Manejo da irrigação. 5. Feijão - Influência do clima. 6. Evapotranspiração. I. Saad, João Carlos Cury. II. Soratto, Rogério Peres. III. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**  
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM À IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT, SOB SEMEADURA DIRETA"**

ALUNO: JOSÉ JOAQUIM DE CARVALHO

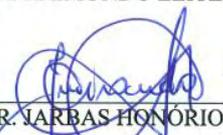
ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD  
ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

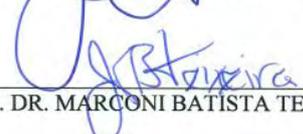
Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JARBAS HONÓRIO DE MIRANDA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARCONI BATISTA TEIXEIRA

Data da Realização: 10 de junho de 2013.

### **Hino de Botucatu**

Nunca esquecerei de ti, oh minha terra,

Berço onde o amor nasceu.

És princesa lá da serra,

Terra dos carinhos meus.

Não mais poderei viver longe de ti.

Tu és a minha adoração.

Oh! Botucatu,

cidade dos meus sonhos,

Terra do meu coração.

Oh! Botucatu,

cidade dos meus sonhos,

Terra do meu coração.

Angelino de Oliveira (1889 - 1964).

Aos meus pais, Gabriel José de Carvalho e Divina Luiza de Carvalho, "in memoriam", razão da minha existência, exemplo de simplicidade e de honestidade, que sempre confiaram em mim, pelo apoio, dedicação, durante toda a minha vida em busca do conhecimento.

Aos meus irmãos, Antônio Aparecido "in memoriam", Ananias José, Adonias Sebastião, Almino Assunção, Ana Rita, Maria Antônia e Sebastião Gabriel, pelas palavras de apoio ao estudo.

À minha namorada Sara Santiago Naves, por estar sempre ao meu lado, mesmo quando distante, sempre me incentivando. Por todos os momentos de amor, amizade e companheirismo que já passamos juntos e pelos momentos que ainda virão, e, à sua família.

À minha afilhada Geovana Aparecida Pereira de Carvalho e a todos os amigos e as amigas que me ajudaram durante este trabalho.

**DEDICO**

### AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades e por iluminar o meu caminho dando-me sabedoria e coragem para concluir mais uma etapa da minha formação profissional e pessoal.

A todas as pessoas que acreditaram em mim, nos momentos bons e de dificuldades, de modo que eu pudesse realizar este sonho de criança, agradeço a estas pessoas, as quais, ainda continuam em minha história.

Ao orientador, Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, pelos anos de orientação e de amizade desde o mestrado, levo de ti a certeza de que, não é o conhecimento que conduz o ser humano, mas sim um bom coração.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto pela co-orientação, pelas sugestões, ensinamentos e amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, (CNPq) pela bolsa de estudos concedida;

Ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes, pelas sugestões, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Dr. José Alves Júnior, pela amizade, companheirismo e incentivo na realização do curso de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, pelas sugestões e incentivos. Obrigado pelo estímulo, confiança e amizade.

Ao Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela disposição para solucionar dúvidas, pelos conselhos durante o Doutorado e pelas grandes contribuições para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos membros da banca examinadora pelas correções e sugestões oferecidas;

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), pela oportunidade de cursar o mestrado e o doutorado.

Aos amigos e colegas de trabalho: Adilson Pacheco, Rogério Zanardi, Diego Voltan, Angélica Fernandes, Géssica Lima, Joselina, Franciana Sousa, Maurício Roberto e outros tantos, pelo convívio e pelas trocas de experiências.

Aos docentes e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP.

Às Fazendas de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, sob a supervisão do Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, assim como toda a sua equipe de funcionários, pelo auxílio das atividades realizadas durante este trabalho.

À empresa Petroisa Irrigação, pela doação do manômetro e das mangueiras gotejadoras Durázio.

A todos vocês que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
RESUMO .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Cultura do feijoeiro.....	3
2.1.1 Etapas de desenvolvimento da planta .....	4
2.2 Cultivares.....	6
2.3 Características agronômicas e tecnológicas da cultivar .....	6
2.3.1 IAC - Alvorada .....	6
2.4 Fatores climáticos .....	7
2.5 Semeadura direta .....	7
2.6 Manejo do solo e produtividade do feijoeiro sequeiro e irrigado.....	9
2.7 Deficiência hídrica no feijoeiro .....	10
2.8 Fases críticas ao déficit hídrico. ....	11
2.9 Resposta do feijoeiro ao déficit hídrico.....	13
2.10 Irrigação no feijoeiro .....	14
2.11 Manejo da Irrigação.....	17
2.11.1 Método do Tanque Classe A .....	17
2.12 Coeficiente da cultura (Kc).....	19
3 CAPÍTULO 1: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTIVAR IAC-ALVORADA EM SEMEADURA DIRETA, SOB CONDIÇÃO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT.....	23
3.1 RESUMO: .....	23
3.2 ABSTRACT: .....	24
3.3 INTRODUÇÃO.....	25
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
3.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas.....	34
3.6 CONCLUSÕES .....	44
3.7 REFERÊNCIAS .....	45
4 CAPÍTULO 2 - PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO ( <i>PHASEOLUS VULGARIS</i> L) EM CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT. ....	48
4.1 RESUMO: .....	48
4.2 ABSTRACT: .....	49
4.3 INTRODUÇÃO.....	49
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
4.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas.....	57
4.6 CONCLUSÕES .....	71
4.7 REFERÊNCIAS .....	71

5 CAPÍTULO 3 – ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO EM SEMEADURA DIRETA, SOB IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT .....	76
5.1 RESUMO: .....	76
5.2 ABSTRACT: .....	77
5.3 INTRODUÇÃO.....	77
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	85
5.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas.....	85
5.6 CONCLUSÕES .....	98
5.7 REFERÊNCIAS .....	98
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	102
7 REFERÊNCIAS .....	103

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo. ....	31
<b>FIGURA 2:</b> Produtividade do feijoeiro, em $\text{kg ha}^{-1}$ , em função da lâmina total de água durante o ciclo, para o ano de 2010.....	39
<b>FIGURA 3:</b> Produtividade do feijoeiro, em $\text{kg ha}^{-1}$ , em função da lâmina total de água durante o ciclo, para o ano de 2011.....	39
<b>FIGURA 1.</b> Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo. ....	54
<b>FIGURA 2.</b> Variação das temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) durante o ciclo do feijoeiro, medidas em abrigo meteorológico. ....	60
<b>FIGURA 3.</b> Precipitação pluvial durante o ciclo do feijoeiro, cultivar IAC Alvorada. ....	61
<b>FIGURA 1.</b> Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo. ....	82
<b>FIGURA 2.</b> Variação das temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) durante o ciclo do feijoeiro, medida em abrigo meteorológico. ....	87
<b>FIGURA 3.</b> Precipitação pluvial durante o ciclo do feijoeiro IAC-Alvorada. ....	88

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> Fases e estádios fenológicos de desenvolvimento do feijoeiro comum.....	5
<b>TABELA 2.</b> Valores médios de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) no sistema semeadura direta, para os estágios da cultura do feijoeiro variedade carioca precoce.....	20
<b>TABELA 3.</b> Faixas de duração do ciclo (em dias) e a duração em dias para cada fase (1, 2, 3,4) separadamente, tendo assim as porcentagens dessas fases na cultura do feijoeiro. ....	21
<b>TABELA 4.</b> Coeficientes de cultivo em diferentes fases de desenvolvimento e alturas máximas de plantas, cultivadas sob condição padrão de $UR_{min} = 45\%$ e $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$ .....	21
<b>TABELA 1.</b> Características químicas do solo, antes da semeadura do feijão, primeiro ciclo, referente ao ano de 2010.....	28
<b>TABELA 2.</b> Características químicas do solo, antes da semeadura do feijão, primeiro ciclo, referente ao ano de 2011.....	28
<b>TABELA 3.</b> Análise granulométrica do solo na camada de 0 a 0,3 m referente ao ano de 2010. ....	29
<b>TABELA 4.</b> Densidade do solo nas camadas 0 a 0,30m, para os anos de 2010 e 2011.....	29
<b>TABELA 5.</b> Descrição dos tratamentos com as combinações de lâminas de irrigação aplicadas em duas fases, sendo estas com 40%, 60%, 80% e 100% da Etc, durante o ciclo do feijoeiro nas fases I - Emergência ao pleno florescimento e Fase II - Florescimento a maturação. ....	30
<b>TABELA 6.</b> Coeficientes de cultivo em diferentes fases de desenvolvimento e alturas máximas de plantas, cultivadas sob condição padrão de $UR_{min} = 45\%$ e $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$ .....	32
<b>TABELA 7.</b> Temperaturas máxima, média e mínima mensal e precipitação pluvial em Botucatu, SP, para os ciclos de 2010 e 2011.....	35
<b>TABELA 8.</b> Lâminas de irrigação e precipitação efetiva, em mm, correspondentes às fases I e II, durante o ciclo do feijoeiro nos anos 2010 e 2011. ....	36
<b>TABELA 9.</b> Ano de cultivo, duração do ciclo, graus-dias acumulados, rendimento de grãos, redução do rendimento do feijão, Botucatu - SP, 2010. ....	37
<b>TABELA 10.</b> Época de cultivo, duração do ciclo, graus-dias acumulados, rendimento de grãos, redução do rendimento do feijão, Botucatu - SP, 2011. ....	38
<b>TABELA 11.</b> Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância na cultura do feijoeiro submetida a diferentes combinações de lâminas de água aplicada.....	40
<b>TABELA 12.</b> Números de nós por planta nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	41
<b>TABELA 13:</b> Altura de plantas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	42
<b>TABELA 14.</b> Índice de área foliar, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	43
<b>TABELA 15.</b> Comparação de médias de número de nós, altura de plantas (cm) e índice de área foliar ( $\text{cm}^2/\text{cm}^{-2}$ ) durante o florescimento. ....	44

<b>TABELA 1.</b> Descrição dos tratamentos com as combinações de lâminas de irrigação aplicadas em duas fases, sendo estas com 40%, 60%, 80% e 100% da Etc, durante o ciclo do feijoeiro nas fases I - Emergência ao pleno florescimento e Fase II - Florescimento a maturação. ....	55
<b>TABELA 2.</b> Lâminas de irrigação em mm, da emergência ao pleno florescimento (fase - I) e do florescimento a maturação (fase-II), e a lâmina total de irrigação, considerando-se a precipitação efetiva para os anos de 2010 e 2011. ....	58
<b>TABELA 3.</b> Períodos compreendidos entre o início do experimento e a colheita, com o número de dias respectivos para os tratamentos avaliados. ....	59
<b>TABELA 4.</b> Graus dias, temperatura média mensal, umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) em Botucatu, SP, 2010 e 2011. ..	61
<b>TABELA 5.</b> Valores de F e nível de significância na análise de variância na cultura do feijoeiro, submetida a diferentes combinações de lâminas de água aplicada. ....	62
<b>TABELA 6.</b> Grãos/vagens, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	63
<b>TABELA 7.</b> Produtividade média em ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro referente aos anos de 2010 e 2011. ....	64
<b>TABELA 8.</b> Número de vagens por plantas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro, referente aos anos de 2010 e 2011. ....	66
<b>TABELA 9.</b> Peso de 100 grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro, referente aos anos de 2010 e 2011. ....	67
<b>TABELA 10.</b> Vagens chochas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro nos anos de 2010 e 2011. ....	68
<b>TABELA 11.</b> Comparação de médias de produtividade em ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), vagens/planta, massa de 100 grãos em (g) e grãos/vagens, nas fases - I e II. ....	69
<b>TABELA 12.</b> Eficiência do uso da água ( $\epsilon$ ) $\text{kg m}^{-3}$ sob diferentes lâminas de água aplicadas em dois períodos distintos. ....	70
<b>TABELA 1.</b> Descrição dos tratamentos envolvendo a combinação de diferentes lâminas de irrigação aplicadas em duas fases do ciclo do feijoeiro (Emergência ao pleno florescimento; Florescimento a maturação). ....	83
<b>TABELA 2.</b> Lâminas de irrigação em mm, da emergência ao pleno florescimento Fase I, e do florescimento a maturação fase II, e a lâmina total de irrigação, considerando-se a precipitação efetiva para os anos de 2010 e 2011. ....	86
<b>TABELA 3.</b> Períodos compreendidos entre início do experimento e a colheita, com o número de dias respectivos para os tratamentos avaliados. ....	87
<b>TABELA 4:</b> Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância na cultura do feijoeiro submetidos a diferentes combinações de lâminas de água aplicada. ....	89
<b>TABELA 5.</b> Teor de ferro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	90
<b>TABELA 6.</b> Teor de enxofre em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura. ....	91
<b>TABELA 7.</b> Teores de magnésio e proteína total em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano 2010. ....	91

<b>TABELA 8.</b> Teor de fósforo e boro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano de 2011.....	92
<b>TABELA 9:</b> Teor de nitrogênio, fósforo e potássio em grãos de feijão IAC-Alvorada.....	94
<b>TABELA 10:</b> Teor de cálcio, magnésio e enxofre em grãos de feijão IAC-Alvorada.....	94
<b>TABELA 11:</b> Teor de boro, cobre e ferro em grãos de feijão IAC-Alvorada.....	95
<b>TABELA 12:</b> Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância submetidos a diferentes combinações de lâminas no acúmulo de nutrientes em grãos de feijão no ano de 2011.....	95
<b>TABELA 13:</b> Acúmulo de macronutrientes nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo e enxofre ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada, segundo ciclo.....	96
<b>TABELA 14:</b> Acúmulo de micronutrientes, boro e cobre ( $\text{g ha}^{-1}$ ), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada.....	98

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão comum conhecido como *Phaseolus vulgaris* L, o qual, atualmente, é o mais cultivado no mundo. Este, caracteriza-se por ser um produto cujos grãos apresentam teores de proteínas, carboidratos e minerais que juntamente com o arroz, propicia uma dieta mais vantajosa e equilibrada em termos de aminoácidos, além de possuir notória importância socioeconômica. A exigência hídrica do feijoeiro varia com seu estágio de desenvolvimento, sendo sensível à deficiência hídrica e ao excesso de água no solo. O experimento foi realizado na Fazenda Lageado com o objetivo de estudar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação, em duas fases, sendo a fase I, com início após a emergência até o florescimento e a fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos sobre o comportamento da cv IAC Alvorada, durante dois ciclos consecutivos no sistema de semeadura direta, no período de inverno em Botucatu - SP. O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 16 tratamentos e uma testemunha com quatro repetições. Os fatores são as fases inicial e reprodutiva, cada uma com 4 níveis de exigências de água 100%, 80, 60 e 40% da evapotranspiração da cultura (ETc), aplicados em duas etapas do ciclo da cultura. Cada parcela tinha 7,2 m<sup>2</sup> nas dimensões de 1,8 m x 4 m. As irrigações foram realizadas visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo, com a ETc obtida a partir do tanque Classe A. Avaliou-se o desenvolvimento das plantas de feijoeiro, o índice de área foliar e a

produção de grãos. Os dados obtidos mostraram que o desenvolvimento médio das plantas de feijoeiro foi maior na condição de 100% nas duas fases. O déficit hídrico na fase I, não interferiu na produtividade de grãos. Já na fase II, a maior redução da lâmina aplicada resultou em menores produtividades de grãos.

---

**Palavras-chave:** Deficiência hídrica, lâmina de irrigação, componentes da produção, eficiência no uso da água.

**"MANAGEMENT OF FARMING OF BEANS IAC-DAWN UNDER WATER STRESS IN DIRECT SEEDING"**. Botucatu, 2013. 146 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOSÉ JOAQUIM DE CARVALHO

Adviser: JOÃO CARLOS CURY SAAD

Co-Adviser: ROGÉRIO PERES SORRATO

## **ABSTRACT**

Brazil is the largest producer and consumer of common bean known as *Phaseolus vulgaris* L, which is currently the most cultivated in the world. This is characterized for being a product which the grains presented protein, carbohydrates and minerals that along with rice, provides a more advantageous and balanced diet in terms of amino acids, as well as having notorious socioeconomic importance. The water requirement of bean plants varies with their stage of development, being sensitive to water deficit and water excess in the soil. The experiment was conducted at Fazenda Lageado aiming to study the effects of different irrigation depths in two phases, being the phase I starting after the germination until flowering and the phase II, from flowering to physiological maturity of the grains under the behavior of cv IAC Alvorada, during two

consecutive cycles in direct sowing system, during winter in Botucatu - SP. The soil of the experimental area is classified as dystroferric red nitosol (clay texture). The experimental design utilized was that of randomized blocks with 16 treatments and a control with four replications. The factors are the initial and reproductive phase, each with 4 levels of water requirements 100%, 80, 60 and 40% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), applied in two stages of the crop cycle. Each plot was 7.2 m<sup>2</sup> in dimensions of 1.8 m x 4 m. The irrigation was performed to increase the soil moisture to the field capacity, with the ET<sub>c</sub> obtained from the Class A pan. Was evaluated the development of bean plants, the leaf area index and grain production. The data showed that the average development of bean plants was bigger at 100% in both phases. Water deficit in phase I, did not affect the grain production. In phase II, the largest reduction of the applied irrigation depth resulted in lower grain productivities.

---

**Keywords:** Water deficit, irrigation depth, production components,

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas o modelo agrícola do desenvolvimento rural tem se baseado, predominantemente, em investimentos em tecnologias, como o uso de agroquímicos, sementes certificadas, técnicas de irrigação e na mecanização intensiva. Majoritariamente, a principal preocupação do modelo agrícola é a produtividade, em sua dimensão econômica.

Na agricultura, a irrigação tem desempenhado um papel indispensável ao incremento da produtividade de diversas culturas. Ela possibilita o desenvolvimento econômico e o processo produtivo de muitas regiões, garantindo o abastecimento interno e ampliando as exportações dos produtos agrícolas.

O desafio que se apresenta é garantir o necessário aporte de água para agricultura, em face da crescente competição com os outros setores da economia. É fundamental que se incentivem e desenvolvam práticas de produção agrícolas mais equilibradas com o ambiente. Exemplo disto é a semeadura direta que privilegia as interações benéficas no ambiente do solo, conjugada às técnicas mais eficientes de usos dos recursos, sobretudo dos recursos hídricos.

O feijão é uma leguminosa herbácea exigente das condições meteorológicas favoráveis para crescer, desenvolver e produzir. Este é cultivado em todas as regiões brasileiras, em diferentes épocas e sistemas de cultivo. Todavia o conhecimento das condições climáticas locais é fundamental na decisão do cultivo dessa leguminosa, pois a temperatura do ar muito baixa ou alta pode refletir na produtividade.

É uma planta sensível tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. A maneira como o déficit hídrico do solo se manifesta na planta do feijoeiro é bastante complexa, pois afeta praticamente todos os processos do crescimento. Os prejuízos causados dependem da duração, do tipo de deficiência hídrica, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta. Desta forma, fica evidente que a tecnologia de cultivo não funciona isoladamente, mas sim conjugada com outras práticas de manejo. Dentro deste contexto, a técnica de irrigação representa uma parcela considerável no aumento da produtividade quando utilizada adequadamente.

Uma vez que as culturas irrigadas têm grande consumo de água no processo produtivo, é oportuno identificar quais os estádios de desenvolvimento com maior dependência hídrica, visando definir uma estratégia de economia de água com pequeno impacto na produtividade. Por exemplo, nas fases em que o fornecimento de água tem pouco impacto na produção, pode-se reduzir a lâmina aplicada, gerando economia sem comprometer a produtividade. Sabe-se que os estádios de florescimento e enchimento de grãos são os mais afetados em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após a deficiência hídrica.

A hipótese desta pesquisa sugere que diferentes reduções de lâminas aplicadas nas fases I e II ou suas combinações, podem ocasionar redução na produtividade de grãos e estabelecer a fase com maior impacto produtivo. Além disso, verifica se o estudo apresenta alternativas sustentáveis ao produtor rural.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a produtividade do feijoeiro submetido à combinação de quatro lâminas de irrigação, cada uma com 4 níveis de exigências de água 100%, 80, 60 e 40% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), aplicados em duas fases do ciclo da cultura, sendo a fase I da emergência até o florescimento e a fase II compreendida entre o florescimento até a maturação fisiológica dos grãos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cultura do feijoeiro

O feijão comum é uma planta anual herbácea, trepadora ou não, pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Phaseolus*. Classificado como espécie *Phaseolus vulgaris* L.

O gênero *Phaseolus* possui cerca de 55 espécies das quais cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *latifolius* Freeman e *P. polyanthus* Greenman (DEBOUCK, 1993). Destas, o feijão-comum *Phaseolus vulgaris*, é a mais importante, por ser a espécie cultivada mais antiga e, também, a mais utilizada nos cinco continentes (SANTOS; GAVILANES, 2008).

O feijoeiro comum teve origem no continente americano. Sua origem até hoje, constitui fonte de divergência entre os pesquisadores. Diversas hipóteses tentam explicar não somente a origem da planta, mas também de quando teria o homem começado a utilizá-la como uma cultura doméstica. Algumas evidências levam à hipótese de que o centro de origem da planta e sua domesticação como cultura teriam ocorrido na região da Mesoamérica, por volta de 7000 anos a.C., uma vez que cultivares selvagens, similares a variedades crioulas, foram encontrados nessa região, mais especificamente no México. Supõe-se que a partir dessa região, a cultura teria sido disseminada, posteriormente, para toda a América do Sul (CFI- Centro de Inteligência do feijão, 2008).

Por outro lado, achados arqueológicos mais antigos, cerca de 10.000 a.C., de feijões domesticados na América do Sul (sítio de Guitarrero, no Peru) são indícios de que o feijoeiro teria sido domesticado na América do Sul e transportado para a América do Norte (SANTOS, 2004).

O feijoeiro possui um sistema radicular no solo e, acima deste, um caule que porta as folhas e ramos. Nas plantas mais velhas, têm-se uma visão detalhada das suas partes: raiz, caule ou haste principal, folhas e hastes axilares, inflorescência, fruto e semente. Porém os eventos periódicos mais visíveis são a germinação, aparecimento das gemas de ramos primários, secundários, terciários, floração, altura de plantas, frutificação, senescência e morte (OLIVEIRA; KLUTHCOUSKI, 2009).

Quanto ao hábito de crescimento do feijoeiro comum, são de dois tipos: determinado, em que o caule termina por uma inflorescência; e indeterminado, em que na extremidade do caule existe gema vegetativa ou floral e vegetativa (COSTA, 2009). No hábito de crescimento determinado, geralmente, a primeira flor se abre na inflorescência apical da haste principal e, posteriormente, abrem-se as outras flores das inflorescências das hastes laterais. Por isso, é comum dizer que o florescimento ocorre do ápice da planta para a base, onde o período de floração é curto e a maturação uniforme. Já nas plantas de hábito indeterminado, normalmente a primeira flor abre-se em inflorescência posicionada na base e, em seguida, abrem-se as flores nas posições superiores. Em razão disso, considera-se que o florescimento ocorre da base para o ápice (SANTOS; GAVILANES, 2008).

### **2.1.1 Etapas de desenvolvimento da planta**

O desenvolvimento durante o ciclo biológico das plantas divide-se em três fases, fase vegetativa também denominada de primeira fase, esta inicia-se com a germinação da semente indo até a planta adulta, com o aparecimento das primeiras estruturas reprodutivas, botões florais nas plantas de crescimento determinado e racimos florais nas plantas de hábito de crescimento indeterminado; fase reprodutiva, a qual inicia-se com o aparecimento dos primeiros botões florais ou racimos florais, finalizando com a maturação e colheita. Nas plantas de crescimento determinado, todas as gemas

diferenciam-se em inflorescência, cessando o desenvolvimento vegetativo. Nas de crescimento indeterminado, continuam o aparecimento de estruturas vegetativas, mesmo após o fim da vegetativa, continuando a produzir simultaneamente folhas, ramos, hastes, flores e vagens. Entre estas duas, há uma terceira fase, de transição. A fase de transição refere-se a mudanças de função das gemas, de vegetativas para reprodutivas. É de curta duração, ocorre devido à inexatidão na definição do momento preciso em que termina a fase vegetativa e inicia-se a fase reprodutiva.

Estas fases, por sua vez, são subdivididas em dez etapas. A fase vegetativa (V) é constituída das etapas V0, V1, V2, V3, V4 e a reprodutiva (R), das etapas R5, R6, R7, R8 e R9, conforme apresentado na Tabela 1.

**TABELA 1.** Fases e estádios fenológicos de desenvolvimento do feijoeiro comum.

<b>Fases</b>	<b>Estádios</b>	<b>Características</b>	<b>Início do Estádio/Descrição</b>
Vegetativa	V0	Germinação	Semeadura/Absorção de água, emissão da radícula, transformação raiz primária.
	V1	Emergência	Cotilédones de 50% das plantas ao nível do solo/Desenvolvimento epicótilo.
	V2	Folhas primárias	Folhas primárias de 50% das plantas estão desdobradas/Expansão das folhas.
	V3	Primeiro trifólio	Abertura da primeira folha trifoliolada em 50% das plantas/Abertura do primeiro trifólio, surgimento do segundo.
	V4	Terceiro trifólio	Abertura da terceira folha trifoliolada em 50% das plantas/Abertura do terceiro trifólio e formação dos ramos nas gemas e nós inferiores.
Reprodutiva	R5	Pré-floração	Aparecem os primeiros botões florais em 50% das plantas/Aparecimento do primeiro botão floral e primeiro racemo.
	R6	Floração	Abertura da primeira flor em 50% das plantas/Florescimento das plantas.
	R7	Formação das vagens	Aparecimento das primeiras vagens em até 50% das plantas ao murchar a corola/Aparecimento da primeira vagem 2,5 cm de comprimento.
	R8	Enchimento das vagens	Primeiras vagens cheias de grãos em 50% das plantas/Crescimento da semente.
	R9	Maturação fisiológica	Modificação da cor das vagens em 50% das plantas/Vagens perdem pigmentação e começam a secar, grãos com cor típica da variedade.

Fonte: Adaptado de Fernandez et al. (1985); Fancelli e Dourado Neto (1997).

A duração das etapas de desenvolvimento do feijoeiro pode ser afetada por alguns fatores, dentre os quais, merecem destaque o genótipo, o qual determina o hábito de crescimento e precocidade das plantas, o clima e as condições de fertilidade do solo.

## **2.2 Cultivares**

Cultivares melhoradas de feijão comum, com elevado potencial de produção, ampla adaptação e menor sensibilidade aos estresses bióticos ou abióticos, representam uma das mais significativas contribuições à eficiência do setor produtivo. O trabalho de obtenção, avaliação e recomendação de cultivares é realizado por diversas instituições de pesquisa e desenvolvimento distribuídas por todo país (INCAPER, 2011).

Dentre as cultivares utilizadas no Brasil, a maioria delas apresenta teores de 20 a 25% de proteína (BORÉN; CARNEIRO, 2006). No Brasil, o feijão carioca é o mais cultivado e apresenta cor creme com rajas marrons, com peso de 100 grãos variando de 23 a 25 gramas (RAMALHO; ABREU, 2006).

## **2.3 Características agronômicas e tecnológicas da cultivar**

### **2.3.1 IAC - Alvorada**

A cultivar IAC-Alvorada é uma planta de hábito de crescimento indeterminado, com porte semi-ereto (tipo III), apresenta resistência moderada à antracnose, alto peso de mil sementes com 275 gramas e alta qualidade de grãos tipo carioca. Seu ciclo da emergência, a maturação fisiológica, é de 92 dias em média, com vagens amarelo-palha. O potencial produtivo da IAC-Alvorada observado em 24 ensaios de VCU foi de 4.351 kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade média nesses ensaios foi de 2.810 kg ha<sup>-1</sup>, 2.553 kg ha<sup>-1</sup> e 2.430 kg ha<sup>-1</sup> para as épocas das águas, da seca e de inverno respectivamente. Foi lançada em 2007, pelo Instituto Agrônomo de Campinas, proveniente de cruzamentos múltiplos. Possui, em média, floração aos 38 dias após a emergência, com flores de cor branca e, após a fecundação, amarelo-desbotadas. As vagens

são achatadas lateralmente e apresentam cor amarela-palha na maturação. As sementes possuem forma oblonga, e o tegumento, na cor creme, possui rajas havaiana e halo branco. Utiliza-se 70 a 80 kg de sementes, e um estande final de 200.000 a 240.000 plantas por hectare, respectivamente. Seu plantio é indicado para as três épocas de cultivo e em todo o Estado de São Paulo, exceto para as regiões suscetíveis a geadas (CULTIVARES... 2007).

## **2.4 Fatores climáticos**

Entre os elementos climáticos que mais influenciam na produção de feijão, deve-se salientar a temperatura, a radiação solar e a precipitação pluvial. Em relação ao fotoperíodo, a planta de feijão pode ser considerada fotoneutra (SILVA; RIBEIRO, 2009).

O cultivo do feijoeiro em condições de temperaturas muito altas ou baixas perde em rendimento. As recomendações da Embrapa (2003), é que a temperatura do ar esteja situada numa faixa próxima de 29°C durante o dia e de 21°C durante a noite, pois os valores ideais da temperatura do ar mínimo, ótimo e máximo são de 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente (SILVA; RIBEIRO, 2009).

De uma forma geral, regiões que apresentam valores de radiação solar em torno de 150-250 W m<sup>-2</sup> são consideradas ideais para o desenvolvimento do feijoeiro. Porém, quando exposto a baixa quantidade de radiação solar, apresenta decréscimo no índice de área foliar, concorrendo para uma menor área de interceptação de energia e interferindo em todo seu metabolismo fisiológico (PORTES, 1996). Por outro lado, em condições de alta radiação solar, os índices foliares são maiores. Porém, isto não significa que haverá um aumento no rendimento da cultura, pois maior produção de grãos está diretamente relacionada à eficiência fotossintética da cultivar (SILVA; RIBEIRO, 2009).

## **2.5 Semeadura direta**

A semeadura é realizada em solo coberto por palha, e, portanto, com o mínimo de revolvimento da camada superficial, utilizando-se máquinas apropriadas e com regulagens específicas para que se tenha: rompimento da camada de cobertura morta

previamente dessecada e de eventuais touceiras das culturas antecessoras; concomitante formação dos sulcos de semeadura de maneira adequada, para serem favorecidas a germinação, a emergência e o estabelecimento uniforme das plântulas (BARBOSA; GONZAGA, 2012). Sua utilização pode minimizar a formação de camadas compactadas do solo, mas apesar disso, a utilização continuada do plantio direto, pode resultar em aumento da densidade do solo (VIEIRA, 2006). No entanto essa alteração pode influenciar o crescimento e a distribuição do sistema radicular nos primeiros anos de cultivos.

A semeadura direta é eficiente prática conservacionista, especialmente adequada para as condições de ambiente de regiões tropicais, onde se faz necessário manter o solo protegido da ação do sol e da chuva, caracterizando-se pela eficiência no controle de perdas de solo e de água e na redução de custos operacionais, tais como aração e gradagem, sendo que a sua adoção tem viabilizado a implantação de sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, tornando-se a base da sustentabilidade (ASSIS; LANÇAS, 2004), pois a cobertura morta atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo e contribuindo para a menor evaporação da água armazenada com melhor aproveitamento do conteúdo de água no solo pelas plantas (BIZARI et al., 2009).

A presença de palha na superfície do solo, em quantidade adequada, é de suma importância na agricultura irrigada. Ela altera a relação solo-água, prevenindo a evaporação e reduzindo a taxa de evapotranspiração das culturas, principalmente nos estádios em que o dossel não cobre totalmente o solo, o que resulta em redução na frequência de irrigação e economia nos custos de operação do sistema de irrigação (STONE et al., 2006).

Em estudos conduzidos em Goiânia (GO), com feijoeiro irrigado, verificou-se que o plantio direto mais cobertura morta foi mais eficiente no uso da água em relação ao sistema de preparo do solo com grade aradora, com economia de água de 30%. Bizari *et al.* (2009) no estado de São Paulo quantificaram uma economia de 14% de água no plantio direto em relação ao plantio convencional.

No Estado de São Paulo houve aumento da área cultivada com o feijoeiro comum em semeadura direta. No sudoeste paulista, muitos agricultores utilizam o sistema de semeadura direta há mais de 20 anos e, atualmente, a utilização desse sistema de cultivo representa cerca de 70% a 80% da área de soja e milho na região de Itapeva, e

de 50% a 60% nas regiões de Avaré e Itapetininga, implicando em mudanças no planejamento e no manejo das culturas (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Stone (2005) em trabalho com feijoeiro irrigado em semeaduras direta e convencional, em Guaíra, (SP), obteve valores do consumo de água pela cultura de 254 mm e 343 mm, respectivamente, mostrando a importância da semeadura direta na diminuição do número de irrigações e no aumento da disponibilidade de água para as plantas nesse sistema.

A maior limitação para a sustentabilidade do sistema semeadura direta na maior parte do Estado de São Paulo e Brasil central é a baixa produção de palha no período de outono/inverno e inverno/primavera, tanto das espécies utilizadas para adubação verde e cobertura de solo, como das produtoras de grãos, em razão das condições climáticas desfavoráveis e da notadamente baixa disponibilidade hídrica (CASTRO, 2012).

## **2.6 Manejo do solo e produtividade do feijoeiro sequeiro e irrigado**

Para o aumento dos patamares de produtividade do feijoeiro comum irrigado, é requerido um manejo adequado da condição nutricional do solo. O nitrogênio é o nutriente que mais limita o desenvolvimento, a produtividade e a biomassa da maioria das culturas, assim como a do feijoeiro (LOPES et al., 2004). Embora seja estabelecida simbiose entre o feijoeiro comum e várias espécies de *Rhizobium*, a mesma não é suficiente para garantir o suprimento desse nutriente em lavouras com elevado rendimento nas áreas tecnificadas e com produtividades acima de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, assim, é necessário complementar com uma adubação de N. Devido aos elevados valores de extração e de exportação de N, as doses recomendadas desse nutriente, bem como as de K, são aumentadas com requerimento no aumento da produtividade esperada (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Tem sido uma recomendação pertinente aplicar o N em cobertura aos 15 e 30 dias após a emergência das plântulas, e em solos arenosos com lavouras irrigadas. Doses de N iguais ou maiores que 60 kg ha<sup>-1</sup>, podem ser parceladas em duas vezes, aplicando-se a última até, no máximo, 40 dias após a emergência.

Os efeitos dos micronutrientes no feijoeiro comum não são consistentes (BARBOSA; GONZAGA, 2012), mas há vários casos na literatura em que é

demonstrado o efeito positivo da aplicação de zinco e de boro. O feijoeiro comum é mais sensível ao boro nos cultivares de inverno.

O Molibdênio é imprescindível à fixação simbiótica de N, bem como para o metabolismo de N nas plantas. O Mo pode ser aplicado na semente ou por pulverizações, sendo que as doses necessárias são pequenas (até 50 g de molibdênio de sódio por hectare ou por 50 kg de semente). Com a calagem é provocado o aumento do pH e conseqüentemente o incremento da disponibilidade do Mo do solo para as plantas (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Sousa e Santos (2008), para diferentes tipos de preparo do solo na cultura do feijoeiro irrigado no outono/inverno, no ano agrícola de 2003/04, não encontraram diferenças na produtividade de grãos, entre plantio convencional, cultivo mínimo e semeadura direta.

Lâminas de irrigação associadas às fases fenológicas da cultura, podem determinar efeitos negativos ou positivos no rendimento do feijoeiro. Neste sentido, Nobrega et al. (2004) na região de Lagoa Seca, PB, utilizando diferentes lâminas de irrigação, obtiveram produtividades de 1.258 kg ha<sup>-1</sup>, 1.483 kg.ha<sup>-1</sup>, 1.796 kg.ha<sup>-1</sup> e 1.839 kg ha<sup>-1</sup> ao aplicarem 80, 140, 160 e 320 mm de água, respectivamente.

Ferreira et al. (2006) relatam que o cultivo de inverno irrigado, denominado terceira safra, apresenta uma importância não só no abastecimento, mas também na redução da sazonalidade, permitindo obter um produto de melhor qualidade, embora essa produção não supere 15% do total do país.

Pavani et al. (2008) avaliaram o manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas de plantio direto e convencional e encontraram produtividades de 1.865 kg ha<sup>-1</sup> e de 2.806 kg ha<sup>-1</sup> ao utilizarem o manejo do tensiômetro nos sistemas plantio convencional e direto, respectivamente. Verificaram também que no sistema plantio direto a produtividade foi diferente em relação ao convencional. Para o manejo da irrigação utilizando o tanque Classe A obtiveram a produtividade de 3.395 kg ha<sup>-1</sup> e de 2.755 kg ha<sup>-1</sup> nos sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente.

No Estado de São Paulo, a produtividade média referente à primeira, segunda e terceira safras de 2011/2012 é de 1.995 kg ha<sup>-1</sup>, 1.856 kg ha<sup>-1</sup>, 2.345 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2013).

## **2.7 Deficiência hídrica no feijoeiro**

O feijoeiro é bastante sensível ao déficit hídrico, provavelmente devido à sua baixa capacidade de recuperação às estiagens e ao sistema radicular pouco desenvolvido (GUIMARAES, 1996). A primeira reação das plantas ao déficit hídrico é a sua limitação na área foliar (TAIZ; ZEIGER, 1991).

As plantas geralmente estão dotadas de mecanismos de adaptação às condições de deficiência hídrica no solo. Os mecanismos que conferem à cultura maior estabilidade de produtividade em condições de deficiência hídrica são: a manutenção da absorção de água e a redução da perda de água por transpiração (GUIMARAES, 1996).

Guimarães (1992) verificou que genótipos de feijoeiro BAT 477 e carioca, adaptados às condições de deficiência hídrica, apresentaram maiores densidades radiculares nas camadas mais profundas, enquanto a linhagem RAB 96 apresentou alta densidade relativa na camada superficial onde há menor disponibilidade de água. O mesmo autor concluiu que isto implica em um gasto desnecessário de carboidratos em detrimento do crescimento radicular nas camadas mais profundas, onde existe maior disponibilidade de água. Certamente a eficiência radicular na absorção de água aumenta com a profundidade do solo. Isto provavelmente se deve à maior concentração de raízes novas nas camadas mais úmidas e profundas do solo (STONE et al., 1976).

Em condições normais, a deficiência hídrica é gradual e afeta em primeiro lugar, os processos mais sensíveis e depois os menos sensíveis. Os dois processos em conjunto originam a desorganização metabólica em cadeia (GUIMARAES, 1996). De acordo com Hsiao e Acevedo (1974), o crescimento celular é um dos processos mais sensíveis à deficiência hídrica, principalmente na fase de expansão celular (FERNÁNDEZ et al., 1996), pois a área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas, sendo que o seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta à deficiência hídrica. Sob condições de deficiência hídrica, o equilíbrio entre a produção de assimilados e a demanda para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é severamente afetado pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa (GERIK et al., 1996). Este é um fenômeno quantitativo que pode ser registrado medindo-se certas variáveis, como: comprimento, largura, diâmetro, acumulação de massa seca, número de nós ou entrenós, área foliar produzida, entre outras (KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009).

## **2.8 Fases críticas ao déficit hídrico.**

A deficiência hídrica tem efeito menos prejudicial na fase vegetativa em comparação a fase reprodutiva. Provavelmente a frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem um dos fatores mais limitantes da produção agrícola mundial.

Os efeitos do déficit hídrico iniciam-se quando a taxa de evapotranspiração supera a taxa de absorção de água pelas raízes e a sua transmissão para as partes aéreas das plantas. A deficiência hídrica está associada, portanto, a uma redução progressiva da água no solo, acompanhando a profundidade radicular (CONTIN, 2008). Assim, a deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água para as raízes (GUIMARAES et al., 2006).

A maioria das culturas possui períodos críticos, durante os quais a deficiência hídrica causa decréscimos na produção. Por isso é importante mencionar que o déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva é crítico à cultura em diferentes proporções, e estes períodos já estão bem determinados (MOREIRA et al., 1996; DOORENBOS; KASSAM, 1994). Na fase vegetativa de modo geral, este tem efeito indireto no potencial produtivo, devido à menor área foliar, e, conseqüentemente, à redução da parte aérea das plantas (CARVALHO, 2009). Já Kluthcouski e Oliveira (2009) observaram que a deficiência hídrica de (V2) a (V4) reduz o tamanho e o desenvolvimento da planta, e ainda verificaram que a deficiência hídrica somado aos outros, de (V1) até R5, interferem negativamente no potencial produtivo da cultura.

Várias pesquisas identificaram que as fases reprodutivas, os estádios de floração e enchimento de grãos são os mais sensíveis ao déficit hídrico (SHOUSE et al., 1981; FERREIRA et al., 1991; BRITO, 1993; GUIMARAES et al., 1996; ANDRADE, 1999; KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009). E ainda são os estádios em que o requerimento de água é maior, conforme os últimos autores.

A deficiência hídrica no período do pré-florescimento ao florescimento reduz o vingamento das flores e prolonga o ciclo do feijoeiro (KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009). No florescimento, reduz a altura da planta e o número de sementes por vagens (SILVA; RIBEIRO, 2009), em consequência do abortamento e da queda de flores, também ocorre redução do número de vagens por planta (GUIMARAES, 1988). Durante a floração e o enchimento de grãos, reduz a produtividade e o peso de sementes e acelera a maturidade do feijão (SINGH, 1995; ZLATEV; STOYANOV, 2005).

A deficiência hídrica durante a formação de vagens (R7), causa o abortamento dos óvulos, produzindo vagens chochas (KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009), devido à insuficiência de fotossintetização (GUIMARAES, 1996). Na fase de enchimento de vagens (R8), causa o abortamento de vagens jovens e a produção de vagens chochas nas pontas, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas e também reduz o ciclo da cultura. Na maturidade fisiológica (R9) reduz a massa de grãos (KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009).

Uma deficiência hídrica de 50% na fase vegetativa causa uma redução no rendimento de 10%, portanto se o mesmo déficit ocorrer na floração e durante o enchimento de vagens, têm-se reduções de 55 a 38% na produção respectivamente (CALVACHE et al., 1997).

Oliveira (1991) verificou como períodos críticos, o intervalo entre 30 a 60 dias após a emergência para ciclo de 90 dias, e de 35 a 65 dias para ciclo de 95 dias. Magalhães et al. (1979) concluíram que para obter um rendimento de ao menos 80% do rendimento potencial, não pode faltar água para a cultura no período que se estende desde antes do início da floração (quatro dias antes da plena floração) até a plena frutificação (18 dias após a plena floração).

Miorini (2012) verificou que a irrigação em apenas uma das fases (vegetativa, floração, enchimento ou maturação), tornou-se inviável para a cultura do feijoeiro, mas quando realizada em duas fases, obteve diferentes resultados. A combinação das fases vegetativa e floração irrigada foi a que menos afetou a produtividade de grãos kg ha<sup>-1</sup>, com uma redução de 3,5% em relação à parcela que foi irrigada em todas as fases (vegetativa, floração, enchimento e maturação).

## **2.9 Resposta do feijoeiro ao déficit hídrico**

Nóbrega et al. (2001) verificaram efeitos ocasionados pelo déficit hídrico em diferentes partes da planta, este reduz a eficiência de absorção de alguns nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, limitando a produtividade.

A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo Taiz e Zeiger (1991), consiste do decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas.

Rezende et al. (1981) relataram que plantas submetidas a altas tensões hídricas reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que promove uma redução no alongamento do caule e da folha. Para Babalola (1980), a translocação de foto assimilados para as raízes é comprometida em condições de deficiência hídrica, afetando diretamente o crescimento das plantas. Já para Leite et al. (1999), considerando que as folhas são os centros de produção da fotossíntese e que o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão, o estresse hídrico nesta cultura compromete tal exportação, contribuindo para os decréscimos de seu crescimento e produção.

De acordo com Karamanos et al. (1982), a ocorrência de estresse hídrico durante a fase vegetativa inicial, provoca redução do crescimento e da superfície fotossintética, ocorrendo conseqüentemente, menor número de flores, de vagens por planta e de grãos por vagens. Carvalho et al. (2000), por sua vez, constataram queda na produção de 32 a 100%, relativos aos níveis de 80 e 20% de água consumida, respectivamente, em relação à testemunha (reposição de 100% de água consumida). Ritchie (1981) afirma que além de afetar a expansão foliar, a deficiência hídrica do solo pode causar o enrolamento e a abscisão, ou morte parcial das folhas, diminuição da brotação, polinização, translocação e enchimento de grãos, bem como o abortamento das vagens.

A água, além de ser o principal constituinte do protoplasma, participa diretamente de inúmeras reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. A redução da absorção de água e a conseqüente desidratação das células comprometem os processos fisiológicos afetando, assim, todos os componentes de crescimento (PÁEZ et al.,1995). A perda de água acentuada reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em conseqüência, com reduzidas áreas foliares.

## **2.10 Irrigação no feijoeiro**

O potencial de irrigação em terras altas é estimado em 14,6 milhões de hectares, sendo que, atualmente, estão sendo explorados aproximadamente 4,5 milhões de hectares. Esses dados somados às áreas potenciais atingem um total de 29,6 milhões de hectares, representando, aproximadamente, 3,5% do território nacional, que necessita de

uma quantidade para irrigação em torno de 33.777.297.000 m<sup>3</sup>/ano de água (EMBRAPA, 2010).

Da área cultivada no mundo, 1/6 é irrigada e responde por 1/3 da produção global de alimentos. Esse dado é bastante significativo, considerando que atualmente 840 milhões de pessoas têm dificuldades de encontrar alimentos, e que num futuro próximo (2025), serão mais de 2 bilhões, segundo recente publicação da Organização das Nações Unidas (ONU). Em contrapartida, ao nível global, a agricultura irrigada demanda em média 72% dos recursos hídricos disponíveis, enquanto os setores industriais e domésticos demandam em média 19 e 9%, respectivamente.

A exigência hídrica do feijoeiro é menor na fase vegetativa de um valor mínimo na germinação, e este valor aumenta principalmente no início da fase reprodutiva, florescimento e formação das vagens, e na maturação esse consumo diminui.

O rendimento do feijão é bastante afetado pela condição hídrica do solo. Em situações tanto de deficiência quanto de excesso de água, nos diferentes estádios da cultura, a produtividade da cultura é reduzida em diferentes proporções. Os efeitos do déficit hídrico são iniciados quando a taxa de evapotranspiração é maior do que a taxa de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas das plantas.

Na irrigação do feijoeiro são fundamentais o manejo e a distribuição de água, uma vez que a lâmina de água aplicada deve atender a evapotranspiração local da cultura, no momento certo e em quantidade adequada. Em geral, a aplicação de água se faz em intervalos de 5 a 10 dias, dependendo da capacidade de armazenamento de água no solo, do estádio da cultura e da evapotranspiração.

O monitoramento do consumo de água pelo feijoeiro pode ser feito por várias metodologias, determinando-se também o kc em cada fase do desenvolvimento da cultura. Considera-se a qualidade do equipamento de irrigação, a época de semeadura, o sistema de semeadura, o manejo da água de irrigação, o momento da irrigação, dentre outros fatores.

De todos os recursos de que a planta necessita para crescer e produzir, a água é o mais importante, sendo, portanto, o que mais limita a produtividade agrícola. Dessa forma a deficiência hídrica, uma situação comum à produção de muitas

culturas e que pode acontecer ao longo do ciclo, traz impacto negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

O ciclo vegetativo do feijoeiro varia de 75 a 110 dias e, no período vegetativo, a planta deve ser abastecida de nutrientes e água e ter boa sanidade para que a transformação em grãos seja eficiente e atinja rendimentos de até 4 t ha<sup>-1</sup> com alto valor nutricional, especialmente em proteína (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2009).

A maior produtividade de grãos na cultura do feijoeiro é alcançada com lâminas de irrigação aplicadas numa faixa de 300 a 600 mm de água durante o ciclo da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979; FRIZONE, 1986; SILVEIRA; MOREIRA, 1990; QUEIROZ et al., 1996; MALUF; CAIAFO, 1999; SILVEIRA; STONE, 2004; PAVANI et al., 2008).

Para um correto manejo da irrigação, têm-se dois aspectos intrínsecos a serem considerados, o primeiro é o das condições naturais da fonte supridora de água, pelo custo elevado de captação e distribuição. Na maioria dos projetos de irrigação a disponibilidade de água tende a ser limitada, portanto, é essencial sua otimização. O segundo é baseado na resposta da cultura à lâmina de água aplicada. Lâminas excessivas além de onerarem o custo de produção, também são prejudiciais por reduzirem o rendimento da cultura. Por outro lado, lâminas insuficientes expõem a cultura a condições de deficiência hídrica, reduzindo seu potencial produtivo. Desta forma, o conhecimento das respostas das culturas a diferentes níveis de manejo de irrigação, permite o manejo racional do sistema, fornecendo água às plantas de forma a maximizar o seu rendimento e o melhor aproveitamento de água.

Rovira (1975) concluiu que a faixa de solo com dominância de absorção de nutrientes pelo feijoeiro é localizada entre 10 e 20 cm de profundidade. Em área irrigada 70% das raízes do feijoeiro concentram-se nos primeiros 20 cm do solo, e cerca de 90% delas situam-se na camada de 0 a 40 cm (STONE; PEREIRA, 1994). Conseqüentemente, a planta explora essencialmente a camada superficial do solo, sendo, por isso, muito sensível à falta de umidade.

As lavouras irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos, e em conseqüência, por uma intensa utilização do solo. Assim, deve-se dar atenção especial às culturas utilizadas, à água da irrigação e ao método de irrigação, para

evitar a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que podem afetar a produtividade das culturas (MELO, 2006).

O controle de irrigação associado aos sistemas de manejo mais eficientes no uso da água levam a resultados de produção com maior economia deste recurso.

Dentre os sistemas de irrigação utilizados na cultura do feijoeiro, os mais comuns são: pivô central e aspersão convencional.

A irrigação por gotejamento compreende o sistema de irrigação em que a água é aplicada diretamente ao solo e próximo do sistema radicular em pequenas intensidades (um a dez litros por hora). Este método apresenta uma eficiência em torno de 90% e suas principais vantagens são: pouca mão de obra e maior eficiência na aplicação de fertilizantes e uso da água.

## **2.11 Manejo da Irrigação**

### **2.11.1 Método do Tanque Classe A**

O tanque evaporimétrico Classe A é utilizado no manejo da agricultura irrigada por muitos agricultores, principalmente por apresentar custo relativamente baixo e facilidade de operação (PEIXOTO et al., 2012), sendo este instalado próximo da cultura a ser irrigada. O uso deste equipamento permite medir a evaporação de uma superfície de água livre associada aos efeitos integrados dos fatores climáticos envolvidos, pois a evaporação da água é influenciada por diversos fatores do ambiente como: temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, nebulosidade, precipitação, localização geográfica do local e período do dia.

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), o tanque Classe A é utilizado mediante o ajuste adequado de uma correção, traduzida por um coeficiente denominado de  $K_p$  (coeficiente de tanque), cuja determinação é baseada nas informações da velocidade do vento, umidade relativa, extensão e condição da área de bordadura ao redor do tanque (SENTELHAS; FOLEGATTI, 2003).

Ao utilizar o tanque Classe A no controle do manejo da irrigação, deve-se instalar também um pluviômetro, tendo como objetivo medir o volume e a ocorrência das precipitações pluviométricas, permitindo realizar uma relação entre entrada e saída de água da área considerada, que por sua vez, é determinante no controle da irrigação.

As leituras da evaporação do tanque Classe A, bem como de pluviômetros, anemômetros e psicrômetros, foram realizadas diariamente, geralmente no período da manhã, de preferência em horário fixo, usualmente às 9 horas.

A ocorrência da velocidade e direção do vento é obtida utilizando anemômetros a 2 metros de altura do solo, sendo medida a velocidade em km por dia enquanto a umidade relativa do ar é obtida utilizando psicrômetros em (%).

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em mm dia<sup>-1</sup> pelo método do tanque Classe A, pode ser obtida pela equação (01):

$$ET_{o_{TCA}} = K_p \times ECA \quad (01)$$

Em que: ECA = evaporação da água observada no Tanque Classe A (mm dia<sup>-1</sup>); K<sub>p</sub> é o coeficiente do tanque determinado (adimensional).

A estimativa do valor diário de K<sub>p</sub> pode ser obtida pelo emprego de equações ou tabelas. Abordaremos três equações. A principal equação de estimativa recomendada é:

a) FAO/56 (ALLEN *et al.*, 1998):

$$K_p = 0,108 - 0,0286U + 0,0422 \ln(F) + 0,1134 \ln(F) - 0,0006331 [\ln(F)]^2 \ln(H) \quad (02)$$

em que: F = distância (tamanho) da área de bordadura (m); U = velocidade média diária do vento a 2 m altura (m s<sup>-1</sup>); H = umidade relativa média diária (%).

b) SNYDER (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 (U) + 0,0045 (UR) \dots\dots\dots(03)$$

em que:  $F$  = distância (tamanho) da área de bordadura (m);  $U$  = velocidade média diária do vento a 2 m altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $H$  = umidade relativa média diária (%).

c) CUENCA (1989)

$$K_p = 0,475 - 2,4 \times 10^{-4} U + 5,16 \times 10^{-3} H + 1,18 \times 10^{-3} F - 1,6 \times 10^{-5} H^2 - 1,01 \times 10^{-6} F^2 - 8,0 \times 10^{-9} H^2 U - 1,0 \times 10^{-8} H^2 F \quad (04)$$

em que:  $F$  = distância (tamanho) da área de bordadura (m);  $U$  = velocidade média diária do vento a 2 m altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $H$  = umidade relativa média diária (%).

A evapotranspiração da cultura é a soma da transpiração da cultura e da evaporação da água da superfície do solo. A partir da cobertura completa do solo pela cultura, a evaporação torna-se desprezível, portanto, somente no período do plantio e início do crescimento vegetativo, é que a evaporação do solo torna-se considerável, principalmente se a superfície estiver exposta e com umidade, em decorrência de irrigações e precipitações frequentes.

A evaporação e a transpiração são geradas por diferentes processos físicos, no entanto, mesmo no período de crescimento vegetativo, a evaporação do solo forma parte da  $ET_c$  e, simplificada, o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) relaciona a  $ET_o$  com a evaporação do solo e também exprime o efeito das características da cultura sobre a sua necessidade de água.

Os valores dos coeficientes de cultivo traduzem a evapotranspiração da cultura livre de doenças, com desenvolvimento em um campo relativamente extenso, sem restrições hídricas e nutricionais, e que atinge o seu pleno potencial produtivo. Assim, a relação entre  $ET_c$  e  $ET_o$  é dada por:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (05)$$

em que:  $ET_c$  = evapotranspiração potencial da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $K_c$  = coeficiente de cultivo (adimensional).

## 2.12 Coeficiente da cultura ( $K_c$ )

Os valores de Kc variam com as fases fenológicas e entre espécies ou cultivares, isto, em função do índice de área foliar.

Em culturas anuais, à medida que a planta se desenvolve, o IAF cresce até atingir um valor máximo decrescendo posteriormente devido ao período de senescência das folhas. O estágio I representa o estabelecimento da cultura (semeadura - germinação), em que a cobertura do solo é inferior a 10%; o estágio II caracteriza o desenvolvimento vegetativo (germinação - florescimento), com cobertura do solo variando entre 10 e 80%; o estágio III é o período reprodutivo (florescimento - final do enchimento dos grãos), caracterizado pela cobertura plena do solo; e o estágio IV corresponde ao início da descoloração das folhas até a plena maturação ou ponto de colheita.

O coeficiente da cultura (Kc) é a relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo). Esse coeficiente tende a ser mínimo na fase do desenvolvimento vegetativo da cultura e máximo na fase de floração e enchimento dos grãos (JUNQUEIRA et al., 2004). Na maioria das vezes, esse coeficiente apresenta correlação positiva com o índice de área foliar (IAF).

Para a região de Jaboticabal, SP, Junqueira et al. (2004) encontraram uma variação no Kc entre 0,5 a 1,5 para o feijoeiro durante todo o ciclo de desenvolvimento.

Na região de Campinas, SP, Bizari et al. (2009) obtiveram uma variação no Kc de 0,79 a 1,13 no ciclo do feijoeiro. Estes valores de Kc foram obtidos para o sistema plantio direto, e estão apresentados na Tabela 2, sendo os dias após a emergência de acordo com o estágio de desenvolvimento do feijoeiro.

**TABELA 2.** Valores médios de coeficientes de cultura (Kc) no sistema semeadura direta, para os estágios da cultura do feijoeiro variedade carioca precoce.

<b>Dias após emergência</b>	<b>Estádios</b>	<b>Kc</b>
12 a 35	Desenvolvimento vegetativo	0,79
36 a 56	Florescimento	0,88
57 a 70	Enchimento de grãos	1,11
71 a 79	Maturação fisiológica	1,13

Fonte: Bizari et al., 2009.

Os ciclos do feijoeiro (precoce, médio ou tardio), são definidos em função do número de dias que cada cultivar apresenta, pois essas características possibilitam tanto a época de plantio quanto a de colheita. Assim, podemos quantificar a duração do ciclo e as porcentagens correspondentes para as quatro fases do feijoeiro, conforme é visualizado na Tabela 3, e, em sequência, determinar o valor de  $K_c$  para cada fase em função da Tabela 4.

**TABELA 3.** Faixas de duração do ciclo (em dias) e a duração em dias para cada fase (1, 2, 3,4) separadamente, tendo assim as porcentagens dessas fases na cultura do feijoeiro.

<b>Cultura</b>	<b>Duração total do ciclo (dias)</b>	<b>% de duração de cada fase (1-2-3-4)</b>
Feijão seco	95 a 100	16-25-40-19

Para o cálculo de percentual de duração de cada fase adotou-se: para a fase 1, 20% da duração ciclo total; fase 2, com 35%; fase 3, com 25%; e 20% para a fase 4. (Fonte: Doorenbos; Pruitt, 1977).

**TABELA 4.** Coeficientes de cultivo em diferentes fases de desenvolvimento e alturas máximas de plantas, cultivadas sob condição padrão de  $UR_{\min} = 45\%$  e  $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$ .

<b>Cultura</b>	<b><math>K_{c_{\text{inicial}}}</math></b>	<b><math>K_{c_{\text{médio}}}</math></b>	<b><math>K_{c_{\text{final}}}</math></b>	<b>Altura máxima da cultura – h (m)</b>
Feijão	0,4	1,15	0,35	0,4

(Adaptado de: Allen et al., 1998).

O valor de  $K_c$  varia normalmente de 0 a 1,2 e seu valor pode ser estimado em função da cobertura do terreno, pela seguinte relação empírica da equação 06. Por exemplo, se uma cultura mais o mato das entrelinhas cobrirem 90% do terreno, o  $K_c$  será igual a 1,08 ( $K_c = 1,2 * (90/100) = 1,08$ ). Essa equação não se aplica a uma superfície gramada onde apresenta 100% de cobertura do terreno, nesse caso,  $K_c = 1$ .

$$K_c = 1,20 * (\% \text{ Cobertura do terreno}/100) \quad (06)$$

Esses valores dos coeficientes de cultivo do estágio 1 ( $K_{c_{\text{inicial}}}$ ) podem variar significativamente, pois a variação da demanda evaporativa da atmosfera indica que o solo tenderá a secar mais rápido entre eventos de aplicação de água, e o valor do ( $K_{c_{\text{inicial}}}$ ) será menor num determinado período. Assim, para facilitar a escolha do valor

de ( $K_{C_{inicial}}$ ) pode-se aplicar a equação 07. Cabe ressaltar que o seu emprego é condicionado apenas à fase 1 (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2001).

$$K_{C_{ini}} = 1,41 - 0,098 * ETo - 0,01 * TR + 0,004 * ETo^2 + 0,003 * Tr^2 + 0,0002 * ETo * Tr \quad (07)$$

Em que: Tr = frequência de irrigação ou turno de rega na fase 1 (dias,  $1 \leq Ti \leq 20$ ).

Segundo Allen *et al.* (1998), para os valores de ( $K_{C_{médio}}$ ) e ( $K_{C_{final}}$ ), quando a umidade relativa do ar ( $UR_{min}$ ) for diferente de 45% ou a velocidade do vento ( $u_2$ ) for maior ou menor que  $2 \text{ m s}^{-1}$ , é preciso aplicar a seguinte equação 08:

$$K_C = K_{C_{TAB}} + [0,04 * (u_2 - 2) - 0,004 * (UR_{MN} - 45)] * (h/3)^{0,3} \quad (08)$$

Em que: h = altura da planta durante as fases 2 e 3 (para o  $K_{C_{médio}}$ ) ou a fase 4 (para o  $K_{C_{final}}$ ).

Para aplicações na estimativa do  $K_{C_{final}}$ , recomenda-se a aplicação da equação 08 somente quando os valores tabulados excederem a 0,45. A equação reduz os valores de  $K_{C_{final}}$  com o aumento da  $UR_{min}$ , que é característica de culturas que são colhidas verdes ou antes que se tornem completamente secas. Nenhum ajuste é necessário quando  $K_{C_{final}} < 0,45$ .

### **3 CAPÍTULO 1: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTIVAR IAC- ALVORADA EM SEMEADURA DIRETA, SOB CONDIÇÃO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT**

**3.1 RESUMO:** O crescimento das plantas é um dos processos fisiológicos mais sensíveis a deficiência hídrica. A irregularidade na distribuição das precipitações pluviométricas é a principal responsável pelas oscilações na produtividade do feijoeiro no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes níveis de irrigação combinados em dois períodos do ciclo do feijoeiro, cv. IAC Alvorada, nas fases vegetativa e reprodutiva e os componentes da produção. A pesquisa foi desenvolvida durante dois anos agrícolas, num NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, textura argilosa na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 16 tratamentos e uma testemunha com quatro repetições. Os tratamentos representaram as combinações de 4 níveis de irrigação, 100%, 80, 60 e 40% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), aplicados em duas etapas do ciclo da cultura, sendo a fase I - vegetativa, tendo início após a emergência até o florescimento e a fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos. Cada parcela tinha 7,2 m<sup>2</sup> nas dimensões de 1,8 m x 4 m. As irrigações foram realizadas visando elevar o teor de água do solo à capacidade de campo, com a ET<sub>c</sub> obtida a partir do tanque Classe A. As variáveis avaliadas foram: índice de área foliar, número de nós e altura de plantas. A redução da lâmina de água aplicada nas fases vegetativa e reprodutiva, ou em uma delas, interferiu significativamente no índice de área foliar e altura de plantas da cv. IAC- Alvorada. A

altura de plantas foi o componente mais sensível ao déficit hídrico. Concluiu-se que combinações diferenciadas de lâminas de irrigação proporcionaram diferentes resultados dos parâmetros de desenvolvimento do feijoeiro.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*, análise de crescimento, componentes da produção, lâmina de irrigação.

### GROWTH AND PRODUCTION OF FARMING IAC-DAWN IN DIRECT SEEDING, ON CONDITION WITH IRRIGATION DEFICIT

**3.2 ABSTRACT:** The growth of the plants is one of the more sensitive physiological processes to water stress. The irregularity in the distribution of rainfall is the main responsible for the oscillations in the productivity of bean in Brazil. The aim of this study was to evaluate different irrigation levels combined in two periods of the cycle of bean plants, cv. IAC Alvorada, in the vegetative and reproductive stages and production components. The research was developed during two agricultural years, in a dystroferic red nitosol (clay texture) in Fazenda Experimental Lageado of Faculdade de Ciências Agronômicas. The experimental design utilized was that of randomized blocks with 16 treatments and a control with four replications. The factors are the initial and reproductive phase, each with 4 levels of water requirements 100%, 80, 60 and 40% of crop evapotranspiration (ETc), applied in two stages of the crop cycle, being the phase I - vegetative, beginning after the germination until flowering and phase II, from flowering to physiological maturity of the grains. Each plot was 7.2 m<sup>2</sup> in the dimensions of 1.8 mx 4 m. The irrigation was performed to increase the soil moisture to the field capacity, with the ETc obtained from the Class A pan. The variables evaluated were: leaf area index, number of nodes and plant height. The reduction of applied irrigation depth in the vegetative and reproductive stages, or one of them, interfered significantly in leaf area index and plant height of cv. IAC Alvorada. Plant height was the most sensitive component to water deficit. It was concluded that combinations of different irrigation regimes provided different results of the parameters in the bean development.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*, growth analysis, production components, water depth.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão comum, atingindo uma produção de 3,79 milhões de toneladas na safra 2010/2011 (CONAB, 2011). Os principais estados produtores são Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia, os quais respondem por mais de 65% da produção nacional. Portanto, é uma das culturas de elevada relevância socioeconômica, e apresenta excelente fonte protéica, bem como de carboidratos e ferro (BORÉN; CARNEIRO, 2008).

O feijoeiro destaca-se entre as principais culturas anuais em adaptação ao sistema de semeadura direta e tem sido a mais importante, em área cultivada, nos sistemas irrigados por aspersão, no período de entressafra, com semeadura de maio a junho (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003).

Cada vez mais tem-se a necessidade de se conhecer a cultivar, o sistema de plantio, o método de irrigação, bem como o manejo a ser utilizado, de modo que a água fique disponível às plantas no momento certo e em quantidades adequadas às fases fenológicas durante o ciclo da cultura. Torna-se importante o monitoramento do balanço hídrico, com o intuito de aperfeiçoar, visto que a água é um bem precioso e atualmente é de uso limitado, ocasionando aos profissionais, decisões que evidenciam a maximização da produção.

Em regiões em que, durante uma parte do ano, as condições de temperatura e de radiação solar são suficientes para a produção agrícola, mas existe um déficit hídrico, como nas regiões norte, nordeste e noroeste do Estado de São Paulo, a adoção de técnicas conjugadas de plantio direto e de irrigação tem se mostrado promissora, sob o ponto de vista de melhor explorar a terra e também sob o aspecto conservacionista, uma vez que, segundo Stone & Moreira (2000; 2001), o plantio direto com adequada cobertura morta propicia maior economia de água em comparação com os demais sistemas de preparo do solo e, no decorrer dos anos, melhora as características físicas do solo.

O plantio de inverno é conduzido em regiões onde o inverno é ameno, sem ocorrência de geadas, como acontece em algumas áreas do estado de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Espírito Santo. Portanto, nessa época, nem sempre as chuvas são

suficientes em todas as fases do desenvolvimento da cultura, principalmente por apresentar irregularidade de precipitações pluviométricas, podendo ocorrer, neste caso, déficit ou excesso de água, sendo necessário, portanto, complementar o fornecimento de água através da irrigação.

De acordo com SENTELHAS (2001), a irrigação é a atividade agrícola cujo objetivo é o fornecimento de água às culturas, de modo a atender suas exigências hídricas nas diferentes fases de seu desenvolvimento, sendo que tais exigências irão depender fundamentalmente das condições climáticas vigentes e da disponibilidade de água no solo e, para BRANDÃO et al. (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos de tal magnitude que, atualmente, problemas sociais e ambientais de grande relevância advêm de aspectos relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Nas condições de lavouras brasileiras, o plantio do feijoeiro é realizado nos sistemas solteiro, um dos mais utilizados atualmente, ou consorciado com outras culturas, principalmente o feijão com milho. Assim, o plantio ocorre em diferentes épocas, as quais são denominadas de primeira safra (agosto a outubro), segunda safra (janeiro a março), terceira safra (abril a junho) para as condições do estado de São Paulo.

O feijoeiro é sensível tanto ao excesso quanto à deficiência hídrica de água no solo (SILVEIRA; STONE, 2004) e, de acordo com Guimarães (1991), em sementes, a deficiência hídrica reduz a germinação.

A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, conseqüentemente, com menores áreas foliares. A deficiência hídrica pode paralisar o crescimento foliar, tendo efeito indireto no rendimento de grãos pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa (FANCELLI; DOURADO NETO, 1991; GUIMARÃES, 1996). Esta não limita apenas o tamanho das folhas, mas também o número de folhas, pelo fato de diminuir o número e a taxa de crescimento dos ramos (ZIEGER, 2009; SAUSEN, 2007). A deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes (GUIMARAES et al., 2006), pois a maneira como a deficiência hídrica se manifesta na planta do feijoeiro é bastante complexa, afetando praticamente todas as etapas de crescimento, sendo que, os prejuízos causados dependem da duração, do tipo de estresse, da severidade e do estágio de

desenvolvimento da planta em que ocorre. Assim, a tolerância à deficiência hídrica é uma característica importante em qualquer cultivo, principalmente no feijoeiro, tornando possível a sua produção em extensas áreas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento do feijoeiro em diferentes níveis de irrigação deficitária, combinados em duas fases do ciclo da cultura.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido pela primeira vez em 2010 e repetido em 2011, em sistema de semeadura direta durante o inverno, na fazenda Lageado, numa área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP, *Campus* de Botucatu, na região centro oeste do Estado de São Paulo que se encontra a 22°51' de latitude sul, 48°26' de longitude oeste de Greenwich, e com altitude de 786 metros.

De acordo com Cepagri (2010), pela classificação de Koeppen, o tipo climático é o Cwa, caracterizado como clima temperado quente mesotérmico com chuvas no verão e seca no inverno. O período seco compreende os meses de abril a agosto, e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com uma pluviosidade total anual média de 1.314 mm, e temperatura média mensal de 19,4°C, sendo a temperatura média diária do mês mais frio julho de 17,1°C e a do mês mais quente fevereiro de 23°C (CUNHA et al., 1999; CUNHA; MARTINS, 2009).

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). As características químicas e físicas foram avaliadas quatro meses anteriormente à instalação do experimento no campo, a partir de amostras obtidas de vinte e quatro trincheiras. As coletas de solo foram obtidas nas camadas de 0 -10 e 10 a 20 cm de profundidade. Posteriormente, foram encaminhadas para caracterização química e física do solo. Os resultados das análises química e física do solo e granulométrica, foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de Raji et al. (2001), enquanto as frações granulométricas do solo (areia total, silte e argila) e a densidade do solo foram realizadas pela metodologia da

EMBRAPA (1997). A densidade do solo foi determinada no laboratório do Departamento de Engenharia Rural pelo método do torrão parafinado. As análises citadas foram efetuadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo. As coletas dos torrões foram realizadas com o auxílio de um enxadão, e, durante o procedimento, procurou-se evitar a compactação do mesmo.

Os valores das características químicas do solo na camada de 0-0 a 0,2 m no primeiro ano (2010) antes da instalação e, no segundo ano (2011) antes da instalação do ensaio, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**TABELA 1.** Características químicas do solo, antes da semeadura do feijão, primeiro ciclo, referente ao ano de 2010.

Camadas (m)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O	Al <sup>3</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	g.dm <sup>-3</sup>		-----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
0 - 0,10	4,6	25	1	35	2,3	15	8	25	60	41
0,1 - 0,20	4,8	17	1	25	1,1	11	6	18	43	42
Camadas	P <sub>resina</sub>	Enxofre	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco			
-----mg.dm <sup>-3</sup> -----										
0 - 0,10	4,0	15	0,17	12,3	44	16,2	1,2			
0,1 - 0,20	3,0	12	0,15	10,8	33	11,5	1,1			

**TABELA 2.** Características químicas do solo, antes da semeadura do feijão, primeiro ciclo, referente ao ano de 2011.

Camadas (m)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O	Al <sup>3</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	g.dm <sup>-3</sup>		-----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							
0 - 0,10	5,1	26	-	38	1,9	37	18	57	95	60
0,1 - 0,20	4,6	22	-	50	1,9	22	11	35	85	42
Camadas	P <sub>resina</sub>	Enxofre	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco			
-----mg.dm <sup>-3</sup> -----										
0 - 0,10	28	13	0,28	11,9	44	17	1,3			
0,1 - 0,20	21	12	0,29	11,9	43	16	1,1			

No ano de 2011, obteve-se a análise granulométrica do solo para os teores de areia, silte e argila, em (%), conforme observado na Tabela 3. Todavia, as análises granulométricas foram realizadas somente no ano de 2010.

**TABELA 3.** Análise granulométrica do solo na camada de 0 a 0,3 m referente ao ano de 2010.

<b>Camadas</b> (m)	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
0 - 0,15	44,02	42,67	13,31
0,15 - 0,30	40,61	46,27	13,11

No ano de 2010 e 2011, obteve-se a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, para as camadas de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 4.

**TABELA 4.** Densidade do solo nas camadas 0 a 0,30m, para os anos de 2010 e 2011.

<b>Ano</b>	<b>Camadas</b> (m)	<b>Densidade do solo</b>	
		-----Kg m <sup>-3</sup> -----	
2010	0 - 0,15	1,35	1,38
2011	0,15 - 0,30	1,39	1,41

A calagem do solo no primeiro e segundo anos de experimento foi realizada 90 dias antes do plantio e constou de uma necessidade de 1,6 e 1,9 t, respectivamente, utilizando-se calcário dolomítico, com PRNT de 90%, com o objetivo de elevar a 70% o índice de saturação por bases (V%) ao nível adequado à planta, além de neutralizar os efeitos nocivos de alumínio. Entretanto, o calcário foi distribuído manualmente na superfície do solo em toda a área experimental.

As sementes foram tratadas utilizando-se fungicida e inseticida sistêmico, conforme as dosagens recomendadas pelos seus fabricantes: de 300 mL para 100 kg de sementes de feijão.

A semeadura direta da cv. IAC-Alvorada foi realizada no dia 09/04/2010 e 10/05/2011, respectivamente, no espaçamento de 0,45 entre linhas e com 13 sementes por metro linear, de modo a obter uma densidade final de 200.000 a 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se semeadora-adubadora, modelo exacta air JM 2980 PD Jumil, seguindo a curva de nível do terreno. A adubação de plantio foi baseada na análise química do solo, sendo adicionados 321 e 145 kg ha<sup>-1</sup> de adubo granulado na formulação 8-28-16+zinco e 70 kg de N aplicado em cobertura e dividido em duas aplicações, para uma produtividade esperada

de 2,5 a 3,5 t. Utilizou-se sulfato de amônio para o primeiro ciclo e uréia para o segundo ciclo.

O controle das plantas daninhas que surgiram na área foi efetuado por meio de aplicações do herbicida fluazifop-p-butyl + fomesafen, cujas dosagens foram de 0,8 L ha<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos culturais e fitossanitários foram efetuados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão, quando necessário.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, sendo 4 blocos, com 17 tratamentos em esquema fatorial (4x4)+1 testemunha, conforme apresentado na Tabela 5.

**TABELA 5.** Descrição dos tratamentos com as combinações de lâminas de irrigação aplicadas em duas fases, sendo estas com 40%, 60%, 80% e 100% da Etc, durante o ciclo do feijoeiro nas fases I - Emergência ao pleno florescimento e Fase II - Florescimento a maturação.

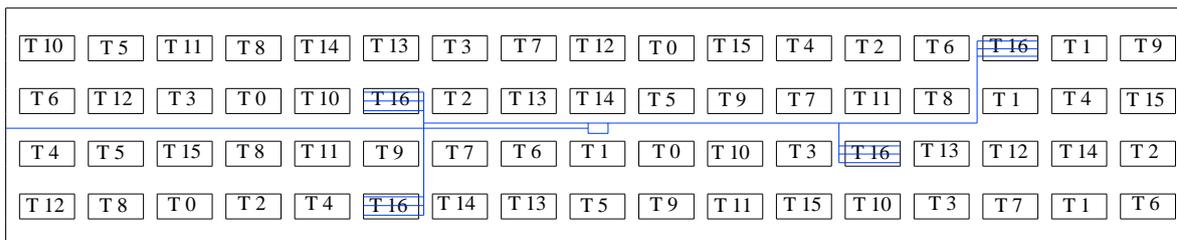
<b>Tratamentos</b>	<b>Emergência ao florescimento: Fase - I</b>	<b>Florescimento a maturação: fase - II</b>
T01	40% da ETc	40% da ETc
T02	40%	60%
T03	40%	80%
T04	40%	100%
T05	60%	40%
T06	60%	60%
T07	60%	80%
T08	60%	100%
T09	80%	40%
T10	80%	60%
T11	80%	80%
T12	80%	100%
T13	100%	40%
T14	100%	60%
T15	100%	80%
T16	100%	100%
T0	-	-

Para compor os tratamentos, variou-se a lâmina de irrigação e o período de aplicação. Os níveis de irrigação foram quatro, a saber: 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura. O ciclo do feijoeiro foi dividido em duas fases: fase I, vegetativa, tendo início após

a emergência até o florescimento e fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos.

Nos experimentos, cada parcela experimental, com uma área total de 7,2 m<sup>2</sup> (4 m x 1,8 m), foi constituída de quatro linhas de feijão, com três linhas laterais de irrigação nas entrelinhas do feijoeiro.

A distribuição das parcelas na área experimental está apresentada na Figura 1.



**FIGURA 1.** Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo.

O espaçamento entre blocos foi de 2 m, enquanto entres as parcelas de 1,5 m. Para efeito de avaliação, as linhas externas de cada parcela foram consideradas como bordadura, e ainda considerou-se como bordadura, um metro somando as duas extremidades de cada parcela.

Antecedendo a semeadura até o início da diferenciação dos tratamentos, foram feitas irrigações em todo o experimento, utilizando o método de aspersão convencional. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas para que o solo atingisse um índice de umidade que favorecesse a emergência e o estabelecimento da cultura. A diferenciação dos tratamentos quanto à irrigação, teve início ao nono dia após a semeadura. A partir desta data, a irrigação foi realizada utilizando-se o sistema de gotejamento de maneira diferenciada, conforme os tratamentos.

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, utilizando-se mangueiras gotejadoras com espessura da parede de 625 micra, possuindo um gotejador labirinto tipo plano, espaçados de 20 cm entre si, com vazão de 7,5 L/h/m na pressão de 100 kPa e expoente da equação de vazão do emissor (x) igual a 0,461. Optou-se pelo sistema de gotejamento porque este apresenta maior uniformidade, e, conseqüentemente melhor

controle d'água aplicada em cada parcela, além de permitir parcelas experimentais de menor tamanho e próximas entre si, o que não seria possível com aspersor convencional.

As linhas laterais foram distribuídas no espaçamento de 0,45 m entre as linhas do feijoeiro, as quais formavam uma faixa contínua molhada na área útil da parcela.

O bombeamento de água foi realizado com um conjunto de moto-bomba de 1 cv, a partir de um reservatório de 6.000 litros, e, acoplados ao sistema de irrigação, registros e um filtro de disco e manômetros.

A capacidade de armazenamento de água do solo foi de 12,6 mm para uma profundidade efetiva de solo de 30 cm. Nas condições do experimento no campo, quando se atingia o momento de irrigar, eram necessários 50 minutos de irrigação para atingir a capacidade de campo, considerando a eficiência do sistema de 90% e a profundidade efetiva do feijoeiro a 0,3 m.

O manejo das irrigações foi baseado no cálculo da evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ) a partir de dados de evaporação do tanque Classe A, situado na Estação Agroclimatologia da FCA-UNESP, a cerca de 150 m de distância do local do experimento e corrigido pelo coeficiente de correção ( $K_p$ ) conforme (Allen *et al.*, 1998), equação 1.

$$E_{To_{TCA}} = K_p \times ECA \dots\dots\dots(01)$$

Em que:  $K_p = 0,108 - 0,0286 U + 0,0422 \ln(F) + 0,1134 \ln(F) - 0,0006331 [\ln(F)]^2 \ln(H)$ ;

F - distância da área de bordadura (10 m); U - velocidade do vento a 2 m altura ( $\text{km d}^{-1}$ );

UR - umidade relativa média diária (%).

Os valores de  $K_c$  utilizados nos estádios de crescimento e desenvolvimento das plantas foram utilizados conforme (Allen *et al.*, 1998) (Tabela 6).

**TABELA 6.** Coeficientes de cultivo em diferentes fases de desenvolvimento e alturas máximas de plantas, cultivadas sob condição padrão de  $UR_{\min} = 45\%$  e  $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$ .

Cultura	$K_{c_{inicial}}$	$K_{c_{médio}}$	$K_{c_{final}}$	Altura máxima da cultura – h (m)
Feijão	0,4	1,15	0,35	0,4

(Adaptado de: Allen *et al.*, 1998).

O tratamento T<sub>16</sub> foi mantido como referencial sem restrição de água, tanto na fase inicial como na fase reprodutiva. Com as combinações os demais tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II), além disso, um tratamento não foi irrigado.

A primeira fase (I) teve início quando a planta encontrava no estágio V<sub>2</sub> (22 DAE) ao florescimento (40 DAE), num período médio de 18 dias. A segunda fase (II) teve início no florescimento indo até a maturação fisiológica dos grãos (40 a 60 DAE). A testemunha não foi irrigada em nenhuma das fases analisadas.

No campo, a lâmina de água aplicada em cada parcela foi controlada em função do tempo pela vazão dos emissores de cada parcela. Com registros instalados em cada tratamento, e com um cronômetro, determinou-se diariamente o tempo de irrigação para a parcela referência, e, posteriormente, obteve-se o tempo necessário, correspondente às lâminas com reduções de 80%, 60% e 20%, referentes às fases I e II.

O tratamento T<sub>16</sub> foi mantido como referencial sem restrição de água, tanto na fase inicial como na fase reprodutiva. Com as combinações, os demais tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II), além disso, um tratamento não foi irrigado.

A primeira fase (I) teve início quando a planta encontrava-se no estágio V<sub>2</sub> (22 DAE) ao florescimento (40 DAE), num período médio de 18 dias. A segunda fase (II) teve início no florescimento indo até a maturação fisiológica dos grãos (40 a 60 DAE). A testemunha não foi irrigada em nenhuma das fases analisadas.

Nos estádios vegetativos, de florescimento e de enchimento de grãos, foram amostradas três plantas, ao acaso, da área útil de cada parcela com a finalidade de estimar o efeito do estresse hídrico sobre o crescimento da planta, avaliando-se os parâmetros de crescimento, tais como: número de nós no caule principal (NN); altura média de planta (AP); e índice de área foliar (IAF).

As plantas amostradas foram cortadas ao nível do solo, separando-se caule, folha, vagem e grãos. A área foliar (cm<sup>2</sup>) foi estimada através do método de pesagens. Das folhas jovens, intermediárias e adultas, foram retirados 30 discos de 9 mm com o auxílio de um furador. Cada conjunto de discos foi acondicionado em sacos de papel e levado à estufa de aeração forçada, a 65°C, até peso constante, procedendo-se da mesma forma com o restante

das folhas. Com a área dos discos ( $ad$ ), a massa de matéria seca dos discos ( $md$ ) e a massa da matéria seca das lâminas foliares restantes ( $m_1$ ), determinou-se a área das lâminas amostradas ( $A_1$ ), estimada pela fórmula:  $A_1 = ad \times (md + m_1)/md$ .

Com base nessas informações, determinou-se o índice de área foliar g/planta, conforme BENINCASA (2003):

$$IAF = A_f/S \text{ em (m}^2 \text{ de área foliar m}^{-2} \text{ área de solo).}$$

em que  $A_f$  é a área foliar e  $S$  a área do solo correspondente à amostra.

A altura de plantas foi medida a partir do nível do solo adotando-se como base para medição, o último nó do ramo apresentado pelas plantas. Para tanto, utilizou-se uma trena, a fim de se obter a altura, em cm, da haste principal das plantas, conforme os períodos preestabelecidos. Posteriormente, obteve-se das mesmas plantas o número de nós presentes na haste principal, após a colheita em campo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Por meio do teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ), os contrastes ortogonais dos tratamentos do fatorial foram comparados com a testemunha, sendo que, quando houve efeito significativo pelo teste de F para o fatorial, foram realizados contrastes ortogonais entre cada tratamento e a testemunha. Para a variável na qual o teste de F detectou efeito simples dos fatores, foram realizados contrastes ortogonais entre as médias de cada nível do fator e a testemunha. Por sua vez, quando o teste de F não detectou efeito significativo para o fatorial, foi realizado apenas contraste ortogonal entre a média do fatorial e a testemunha.

## **3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas**

Os valores de temperaturas mínima, média e máxima do ar ao longo do ciclo fenológico do feijoeiro, referentes aos anos agrícolas de 2010 e 2011, estão na Tabela 7.

No primeiro ciclo, em 2010, a temperatura mínima não foi inferior a 15°C nas fases I e II. De maneira geral, os valores se encontram dentro da faixa recomendada por Silva; Ribeiro (2009), os quais relacionam valores ideais de temperatura do ar mínimo, médio e máximo de 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente.

No segundo ciclo de 2011, observou-se alguns valores médios de temperaturas mínimas abaixo de 15°C. Na fase vegetativa, a cultura ficou por aproximadamente 20 dias com temperatura mínima próxima de 11°C. Essas variações de temperatura ocorreram durante o florescimento e o enchimento de grãos, interferindo no ciclo da cultura.

**TABELA 7.** Temperaturas máxima, média e mínima mensal e precipitação pluvial em Botucatu, SP, para os ciclos de 2010 e 2011.

<b>Meses do ano</b>	<b>Temp. média mensal (°C)</b>	<b>Temp. máxima média (°C)</b>	<b>Temp. mínima média (°C)</b>	<b>Precipitação pluvial (mm)</b>
Ano 2010				
Abril	23,31	27,40	18,97	27,10
Maio	18,74	22,36	14,84	39,95
Junho	19,01	22,93	15,01	22,80
Julho	19,89	24,41	15,33	0,0
Ano 2011				
Maio	16,78	22,09	12,76	0,0
Junho	15,89	21,46	11,15	44,10
Julho	18,39	23,93	13,66	8,50
Agosto	18,94	25,15	13,54	8,20
Setembro	13,57	20,99	8,19	0

Fonte: Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais

Na Tabela 8 estão descritas as lâminas aplicadas por tratamento, nos dois experimentos (2010 e 2011). Para o tratamento 16, com 100% da ETc nas fases I e II, a lâmina total aplicada foi de 191,22 mm, durante o ciclo de 2010, e de 218 mm em 2011.

Verificou-se que as lâminas aplicadas nas fases I e II são maiores no ano agrícola de 2011, em comparação ao ano de 2010.

A precipitação pluvial efetiva durante as fases I e II correspondeu a 5,26 mm e a 9,12 mm, para o ano de 2010, totalizando 14,38 mm. Em 2011, no segundo experimento, nas fases I e II, a precipitação efetiva foi de 5,19 mm e 9,64 mm, respectivamente, totalizando 14,83 mm.

As precipitações pluviométricas no primeiro experimento ocorreram durante a fase vegetativa e final de floração. Já no segundo, as precipitações pluviométricas se concentraram, principalmente, na fase vegetativa, no início do terceiro trifólio e final do enchimento de grãos da fase reprodutiva.

**TABELA 8.** Lâminas de irrigação e precipitação efetiva, em mm, correspondentes às fases I e II, durante o ciclo do feijoeiro nos anos 2010 e 2011.

<b>Lâmina em (mm) nas fases I, II e lâmina total (I + II + precipitação)</b>								
	Fase I	Fase II	I + II	I + II + Pe	Fase I	Fase II	I + II	I + II + Pe
<b>Trat</b>	<b>2010</b>				<b>2011</b>			
<b>T1</b>	26,42	44,31	70,73	85,11	32,02	49,24	81,23	96,06
<b>T2</b>	26,42	66,47	92,89	107,27	32,02	73,86	105,88	120,71
<b>T3</b>	26,42	88,63	115,05	129,43	32,02	98,40	130,42	145,25
<b>T4</b>	26,42	110,79	137,21	151,59	32,02	123,10	155,12	169,95
<b>T5</b>	39,63	44,31	83,94	98,32	48,08	49,24	97,32	112,15
<b>T6</b>	39,63	66,47	106,10	120,48	48,08	73,86	121,94	136,77
<b>T7</b>	39,63	88,63	128,26	142,64	48,08	98,40	146,48	161,31
<b>T8</b>	39,63	110,79	150,42	164,80	48,08	123,10	171,18	186,01
<b>T9</b>	52,84	44,31	97,15	111,53	64,05	49,24	113,29	128,12
<b>T10</b>	52,84	66,47	119,31	133,69	64,05	73,86	137,91	152,74
<b>T11</b>	52,84	88,63	141,47	155,85	64,05	98,40	162,45	177,28
<b>T12</b>	52,84	110,79	163,63	178,01	64,05	123,10	187,15	201,98
<b>T13</b>	66,05	44,31	110,36	124,74	80,06	49,24	129,30	144,13
<b>T14</b>	66,05	66,47	132,52	146,90	80,06	73,86	153,92	168,75
<b>T15</b>	66,05	88,63	154,68	169,06	80,06	90,40	170,46	185,29
<b>T16</b>	66,05	110,79	176,84	191,22	80,06	123,10	203,16	217,99
<b>T0</b>	-	-	-	14,38	-	-	-	14,83

\*Pe - Precipitação pluvial efetiva: 14,38 mm em 2010 e 14,83 mm em 2011.

No primeiro ciclo a colheita do feijão ocorreu no mês de julho e no segundo ciclo de agosto a setembro respectivamente.

A duração do ciclo, os graus dias acumulados e a produtividade para cada tratamento avaliado são apresentados nas Tabelas 9 e 10, para os experimentos desenvolvidos em 2010 e 2011, respectivamente.

No experimento de 2010, a menor duração do ciclo ocorreu no tratamento não irrigado (90 dias), sendo que os demais ficaram entre 93 e 95 dias.

No experimento 2, houve aumento do número de dias do ciclo, variando de 101 a 107 dias, o que está relacionado com a baixa temperatura do ar e com o acúmulo de graus dias durante o desenvolvimento do feijoeiro no ano de 2011, conforme apresentado na (Tabela 10).

Observa-se que as maiores reduções de produtividade foram para os tratamentos T1, T5, T6, T9, T11 e T0 para o primeiro ciclo, e, para os tratamentos T1, T2, T3, T5, T9, T10, T13 e T0 para o segundo ciclo.

**TABELA 9.** Ano de cultivo, duração do ciclo, graus-dias acumulados, rendimento de grãos, redução do rendimento do feijão, Botucatu - SP, 2010.

Trat	Ano de cultivo	Duração do ciclo dias	Graus dias acumulado	Produtividade de grãos kg ha <sup>-1</sup>	Redução de produtividade (%)
T01	2010	93	882,20	2.358	15,82
T02	2010	93	882,20	2.424	13,46
T03	2010	95	907,00	2.418	13,67
T04	2010	95	907,00	2.498	10,82
T05	2010	93	882,20	2.375	15,21
T06	2010	93	882,20	2.216	20,89
T07	2010	95	907,00	2.432	13,17
T08	2010	95	907,00	2.701	3,57
T09	2010	93	882,20	2.202	21,39
T10	2010	93	882,20	2.563	8,50
T11	2010	95	907,00	2.375	15,21
T12	2010	95	907,00	2.414	13,82
T13	2010	93	882,20	2.426	13,39
T14	2010	93	882,20	2.577	8,00
T15	2010	95	907,00	2.674	4,53
T16	2010	95	907,00	2.801	0
T0	2010	90	852,45	1.633	41,70

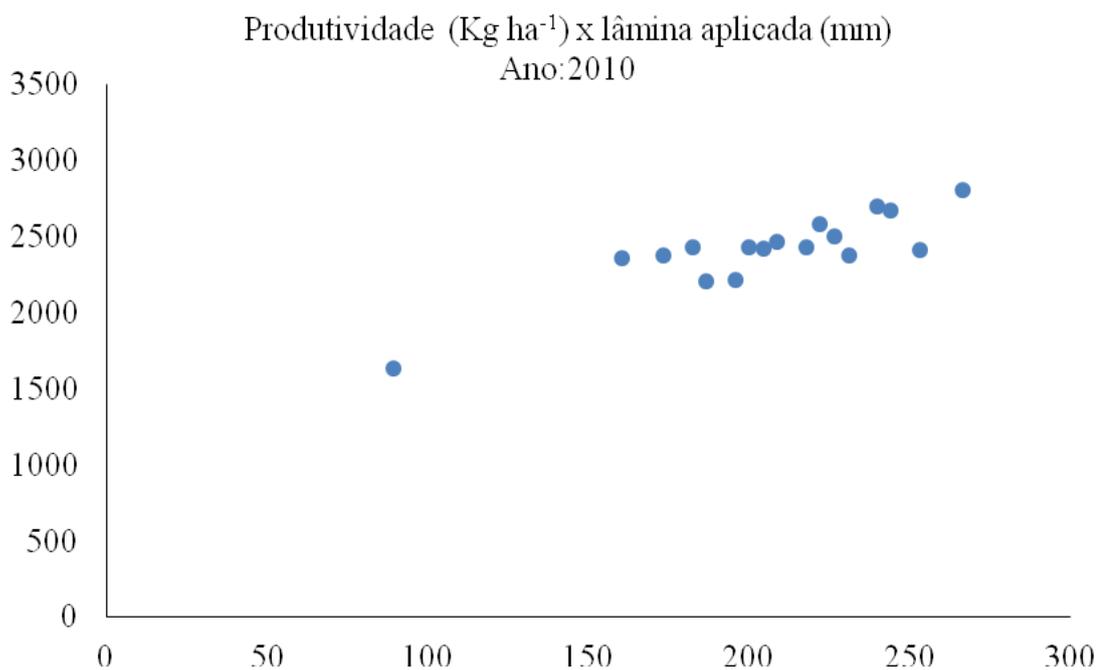
A produtividade no tratamento com 100% da ETc nas duas fases do ciclo foi de 2.801 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro experimento, enquanto no segundo ano houve um aumento de

12,74%, chegando a 3.210 kg ha<sup>-1</sup>. Verificou-se que no segundo ano, uma lâmina de 40% na fase I, combinado com uma lâmina de 100% na fase II, apresentou uma produtividade de 3.322 kg ha<sup>-1</sup>, com diferença de 3,37% superior ao tratamento com 100% da ETc nas duas fases do ciclo avaliadas, não sendo diferente estatisticamente.

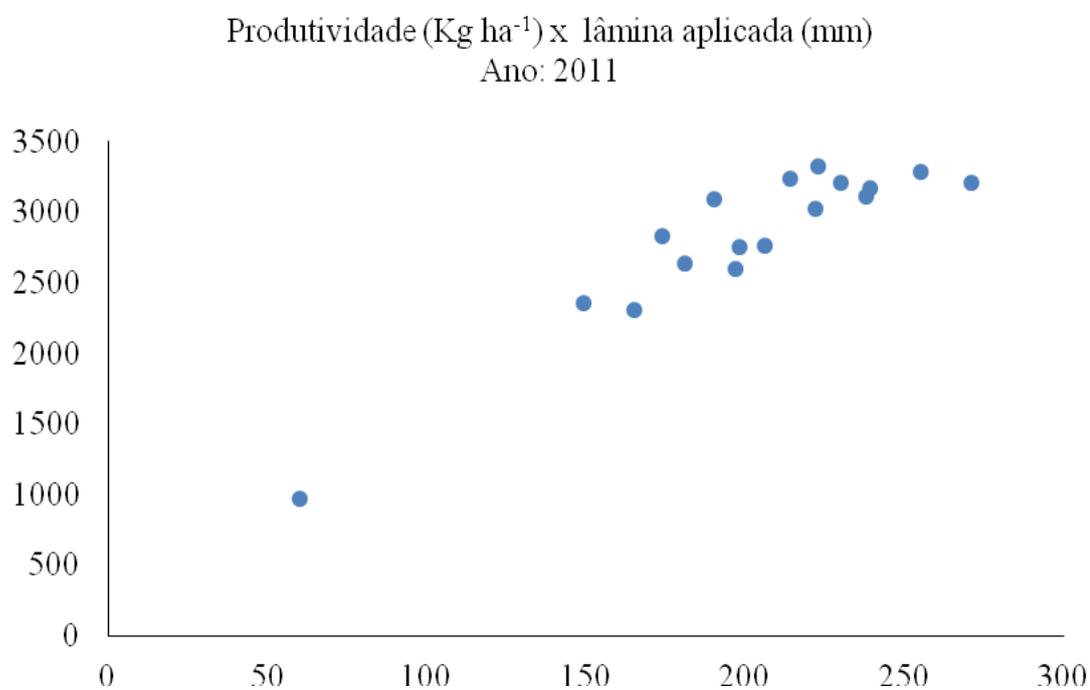
**TABELA 10.** Época de cultivo, duração do ciclo, graus-dias acumulados, rendimento de grãos, redução do rendimento do feijão, Botucatu - SP, 2011.

Trat	Ano de cultivo	Duração do ciclo dias	Graus dias acumulado	Produtividade de grãos kg ha <sup>-1</sup>	Redução de produtividade (%)
T01	2011	104	795,65	2.358	29,02
T02	2011	105	798,92	2.827	14,9
T03	2011	106	800,68	2.751	17,19
T04	2011	107	806,35	3.322	0
T05	2011	104	795,65	2.303	30,67
T06	2011	105	798,92	3.093	6,89
T07	2011	106	800,68	3.239	2,50
T08	2011	107	806,35	3.171	4,55
T09	2011	104	795,65	2.639	20,56
T10	2011	105	798,92	2.764	16,80
T11	2011	106	800,68	3.205	3,52
T12	2011	107	806,35	3.284	1,14
T13	2011	104	795,65	2.602	21,67
T14	2011	105	798,92	3.029	8,82
T15	2011	106	800,68	3.111	6,35
T16	2011	107	806,35	3.210	3,37
T0	2011	101	790,33	968	70,86

Nas Figuras 1 e 2 tem-se a produtividade do feijoeiro em função da lâmina total aplicada nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. A função de produção em função do fator água tem, normalmente, ajuste para um polinômio do segundo grau. No entanto, uma vez que o tratamento que aplicou a maior lâmina de água forneceu 100% da ETc, sendo que os demais aplicaram frações deste valor (40, 60 e 80%), tem-se apenas o trecho ascendente da função de produção (polinômio do segundo grau). O trecho descendente seria gerado por lâminas excessivas, que causariam redução da produtividade.



**FIGURA 2:** Produtividade do feijoeiro, em kg ha<sup>-1</sup>, em função da lâmina total de água durante o ciclo, para o ano de 2010.



**FIGURA 3:** Produtividade do feijoeiro, em kg ha<sup>-1</sup>, em função da lâmina total de água durante o ciclo, para o ano de 2011.

Na Tabela 11, tem-se um resumo da análise de variância para o número de nós, altura de plantas, índice de área foliar e produtividade do primeiro e segundo experimentos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação 40%, 60%, 80% e 100% da ETc, apresentou significância para o número de nós e altura de plantas no primeiro e segundo anos e não foi significativa para a índice de área foliar e produtividade de grãos, onde a coleta foi realizada durante o florescimento.

**TABELA 11.** Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância na cultura do feijoeiro submetida a diferentes combinações de lâminas de água aplicada.

Fonte de variação	I	II	IxII	trat/test	Anos	CV
Número de nós por planta						
Floração 2010	9,22*	2,04*	2,04*	6,86*	4,45 <sup>ns</sup>	4,70
Floração 2011	4,32*	6,53*	4,44*	4,16 <sup>ns</sup>	4,45 <sup>ns</sup>	5,48
Altura de plantas						
Floração 2010	141,79*	87,86*	33,50*	94,88*	6,11 <sup>ns</sup>	1,93
Floração 2011	34,16*	27,00*	0,82*	24,74*	6,11 <sup>ns</sup>	6,17
Índice de área foliar						
Floração 2010	0,43 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	23,35
Floração 2011	5,32*	5,12*	0,77 <sup>ns</sup>	2,87*	0,77 <sup>ns</sup>	22,20
Produtividade de grãos						
Floração 2010	1,39 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	3,01*	14,28
Floração 2011	0,98 <sup>ns</sup>	17,06*	1,08 <sup>ns</sup>	7,77*	3,01*	10,93

\* e ns são, respectivamente, significativos a 5% e não significativo, pelo teste de F. A letra (I) corresponde ao fator primeira fase e (II) ao fator segunda fase. Assim II, corresponde a 40% da ETc; I2, 60%; I3, 80% e I4, 100%. Por sua vez, B1 corresponde a 40% da ETc na fase II; II2, 60%; II3, 80% e II4, 100%, respectivamente.

Os resultados obtidos indicaram que a deficiência hídrica ocorrida durante as fases I e II, proporcionou reduções do número de nós por plantas (Tabela 12). De modo geral, verificou-se que a redução da água aplicadas nas fases I e II refletiu em menores médias do número de nós por plantas, comparado ao tratamento sem restrição em nenhuma das fases durante o ciclo do feijoeiro.

No primeiro ciclo, verificou-se que as menores médias de número de nós foram obtidas nas maiores reduções de lâminas aplicadas nas fases I e II, o que se repetiu no segundo ano. No ano de 2010, as maiores médias foram obtidas a partir de uma lâmina

aplicada de 80% e 100% na fase II, combinadas com 100% na fase I. O mesmo não se repetiu em 2011.

**TABELA 12.** Números de nós por planta nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

<b>2010</b>		<b>Números de nós por planta</b>			
Fases (I*II)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	10,58	10,25 ab	10,17 b	11,08 b
	60	10,75	10,67 ab	10,66 ab	11,50 ab
	80	10,50 AB	9,92 bB	11,58 aA	11,33 abAB
	100	11,08 B	11,08 aB	11,41 aAB	12,25 aA
	Média da testemunha = 8,83		d' = 1,240		
<b>2011</b>		<b>Números de nós por planta</b>			
Fases (I*II)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	8,58 bB	9,75 A	9,75 A	9,83 bA
	60	10,42 aA	9,92 AB	9,25 B	8,91 abB
	80	10,08 aAB	10,67 A	9,41 B	10,33 aAB
	100	9,75 aAB	10,50 A	9,16 B	9,50 abAB
	Média da testemunha = 9,16		d' = 1,198		

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna ou maiúsculas nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). d' é a diferença mínima significativa de Dunnett. Terceira coleta 2010 e 2011.

Moraes et al. (2010) avaliando a deficiência hídrica aplicada nos estádios de pré-floração e formação dos botões florais, verificaram que o número de nós por plantas nas condições com e sem deficiência hídrica foram de 14,84 e 12,85, respectivamente, em experimento conduzido em casa de vegetação em Alegre, ES.

Os resultados obtidos (Tabela 13) indicaram que a deficiência hídrica durante as fases I e II, causou a redução da altura das plantas. De modo geral, verificou-se que a redução da água aplicada na fase I e na fase II resultou em menores médias da altura de plantas comparado ao tratamento sem restrição em nenhuma das fases.

Vale et al. (2012) avaliaram nove genótipos, sendo cinco cultivares do grupo comercial carioca (IAPAR 14, IAPAR 81, Pérola, IPR Colibri e IPR Juriti) e quatro do grupo preto (IPR Chopim, IPR Gralha, IPR Tiziu e IPR Uirapuru), com e sem irrigação. Os resultados foram de 0,95 m e 0,89 m para a altura de plantas, com e sem irrigação

respectivamente, para a cultivar Pérola, e de 0,69 m e 0,31 m para a IPR Juriti, em estudo conduzido em casa de vegetação.

Sousa e Lima (2010), avaliando o efeito da deficiência hídrica sob a característica altura de plantas (cm) em feijoeiro comum, obtiveram os valores de 43,75; 59,81; 64,75; 72,50 para a fase vegetativa, pré-floração, enchimento de grãos e maturação, respectivamente.

**TABELA 13:** Altura de plantas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

<b>2010</b>		<b>Altura de plantas (cm)</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	41,58 Bb	43,70 Ac	45,05 Ab	45,25 Ac
	60	41,58 Cb	47,60 BAa	49,08 Aa	46,54 Bbc
	80	42,33 Bb	47,66 Aa	46,62 Ab	48,13 Ab
	100	50,44 Ba	45,45bC	49,75 aB	55,62 aA
Média da testemunha = 35,85			d` = 1,899		
<b>2011</b>		<b>Altura de plantas (cm)</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	36,15 Bc	39,08 ABb	42,47 Ab	43,77 Ac
	60	38,52 Cbc	43,63 CBb	49,67 Aa	46,80 BAcb
	80	42,32 Cba	44,33 CBb	49,18 BAa	49,90 Aba
	100	46,25 Ba	49,81 ABa	51,20 ABa	53,69 Aa
Média da testemunha = 25,22			d` = 5,796		

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna ou maiúsculas nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). d` é a diferença mínima significativa de Dunnett. Terceira coleta 2010 e 2011.

Moraes et al. (2010) avaliaram a deficiência hídrica no período de pré-floração, estágio de formação dos botões florais, com a irrigação sendo interrompida por 15 dias. Não verificaram diferença para os valores de 100,71 e 105,08 cm para a condição com e sem deficiência hídrica respectivamente, em experimento conduzido em casa de vegetação em Alegre - ES.

O IAF obtidos pela cultivar IAC alvorada, submetida à deficiência hídrica, nas fases I e II, no primeiro e segundo experimentos, foi influenciado pelo volume de água aplicada,

obtendo menores médias quando comparado com o tratamento onde não houve deficiência hídrica nas fases I e II conforme apresentado na Tabela 14.

Aguiar et al. (2008) em estudo com feijão comum, verificaram que os índices de área foliar para o grupo carioca apresentaram uma sensível redução quando os genótipos foram submetidos ao estresse hídrico. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Nóbrega et al. (2001) em estudo com a cultivar de feijão Princesa (grupo carioca), que obtiveram as maiores médias do IAF: 2,98; 4,05; 5,00 e 3,62 aos 54, 53, 53 e 53 dias após semeadura, respectivamente, para lâminas de irrigação de 80, 160, 320 e 140,2 mm de água durante o ciclo do feijão.

Sousa e Lima (2010), avaliando o efeito da deficiência hídrica na característica índice de área foliar, em  $m^2/m^2$  do feijoeiro comum, obtiveram os valores de 0,88; 0,72; 0,35; 0,32; 0,69 para as fases vegetativa, pré-floração, plena floração, enchimento de grãos e maturação, respectivamente.

**TABELA 14.** Índice de área foliar, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

Lâmina (mm)	Índice de área foliar ( $cm^2/cm^2$ )	
	2010	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	5,80	4,95 b
60%	6,09	4,93 b
80%	6,30	6,28 a
100%	6,30	5,98 ab
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	6,08	4,79 b
60%	5,57	5,18 b
80%	6,01	5,76 ab
100%	6,83	6,42 a
Média test.	= 3,17    d` = 4,32	= 2,76    d` = 2,880

A comparação do número de nós por plantas entre o primeiro e segundo ano foi significativa para os tratamentos (T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub>, T<sub>13</sub>, T<sub>15</sub>, T<sub>16</sub>), conforme apresentado na Tabela 12, sendo as médias de NN no primeiro ano, mais altas, em relação ao segundo ano, com exceção ao T<sub>10</sub>. As maiores médias talvez tenham sido oriundas das maiores precipitações pluviais, reduzindo o efeito do maior déficit hídrico.

As médias de altura de plantas (cm) entre o primeiro e segundo ciclo foram significativas para os tratamentos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>10</sub>, T<sub>13</sub>, T<sub>14</sub>, T<sub>0</sub>), conforme apresentado na Tabela 9. As médias de altura de plantas no primeiro ano foram mais altas em relação ao segundo ano, com exceção ao T<sub>14</sub>, o que pode ter ocorrido em função das maiores precipitações pluviais, reduzindo o efeito do maior déficit hídrico.

A comparação entre o IAF (cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>) para o primeiro e segundo experimento indicou diferença significativa apenas entre os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>8</sub>, conforme apresentado na Tabela 15.

**TABELA 15.** Comparação de médias de número de nós, altura de plantas (cm) e índice de área foliar (cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>) durante o florescimento.

Trat	Nº de nós por planta		Altura de plantas (cm)		IAF (cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
	Avaliação durante o florescimento					
T01	10,58 A	8,58 B	41,58 A	36,15 B	5,95 A	3,95 B
T02	10,25 A	9,75 A	43,65 A	39,08 B	5,74 A	4,46 A
T03	10,16 A	9,75 A	45,05 A	42,47 A	6,12 A	5,55 A
T04	11,08 A	9,83 B	45,24 A	43,77 A	5,40 A	5,20 A
T05	10,75 A	10,41 A	41,57 A	38,52 B	5,92 A	5,00 A
T06	10,66 A	9,91 B	47,59 A	43,63 B	5,73 A	4,64 A
T07	10,66 A	9,25 B	49,08 A	49,67 A	5,18 A	5,52 A
T08	11,50 A	8,91 B	46,54 A	46,80 A	7,53 A	5,58 B
T09	10,50 A	10,08 A	42,33 A	42,32 A	6,90 A	5,92 A
T10	9,91 B	10,66 A	47,90 A	44,33 B	5,22 A	4,99 A
T11	11,58 A	9,41 B	46,62 A	49,18 A	6,14 A	6,23 A
T12	11,33 A	10,33 B	48,13 A	49,90 A	6,95 A	5,89 A
T13	11,08 A	9,75 B	50,44 A	46,25 B	5,53 A	4,95 A
T14	11,08 A	10,50 A	45,46 B	49,81 A	5,60 A	5,64 A
T15	11,41 A	9,16 B	49,75 A	51,20 A	6,62 A	7,82 A
T16	12,25 A	9,49 B	55,62 A	53,69 A	7,44 A	7,27 A
T0	8,83 A	9,16 A	35,88 A	25,22 B	4,32 A	2,76 A

Médias seguidas de letras maiúsculas nas linhas diferem entre si, pelo teste de Tukey (P≤0,05).

### 3.6 CONCLUSÕES

As menores reduções de água nas fases I e II resultaram em menores efeitos na altura de plantas e IAF;

As baixas temperaturas do ar aumentaram o ciclo do feijoeiro no ano de 2011;

Quanto maior a deficiência hídrica na fase II, maior a redução da produtividade de grãos.

A maior produtividade foi de 3.322 kg ha<sup>-1</sup>, no ano de 2011, para a combinação de uma lâmina de 40% aplicada na fase I, com 100% da lâmina na fase II.

### 3.7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. S de. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p. 1-14, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Rome FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

BORÉN, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada**. Viçosa: UFV, 2008. p. 13 - 18.

BRANDÃO, V.S. et al. Infiltração da água no solo. Viçosa: UFV. 2006. 120 p.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 13 de novembro de 2010.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2010/2011: décimo segundo levantamento: setembro/2011. **B r a s í l i a, D F, 2 0 1 1. D i s p o n í v e l** em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_09\\_19\\_09\\_49\\_47\\_boletim\\_setembro-2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setembro-2011.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2011.

CUNHA, A. R.; Klosowski, E. S.; Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Martins, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999, v.1, p.487-490.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p. EMBRAPA, 2009. p. 47 - 63.

EMBRAPA. Centro Nacional. Pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.

FANCELLI, A.L.; Dourado Neto, D. Feijão irrigado. 2.ed, Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 266p.

GUIMARÃES, C. et al. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 70-75, 2006.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: Araújo, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: POTAFOS. 1996. 786p.

GUIMARÃES. C. M. **Efeito do condicionamento osmótico sobre a germinação e desempenho de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) sob condições ideais e de estresse térmico, hídrico e salino**. 1991. 78f. Dissertação (mestrado em fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, p.499-522.

MORAES, W. B. et al. Seleção de genótipos de feijoeiro à seca. **Idesia**, Chile, v.28, n.2, p. 53-59, 2010.

NÓBREGA, J. Q. et al. Análise do feijão submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 437-443, 2001.

RAIJ, B. van. et al. Análise química da fertilidade dos solos tropicais. Campinas: IAC, 2001, 285 p.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 71p. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2007.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação, 1. Piracicaba: **SBEA**. 2001 p.63-120 (Série Engenharia Agrícola).

SILVA.C. da; RIBEIRO. J. R. **Zoneamento agroclimático para o feijão (2ª safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia**. In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L. F.; AIDAR. H (Org.). Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SOUSA, M. A. de.; LIMA, M. D. B. Influencia da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. carioca comum. **Revista Biosci**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 550 - 557, 2010.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-41, 2000.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.473-81, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

VALE, N. M do. et al. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, Florianópolis, v.25, n.3, p. 2175 - 7925, 2012.

## **4 CAPÍTULO 2 - PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*PHASEOLUS VULGARIS* L) EM CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT.**

**4.1 RESUMO:** Antes cultivado por pequenos produtores rurais, o feijoeiro vem sendo cultivado por produtores rurais que dispõem dos mais variados níveis de tecnologia, com práticas que incluem a irrigação e a semeadura direta, juntamente com o manejo do solo e das culturas no incremento da produtividade. Junto com a adoção dessas técnicas, percebe-se o aumento no uso da irrigação, a qual tem a finalidade básica de atender a exigência hídrica da cultura durante seu ciclo. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação, em duas fases do ciclo do feijoeiro, sobre o comportamento da cv. IAC-Alvorada no período de inverno, primeiro e segundo ano de semeadura direta, em Botucatu - SP. O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, 16 tratamentos e uma testemunha com quatro repetições, sendo cada parcela de 1,8 m x 4 m. As irrigações foram realizadas diariamente, com auxílio do tanque Classe A. Avaliou-se a produtividade de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, rendimento de grãos, peso de 100 grãos, vagens chochas por planta e a eficiência de uso da água. O número de vagens e o rendimento de grãos diminuíram com o aumento da deficiência hídrica ao nível de 5% de probabilidade. O déficit hídrico da irrigação nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro nas fases I e II não interferiu na produtividade de grãos estatisticamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** lâmina de irrigação, componentes da produção, irrigação.

## PRODUCTIVITY OF GRAIN BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L) ON WATER STRESS CONDITIONS

**4.2 ABSTRACT:** Once cultivated by small farmers, bean plants have been cultivated by farmers who have the most varied levels of technology, with practices that include irrigation and direct sowing, along with soil and crop management in the productivity increase. Along with the adoption of these techniques, one can notice the increased use of irrigation, which has the basic purpose of meeting the crop water requirement during their cycle. The aim of this study was to investigate the effects of different irrigation depths in two phases of the cycle of bean under the behavior of cv. IAC Alvorada in the winter period, first and second year of direct sowing in Botucatu - SP. The soil of the experimental area is classified as dystroferric red nitosol (clay texture). The experimental design utilized was that of randomized blocks with 16 treatments and a control with four replications, being each plot of 1.8 m x 4 m. The irrigation was performed daily, using a Class A pan. We evaluated the grain productivity, number of pods per plant, number of grains per plant, number of seeds per pod, grain yield, 100-grain weight, empty pods per plant and water use efficiency. The number of pods and the grain yield decreased with the increase of water deficit at 5% probability. Water deficit irrigation in the development stages of the bean plant in Phases I and II had no statistical effect on grain productivity.

**KEYWORDS:** irrigation leyers, production components, irrigation.

## 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro, assim como as demais culturas, está sujeita a vários fatores que, direta ou indiretamente, interferem no seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. O feijoeiro é bastante sensível à competição em relação a ervas daninhas, sobretudo nas fases iniciais de seu desenvolvimento, e aos fatores climáticos, principalmente a temperatura do ar (CARVALHO, 2009). É também muito suscetível às

pragas e doenças (KLUTHCOUSKI; OLIVEIRA, 2009), além de ser exigente em nutrientes necessários para obtenção de produção satisfatória e rentável (BARBOSA; GONZAGA, 2012), especialmente o nitrogênio, que pode influenciar significativamente na produtividade (SILVA et al., 2006).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de feijão comum, sendo os principais estados produtores dessa leguminosa: Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás. Este é produzido praticamente o ano todo em diferentes épocas e sistemas de cultivo.

A produtividade média do feijoeiro tem sido inferior ao potencial genético das cultivares obtidas pelos programas de melhoramento e recomendadas para o cultivo (COSTA, 2009). Atualmente, a produtividade média é 890 kg ha<sup>-1</sup> referente à safra 2011/2012, porém, produtividades acima de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> podem ser alcançadas em lavouras irrigadas e com alto nível tecnológico.

O feijão de inverno está entre as culturas mais plantadas nos sistemas produtivos explorados sob o regime de irrigação por aspersão em áreas de Cerrado, em razão de sua rentabilidade atrativa e de um rápido retorno econômico (AZEVEDO, 2008). Normalmente nessa safra, o cultivo do feijoeiro depende de irrigação total ou complementar (suplementar). Uma equilibrada população de plantas resulta em maiores produtividades, compatíveis com uma agricultura irrigada. Com o emprego do sistema de semeadura direta, a presença de palha na lavoura reduz a evapotranspiração das culturas na fase inicial de crescimento, quando o dossel das mesmas não cobre totalmente o solo, gerando economia no uso de irrigação (STONE et al., 2006). Atualmente, é a principal cultura que integra os sistemas agrícolas irrigados nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste (Silveira et al., 2003), com produtividades de grãos em torno de 3.000 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>.

O feijoeiro é considerado uma espécie com pouca tolerância a estresses hídricos severos, sendo que 60% da produção mundial está submetida a este fator, tornando a seca o segundo maior redutor da produtividade, a qual é superada apenas pela ocorrência de doenças (AGUIAR et al., 2008). Assim, a deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes (GUIMARAES et al., 2006), tornando-se necessário conhecer a capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico, bem como a relação entre consumo de água e produtividade.

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas, sendo considerada a principal causa da redução da produtividade (FLEXAS et al., 2006). As plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento parcial dos estômatos, evitando a redução do potencial de água na planta em condições de déficit.

O excesso ou a deficiência hídrica durante o florescimento em feijoeiro ocasiona perdas de até 60% na produção de grãos (SILVA et al., 2006). Conseqüentemente, o déficit hídrico reduz o ciclo da cultura (CARVALHO, 2009).

Temperaturas maiores do que 35°C no florescimento, afeta bastante o rendimento de grãos. Da mesma forma, temperaturas abaixo de 12°C podem provocar abortamento de flores, concorrendo para um decréscimo no rendimento. A maior parte da produção é procedente de microrregiões com temperaturas do ar variando de 17°C a 25°C, faixa térmica considerada apropriada para a espécie (GONZAGA; BARBOSA, 2012).

A exigência hídrica ideal para o feijoeiro no estado de São Paulo encontra-se numa faixa de 300 a 600 mm de água, distribuídos durante o ciclo da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979; FRIZONE, 1986; SILVEIRA; MOREIRA, 1990; QUEIROZ et al., 1996; MALUF; CAIAFO, 1999; SILVEIRA; STONE, 2004; PAVANI et al., 2008).

O feijoeiro é sensível tanto ao excesso quanto à deficiência hídrica de água no solo (SILVEIRA; STONE, 2004) e, de acordo com Guimarães (1988), em sementes, a deficiência hídrica reduz a germinação, enquanto na fase vegetativa, ocasiona efeito indireto no rendimento de grãos, e durante a floração provoca abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens e de grãos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os componentes de produção do feijoeiro, cultivar IAC - Alvorada, submetido à combinação de diferentes lâminas deficitárias de irrigação em duas fases de aplicação, durante o ciclo do feijoeiro.

#### **4.4 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido pela primeira vez em 2010 e repetido em 2011, em sistema de semeadura direta durante o inverno, na fazenda Lageado, numa área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, *Campus* de Botucatu, na região centro oeste do Estado de São

Paulo que se encontra a 22°51' de latitude sul, 48°26' de longitude oeste de Greenwich, e com altitude de 786 metros.

De acordo com Cepagri (2010), pela classificação de Koeppen, o tipo climático é o Cwa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. O período seco compreende os meses de abril a agosto, e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com uma pluviosidade total anual média de 1.314 mm e temperatura média mensal de 19,4°C, sendo a temperatura média diária do mês mais frio julho de 17,1°C e a do mês mais quente fevereiro de 23°C (CUNHA et al., 1999; CUNHA; MARTINS, 2009).

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). As características químicas e físicas foram avaliadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo, a partir de amostras obtidas de vinte e quatro trincheiras. As coletas de solo foram obtidas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. As análises química e física do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). As determinações das frações granulométricas do solo (areia total, silte e argila) e da densidade, seguiram a metodologia da EMBRAPA (1997).

Os valores médios das características químicas do solo, na camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, foram de: 4,7 de pH em CaCl<sub>2</sub>; 21,0 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; 4,7 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>resina</sub>; 1,7; 13,0; 7,0; 30,0 e 1 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 41,5% de saturação por bases (V%), 0,16; 11,55; 38,5; 13,85; 1,15 mg dm<sup>-3</sup> de B, Co, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. Neste mesmo período, obteve-se a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, com valores de 1,35 e 1,38 para 0 a 15 cm e 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente. Obteve-se também a análise granulométrica do solo, com valores de 42,31, 44,47 e 13,21% de areia, silte e argila, respectivamente.

No segundo ano, na mesma camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, tais valores foram de: 4,85 de pH em CaCl<sub>2</sub>; 24,0 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; 24,5 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>resina</sub>; 1,9; 29,5; 14,5; 40,0 e 1 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 51% de saturação por bases (V%), 0,28; 11,9; 43,5; 16,5; 1,2 mg dm<sup>-3</sup> de B, Co, Fe,

Mn e Zinco, respectivamente. Neste mesmo período, obteve-se a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, com valores de 1,39 e 1,41 para as camadas de 0 a 15 cm e 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente. As análises citadas foram efetuadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo. As coletas dos torrões foram realizadas com o auxílio de um enxadão, e durante o procedimento procurou-se evitar a compactação do mesmo.

A calagem do solo no primeiro e segundo anos de experimento foi realizada 90 dias antes do plantio, e constou de uma necessidade de 1,6 e 1,9 t, respectivamente. Utilizou-se calcário dolomítico, com PRNT de 90%, com o objetivo de elevar a 70% o índice de saturação por bases (V%) ao nível adequado à planta, e de neutralizar os efeitos nocivos do alumínio. O calcário foi distribuído manualmente na superfície do solo, em toda a área experimental.

A cultivar utilizada foi a IAC - Alvorada do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado tipo III e porte semi-prostado. A semeadura direta foi realizada no dia 10/05/2011, estação outono-inverno, na área experimental do segundo ano de plantio direto.

As sementes foram tratadas utilizando-se fungicidas e inseticidas sistêmicos, conforme as dosagens recomendadas pelos seus fabricantes: 300 mL para 100 kg de sementes de feijão.

A semeadura direta da cv. IAC - Alvorada foi realizada nos dias 09/04/2010 e 10/05/2011, respectivamente, no espaçamento de 0,45 entre linhas e com 13 sementes por metro linear, de modo a obter uma densidade final de 200.000 a 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se semeadora-adubadora, modelo exacta air JM 2980 PD Jumil, seguindo a curva de nível do terreno. A adubação de plantio foi baseada na análise química do solo, sendo adicionados 321 e 145 kg ha<sup>-1</sup> de adubo granulado na formulação 8-28-16+zinco e 70 kg de N aplicado em cobertura e dividido em duas aplicações, para uma produtividade esperada de 2,5 a 3,5 t. Utilizou-se sulfato de amônio para o primeiro ciclo, e, uréia, para o segundo ciclo.

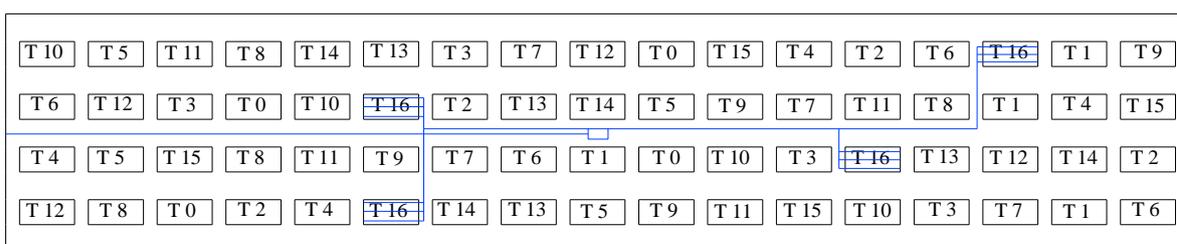
O controle das plantas daninhas que surgiram na área foi efetuado por meio de aplicações do herbicida fluazifop-p-butyl + fomesafen, cujas dosagens foram de 0,8 L ha<sup>-1</sup>.

Os demais tratos culturais e fitossanitários foram efetuados de acordo com as recomendações para a cultura do feijão, quando necessário.

A área experimental encontrava-se em pousio, sobre resíduo de *brachiaria brizantha*. Em novembro de 2009 realizou-se o plantio de milho, com o objetivo elevar o teor de palha e matéria orgânica da área assim como melhorar as características físicas e químicas do solo. Um mês antes da semeadura do feijão utilizou-se o equipamento triton na área total, e, uma semana antes da semeadura do feijão, aplicou-se em toda a área, herbicida dessecante nas dosagens recomendadas pelos fabricantes.

Nos experimentos, cada parcela experimental, com uma área total de 7,2 m<sup>2</sup> (4 m x 1,8 m), era constituída de quatro linhas de feijão, com três linhas laterais de irrigação nas entrelinhas do feijoeiro.

A distribuição das parcelas na área experimental está apresentada na Figura 1.



**FIGURA 1.** Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo.

O espaçamento entre blocos foi de 2 m, e, entre as parcelas, de 1,5 m. Para efeito de avaliação, as linhas externas de cada parcela foram consideradas como bordadura, além das duas extremidades de cada parcela, totalizando 1 m.

Antecedendo a semeadura até o início da diferenciação dos tratamentos, foram feitas irrigações em todo o experimento, utilizando-se o sistema de aspersão convencional. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas para que o solo atingisse um índice de umidade que favorecesse a emergência e o estabelecimento da cultura. A diferenciação dos tratamentos, quanto à irrigação, teve início ao nono dia após a semeadura. A partir desta data, a irrigação foi realizada utilizando-se o sistema de gotejamento de maneira diferenciada.

Para compor os tratamentos, variou-se a lâmina de irrigação e o período de aplicação. Os níveis de irrigação foram quatro, a saber: 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura. O ciclo do feijoeiro foi dividido em duas fases: fase I, vegetativa, tendo início após a emergência até o florescimento e fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (4 blocos), com 17 tratamentos em esquema fatorial (4x4)+1 testemunha, conforme Tabela 1.

**TABELA 1.** Descrição dos tratamentos com as combinações de lâminas de irrigação aplicadas em duas fases, sendo estas com 40%, 60%, 80% e 100% da Etc, durante o ciclo do feijoeiro nas fases I - Emergência ao pleno florescimento e Fase II - Florescimento a maturação.

<b>Tratamentos</b>	<b>Emergência ao florescimento: Fase - I</b>	<b>Florescimento a maturação: fase - II</b>
T01	40% da ETc	40% da ETc
T02	40%	60%
T03	40%	80%
T04	40%	100%
T05	60%	40%
T06	60%	60%
T07	60%	80%
T08	60%	100%
T09	80%	40%
T10	80%	60%
T11	80%	80%
T12	80%	100%
T13	100%	40%
T14	100%	60%
T15	100%	80%
T16	100%	100%
T0	-	-

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, utilizando-se mangueiras gotejadoras com espessura da parede de 625 micra, possuindo um gotejador labirinto tipo plano, espaçados de 20 cm entre si, com vazão de 7,5 L/h/m na pressão de 100 kPa e expoente da equação de vazão do emissor (x) igual a 0,461. Optou-se pelo sistema de

gotejamento porque este apresenta maior uniformidade, e, conseqüentemente, melhor controle d'água aplicada em cada parcela, além de permitir parcelas experimentais de menor tamanho e próximas entre si, o que não seria possível com aspersor convencional.

As linhas laterais foram distribuídas no espaçamento de 0,45 m entre as linhas do feijoeiro, as quais formavam uma faixa contínua molhada na área útil da parcela.

O bombeamento de água foi realizado com um conjunto de moto-bomba de 1 cv, a partir de um reservatório de 6.000 litros, e, acoplados aos sistemas de irrigação, registros, um filtro de disco e manômetros.

A capacidade de armazenamento de água do solo foi de 12,6 mm para uma profundidade efetiva de solo de 30 cm. Nas condições do experimento no campo, quando se atingia o momento de irrigar, eram necessários 50 minutos de irrigação para atingir a capacidade de campo, considerando-se a eficiência do sistema de 90% e a profundidade efetiva do feijoeiro a 0,3m.

O manejo das irrigações foi baseado no cálculo da evapotranspiração de referência (Eto) a partir de dados de evaporação do tanque Classe A, situado na Estação Agroclimatologia da FCA-UNESP, a cerca de 150 m de distância do local do experimento e do coeficiente cultural (kc) conforme Allen et al. (1998).

O tratamento T<sub>16</sub> foi mantido como referencial sem restrição de água, tanto na fase inicial como na fase reprodutiva. Com as combinações os demais tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II), além disso, um tratamento não foi irrigado.

A primeira fase (I) teve início quando a planta encontrava no estágio V<sub>2</sub> (22 DAE) ao florescimento (40 DAE), num período médio de 18 dias. A segunda fase (II) teve início no florescimento indo até a maturação fisiológica dos grãos (40 a 60 DAE). A testemunha não foi irrigada em nenhuma das fases analisadas.

No campo, a lâmina de água aplicada em cada parcela foi controlada em função do tempo pela vazão dos emissores de cada parcela. Com registros instalados em cada tratamento, e com um cronômetro, determinou-se diariamente o tempo de irrigação para a parcela referência, e, posteriormente, obteve-se o tempo necessário, correspondente às lâminas com reduções de 80%, 60% e 20%, referentes às fases I e II.

Por ocasião da colheita (100 DAE, décima segunda semana), foram analisados a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, peso de 100 grãos (g) e o número de vagens chochas por planta, obtidos de 4 m linear. Após a trilhagem manualmente das vagens, os grãos foram secos à sombra por uma semana, e, com utilização de uma balança analítica de 0,01 g de precisão, obteve-se a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$  da área colhida. A correção da produtividade foi feita para um grau de umidade de 13%, conforme metodologia de (BRASIL, 1992).

A eficiência de uso de água pela cultura (EUA -  $\text{kg m}^{-3}$ ) definida como eficiência de produção, ou seja, a massa de grãos produzida para cada unidade de volume de água consumida por evapotranspiração da cultura, durante todo o seu ciclo, foi realizada segundo Tennakoon e Hulugalle (2006). A EUA foi calculada por meio da razão entre a produtividade média de grãos ( $\text{kg m}^{-2}$ ) e o volume total de água aplicado por irrigação durante os 94 dias do ciclo da cultura, baseado na ETr média ( $\text{mm d}^{-1}$ ). A EUA depende diretamente das condições físicas do solo, das características atmosféricas, do estado nutricional das plantas, dos fatores fisiológicos, da natureza genética e do estágio de desenvolvimento da cultura (CALVACHE et al., 1997).

Foi realizada análise de variância com aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de significância pelo programa Sisvar 5.0. Para a análise conjunta, utilizou-se o programa GENES (CRUZ, 1997).

## **4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas**

As lâminas de irrigação aplicadas, somando-se as precipitações pluviométricas efetivas que ocorreram durante o ciclo do feijoeiro nas fases I e II, corresponderam a um valor total de 191,22 mm e 217,99 mm para o primeiro e segundo anos, respectivamente. Verificou-se que as lâminas aplicadas nas fases I e II foram maiores no ano agrícola de 2011 em comparação ao ano de 2010. Os valores das lâminas aplicadas em cada fase, para cada tratamento, e a chuva efetiva, estão descritos na Tabela 2.

**TABELA 2.** Lâminas de irrigação em mm, da emergência ao pleno florescimento (fase - I) e do florescimento a maturação (fase-II), e a lâmina total de irrigação, considerando-se a precipitação efetiva para os anos de 2010 e 2011.

<b>Lâmina em (mm) nas fases I, II; e I + II + precipitação efetiva (Pe).</b>								
<b>Fases</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I + II</b>	<b>I + II + P</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I + II</b>	<b>I + II + P</b>
<b>Trat</b>	<b>2010</b>				<b>2011</b>			
<b>T1</b>	26,42	44,31	70,73	85,11	32,02	49,24	81,23	96,06
<b>T2</b>	26,42	66,47	92,89	107,27	32,02	73,86	105,88	120,71
<b>T3</b>	26,42	88,63	115,05	129,43	32,02	98,40	130,42	145,25
<b>T4</b>	26,42	110,79	137,21	151,59	32,02	123,10	155,12	169,95
<b>T5</b>	39,63	44,31	83,94	98,32	48,08	49,24	97,32	112,15
<b>T6</b>	39,63	66,47	106,10	120,48	48,08	73,86	121,94	136,77
<b>T7</b>	39,63	88,63	128,26	142,64	48,08	98,40	146,48	161,31
<b>T8</b>	39,63	110,79	150,42	164,80	48,08	123,10	171,18	186,01
<b>T9</b>	52,84	44,31	97,15	111,53	64,05	49,24	113,29	128,12
<b>T10</b>	52,84	66,47	119,31	133,69	64,05	73,86	137,91	152,74
<b>T11</b>	52,84	88,63	141,47	155,85	64,05	98,40	162,45	177,28
<b>T12</b>	52,84	110,79	163,63	178,01	64,05	123,10	187,15	201,98
<b>T13</b>	66,05	44,31	110,36	124,74	80,06	49,24	129,30	144,13
<b>T14</b>	66,05	66,47	132,52	146,90	80,06	73,86	153,92	168,75
<b>T15</b>	66,05	88,63	154,68	169,06	80,06	90,40	170,46	185,29
<b>T16</b>	66,05	110,79	176,84	191,22	80,06	123,10	203,16	217,99
<b>T0</b>	-	-	-	14,38	-	-	-	14,83

\*Pe - Precipitação pluvial efetiva ano de 2010 e 2011.

A precipitação pluviométrica efetiva durante as fases I e II do ano de 2010 correspondeu a 5,26 mm e 9,12 mm, respectivamente, totalizando 14,38 mm. Em 2011, a precipitação efetiva foi de 5,19 mm e 9,64 mm nas fases I e II, respectivamente, totalizando 14,83 mm.

A colheita do feijoeiro no primeiro ciclo foi realizada no período compreendido entre os dias 17 a 22 de julho de 2010 (Tabela 3), totalizando ciclos de 90 a 95 dias para os diferentes tratamentos avaliados. O tratamento com 100% da ETc nas duas fases apresentou ciclo de 95 dias, enquanto o tratamento não irrigado apresentou ciclo de 90 dias.

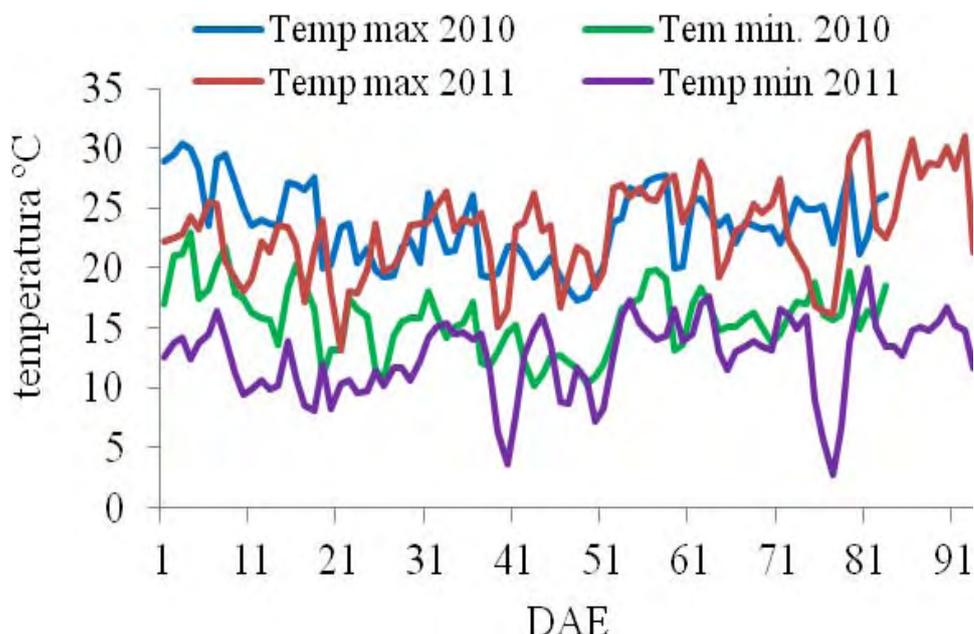
Em 2011, no segundo experimento, a colheita foi realizada no período de 31 de agosto a 03 de setembro de 2011, com o ciclo variando de 100 a 107 dias entre os tratamentos avaliados.

**TABELA 3.** Períodos compreendidos entre o início do experimento e a colheita, com o número de dias respectivos para os tratamentos avaliados.

Trat	Início	Colheita	Ciclo (dias)	Início	Colheita	Ciclo (dias)
	2010			2011		
<b>T01</b>	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
<b>T02</b>	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
<b>T03</b>	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
<b>T04</b>	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
<b>T05</b>	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
<b>T06</b>	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
<b>T07</b>	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
<b>T08</b>	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
<b>T09</b>	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
<b>T10</b>	19/04	20/07	93	20/05	01/09	105
<b>T11</b>	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
<b>T12</b>	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
<b>T13</b>	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
<b>T14</b>	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
<b>T15</b>	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
<b>T16</b>	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
<b>T0</b>	19/04	17/07	90	20/05	31/08	101

O aumento do ciclo da cultura em 2011 pode estar relacionado aos fatores climáticos, como baixa temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, durante o desenvolvimento do feijoeiro. A Figura 2 apresenta os valores de temperaturas máxima e mínima do ar ao longo do ciclo fenológico do feijoeiro, referente ao primeiro e segundo anos agrícolas (2010 e 2011). No primeiro ano, a temperatura mínima não foi inferior a 15°C nas fases I e II. De maneira geral, os valores ficaram dentro da faixa recomendada por Silva e Ribeiro (2009), os quais indicam como valores ideais da temperatura mínima, média e máxima do ar, 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente.

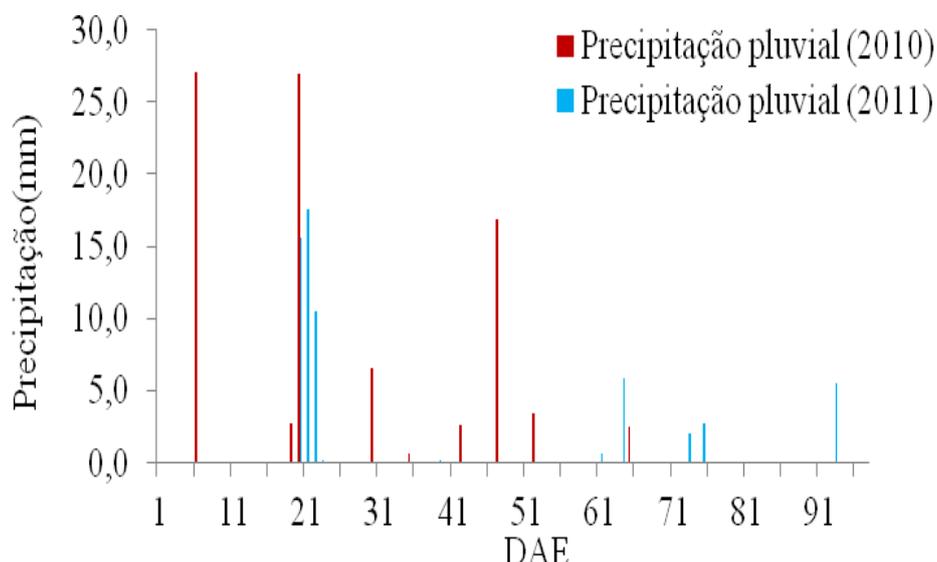
No segundo ano, a temperatura mínima chegou a ficar abaixo de 15°C durante o florescimento e enchimento dos grãos, interferindo no ciclo da cultura. Em consequência da baixa temperatura, os tratamentos com redução da lâmina de 40%, 60% e 80% na fase II, apresentaram menor ciclo em relação ao tratamento que foi mantido sem restrição hídrica.



**FIGURA 2.** Variação das temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) durante o ciclo do feijoeiro, medidas em abrigo meteorológico.

Rosales-Serna et al. (2004) constataram que, sob deficiência hídrica, cultivares tolerantes apresentaram redução no número de dias para maturação. Guimarães et al. (2011) em estudo realizado em feijoeiro comum, com e sem deficiência hídrica durante dois anos de cultivo em Porangatu - GO, não verificaram efeito da deficiência hídrica sobre o aumento na precocidade dos genótipos, sendo que a floração ocorreu, em média, aos 42 dias após a semeadura em ambos os tratamentos hídricos.

As precipitações pluviométricas no primeiro experimento ocorreram durante a fase vegetativa e final de floração. Já no segundo, as precipitações pluviométricas se concentraram, principalmente, no início do terceiro trifólio da fase vegetativa e final do enchimento de grãos (Figura 3).



**FIGURA 3.** Precipitação pluvial durante o ciclo do feijoeiro, cultivar IAC Alvorada.

Os valores da radiação global incidente durante o período experimental (Tabela 4), encontram-se dentro dos intervalos observados por Escobedo et al. (2011). Segundo os autores, a diminuição da transmissividade atmosférica no inverno, se deve às frentes frias na região.

**TABELA 4.** Graus dias, temperatura média mensal, umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) em Botucatu, SP, 2010 e 2011.

Meses do ano	Graus dia (meses)	Temp. média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ )	Vel. do vento (m/s)	Umidade Relativa (%)	Rad. global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )
Ano 2010					
Abril	13,31	23,31	0,72	69,13	16,22
Mai	8,74	18,74	0,84	72,62	13,62
Junho	9,01	19,01	0,86	61,17	13,22
Julho	9,65	19,89	0,65	62,12	13,79
Ano 2011					
Mai	6,79	16,78	0,83	71,69	14,42
Junho	5,89	15,89	0,83	71,55	13,01
Julho	8,39	18,39	0,77	66,68	12,65
Agosto	8,48	18,94	0,71	61,76	14,81
Setembro	3,57	13,57	1,09	62,86	12,50

Na Tabela 5 tem-se um resumo da análise de variância da produtividade de grãos,

vagens por plantas, massa de 100 grãos, número de grãos vagens e vagens chochas, referente ao primeiro e segundo experimentos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação apresentou significância para o número de grãos/vagens no primeiro e segundo experimentos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação não apresentou significância para produtividade de grãos, vagens por plantas, massa de 100 grãos e vagens chochas.

**TABELA 5.** Valores de F e nível de significância na análise de variância na cultura do feijoeiro, submetida a diferentes combinações de lâminas de água aplicada.

Fonte de variação	A	B	AxB	trat/test	anos	CV (%)
Produtividade de grãos						
2010	1,395 <sup>ns</sup>	1,512 <sup>ns</sup>	0,474 <sup>ns</sup>	1,986 <sup>ns</sup>	3,01 <sup>*</sup>	14,28
2011	0,987 <sup>ns</sup>	17,062 <sup>*</sup>	1,078 <sup>ns</sup>	7,772 <sup>*</sup>		10,93
Nº de vagens por planta						
2010	3,429 <sup>*</sup>	6,800 <sup>*</sup>	0,807 <sup>ns</sup>	2,674 <sup>ns</sup>	1,97	16,18
2011	1,361 <sup>ns</sup>	9,170 <sup>*</sup>	0,587 <sup>ns</sup>	3,118 <sup>ns</sup>		18,72
Massa de 100 grãos						
2010	0,043 <sup>ns</sup>	16,223 <sup>*</sup>	0,781 <sup>ns</sup>	3,045 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	3,73
2011	1,351 <sup>ns</sup>	2,069 <sup>ns</sup>	1,547 <sup>ns</sup>	1,185 <sup>*</sup>		3,41
Nº de grãos/vagens						
2010	8,576 <sup>*</sup>	6,668 <sup>*</sup>	4,758 <sup>*</sup>	6,934 <sup>ns</sup>	4,19 <sup>*</sup>	5,34
2011	7,886 <sup>*</sup>	7,230 <sup>*</sup>	4,458 <sup>*</sup>	16,519 <sup>*</sup>		7,32
Nº vagens chochas						
2010	5,870 <sup>ns</sup>	10,319 <sup>ns</sup>	1,263 <sup>ns</sup>	4,755 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	21,44
2011	4,388 <sup>*</sup>	3,005 <sup>*</sup>	1,118 <sup>ns</sup>	2,333 <sup>ns</sup>		34,65

\* e ns são, respectivamente, significativos a 5% e não significativo, pelo teste de F. A letra (I) corresponde ao fator primeira fase e (II) ao fator segunda fase. Assim II1, corresponde a 40% da ETc; II2, 60%; II3, 80% e II4, 100%. Por sua vez, B1 corresponde a 40% da ETc na fase II; B2, 60%; B3, 80% e B4, 100%, respectivamente.

A deficiência hídrica nas fases I e II reduziu o número de grãos por vagens, em comparação ao tratamento sem deficiência hídrica.

As médias obtidas, quanto ao número de grãos por vagens, pela cultivar IAC-Alvorada, submetida à deficiência hídrica nas fases I e II, no primeiro e segundo experimentos, foram menores quando comparadas ao tratamento sem deficiência hídrica (Tabela 6). No segundo experimento, o efeito da deficiência hídrica na fase I foi mais severo quanto maior a redução da lâmina aplicada. O mesmo não foi observado no primeiro experimento.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Molina et al. (2001), os quais observaram que a supressão hídrica ocorrida durante as fases de florescimento, ocasionou redução da maioria das características agrônômicas do feijão.

Miorini (2012) observou que o déficit hídrico ocorrido durante as fases vegetativas, de floração, de enchimento de grãos e maturação, foi significativo para grãos por vagens em relação aos tratamentos irrigados em todas essas fases, com valores médios de 2,43 e 4,26, respectivamente. O mesmo autor também observou que a ausência de água reduziu quase pela metade o número médio de grãos, e, ainda, que o número de grãos por vagens diminuiu quando não se fez a irrigação nas fases vegetativa e de floração.

**TABELA 6.** Grãos/vagens, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

<b>2010</b>		<b>Grãos/vagens</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	3,63	3,51 b	3,44 b	3,79 a
	60	3,55	3,52 b	3,49 ab	3,34 b
	80	3,43 B	3,85 Ab	3,37 Bb	3,39 Bb
	100	3,56 B	4,23 Aa	3,85 Ba	3,52 Bab
Média da testemunha = 3,030			d` = 0,419		
<b>2011</b>		<b>Grãos/vagens</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	3,59 Bb	4,29 A	3,78 ABb	4,27 Aab
	60	3,61 Bb	4,35 A	4,62 Aa	4,45 Aab
	80	4,25 Ba	4,32 AB	4,91 Aa	3,93 Bb
	100	4,43 a	4,40	4,51 a	4,68 a
Média da testemunha = 2,16			d` = 0,647		

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam médias na vertical (fase II) e minúsculas na horizontal fase (I). d` é a diferença mínima significativa pelo teste de Dunnett.

Calvache et al. (1997) verificaram que, para regimes de irrigação com deficiência de água durante a etapa de enchimento de grãos, tem-se um menor número de grãos por vagens, devido ao aborto dos últimos grãos pela planta, abandonando os mais novos e entregando carboidratos aos mais velhos.

Mendes et al. (2007) relataram que a deficiência hídrica tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva em cultivares de feijão de corda Epace 10 e Seridó, em vaso, reduziu significativamente o número de grãos por vagens em ambos os cultivares, em relação ao tratamento controle.

Binotti et al. (2007) afirmaram que o número de grãos por vagem está mais relacionado com a cultivar utilizada, do que com as práticas culturais utilizadas na cultura do feijoeiro, como a irrigação e a adubação nitrogenada, sofrendo pouca influência das mesmas, sendo que estes valores normalmente estão na ordem de 4 a 5 grãos por vagem.

Os resultados das combinações da deficiência hídrica nas fases I e II refletiram na produtividade de grãos para o segundo experimento, o que não foi verificado para o primeiro experimento. De modo geral, verificou-se que a redução de água aplicada na fase II, combinado com a fase I, refletiu em menores produtividades de grãos, comparado ao tratamento sem restrição em nenhuma das fases (Tabela 7).

**TABELA 7.** Produtividade média em ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro referente aos anos de 2010 e 2011.

Lâmina (mm)	Produtividade $\text{kg ha}^{-1}$	
	2010	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	2.424,60	2.814,85
60%	2.431,26	2.951,70
80%	2.388,98	2.973,43
100%	2.619,54	2.988,21
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	2.340,30	2.475,86 c
60%	2.445,51	2.928,44 b
80%	2.475,01	3.076,89 ab
100%	2.603,57	3.247,00 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade na horizontal.

No segundo experimento (2011), houve diferença significativa para os tratamentos da fase II (Tabela 7). Quando se aplicou 40% da ETc, se produziu, em média,  $2.475,86 \text{ kg ha}^{-1}$ , resultado que foi significativamente menor que a produtividade referente a 100% da ETc na fase II, que foi de  $3.247 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Miorini (2012), que obteve queda de 10,7% na produtividade de grãos com a supressão da irrigação apenas durante a maturação, porém, com maiores efeitos verificados para a supressão de irrigação na fase de floração, com redução de 72,8% quando comparado com a irrigação em todas as fases.

Guimarães (1988) relatou que o déficit hídrico na fase vegetativa teve efeito indireto no rendimento de grãos pela redução da área foliar das plantas, enquanto o déficit hídrico durante a floração provocou o abortamento e a queda das flores, e, conseqüentemente, uma redução no rendimento de grãos.

Pereira et al. (1998) encontraram reduções de 36,8%, 31,3% e 50,6% na produção de grãos de feijão da cv. Carioca - MG para déficit hídrico, nas fases de crescimento, floração e frutificação.

Sousa e Lima (2010), avaliando o efeito da deficiência hídrica nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro comum, evidenciaram reduções da produtividade na ordem de 80,49%, 69,14%, 68,61% e 27,29%, para as fases de desenvolvimento vegetativo, pré-floração, plena floração e enchimento de grãos, respectivamente.

Guimarães et al. (2011) no estudo realizado em feijoeiro comum, com e sem deficiência hídrica, durante dois anos de cultivo em Porangatu - GO, verificaram que as médias de produtividade em dois anos de condução dos experimentos, foram de 863 e 2084 kg ha<sup>-1</sup>, com e sem deficiência hídrica, respectivamente.

Garrido (1998) verificou, nas condições do Norte de Minas Gerais, que a deficiência hídrica, no início e no final da floração ou no início da formação e crescimento das vagens, provocou reduções de 16%, 42% e 58% na produção, respectivamente. Já Bezerra et al. (2003) verificaram que o déficit hídrico no enchimento de grãos foi o que causou maior redução na produtividade em feijão caupi.

Os resultados das combinações da deficiência hídrica nas fases I e II refletiram no número de vagens por planta para o primeiro e segundo experimentos (Tabela 8). De modo geral, verificou-se que a redução de água aplicada na fase II, combinado à fase I, resultou em menores vagens por planta, comparado ao tratamento sem restrição em nenhuma das fases durante o ciclo do feijoeiro.

As maiores deficiências hídricas na fase II resultaram em menores vagens por planta. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Aguiar et al. (2008), os quais verificaram que o número de vagens por planta, em ambos os grupos, variou de 50,4% a

69,1% para o grupo preto e de 11,1% a 58,5% para o grupo carioca, em experimento irrigado por aspersão até o início do estágio de desenvolvimento R6 (florescimento), cessando a irrigação por 20 dias nas parcelas submetidas ao estresse hídrico.

**TABELA 8.** Número de vagens por plantas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro, referente aos anos de 2010 e 2011.

Lâmina (mm)	Vagens por planta	
	2010	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	12,66	12,99
60%	13,95	13,45
80%	14,59	12,06
100%	15,10	12,07
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	12,79 b	10,81 b
60%	13,46 b	11,77 b
80%	13,85 b	13,02 ab
100%	16,20 a	14,96 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade na horizontal.

Miorini (2012) verificou que o número médio de vagens diminuiu de aproximadamente 250, com irrigação em todas as fases, para aproximadamente 90, com ausência total de irrigação, mostrando que o número de vagens foi fortemente afetado pela falta de água. O autor ainda observou que essa variável foi afetada quando se realizou a irrigação em apenas uma fase, comparado com a irrigação em todas as fases.

Sousa e Lima (2010), avaliando o efeito da deficiência hídrica para a característica número de vagens por planta, obtiveram os valores de: 6,83; 14,00; 13,56; 19,62 e 20,87 para as fases vegetativa, pré - floração, plena floração, enchimento de grãos e maturação, respectivamente.

Pereira et al. (2004) verificaram que as médias de vagens por planta (5,31; 6,15; 7,25) foram influenciadas pelas lâminas de água aplicadas (128; 190 e 230 mm), respectivamente.

Moraes et al. (2010) em estudo realizado em casa de vegetação, na região de Alegre - ES, verificaram diferença para o número de vagens por plantas, com valores médios de

1,77 e 0,60, com e sem deficiência hídrica, respectivamente. Para as condições com deficiência hídrica após 30 dias da emergência, período de pré-floração e estágio de formação dos botões florais, a irrigação foi interrompida por 15 dias.

Mendes et al. (2007) relaciona que a deficiência hídrica em cultivares de feijão de corda Epace 10 e Seridó, em vaso, tanto na fase vegetativa, quanto na reprodutiva, reduziu significativamente o número de vagens produzidas em ambos os cultivares, em relação ao tratamento controle, sendo as médias dos cultivares (4,50; 4,25 e 7,75) para a deficiência hídrica nas fases vegetativa, reprodutiva e controle, respectivamente.

As combinações da deficiência hídrica nas fases I e II refletiram no resultado do peso de cem grãos no primeiro experimento, sendo que o mesmo não é verificado para o segundo experimento (Tabela 9). De modo geral, observou-se que a redução de água aplicada na fase II, combinado a fase I, apresentou menores pesos para cem grãos de feijão, comparado ao tratamento sem restrição nas duas fases.

**TABELA 9.** Peso de 100 grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro, referente aos anos de 2010 e 2011.

Lâmina (mm)	Peso de 100 grãos	
	2010	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	24,32	27,96
60%	24,25	28,36
80%	24,37	28,03
100%	24,34	27,68
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	23,84 b	27,77
60%	24,01 b	28,00
80%	23,75 b	27,76
100%	24,68 a	28,50

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade na horizontal.

As maiores deficiências hídricas na fase II, combinadas a fase I, resultaram em menores pesos de cem grãos para o ano de 2010, porém o mesmo não foi verificado para o segundo experimento.

Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Pereira et al. (2004), os quais verificaram que a massa de cem grãos foi de 28,93; 28,24 e 27,59 (gramas), sendo estas médias influenciadas pelas lâminas de água aplicadas (128; 190 e 230 mm), respectivamente.

Miorini (2012) verificou que o peso de cem grãos foi mais afetado nos tratamentos com supressão da irrigação nas fases vegetativa e floração, sendo que estes dois tratamentos diferiram do tratamento com irrigação em todas as fases. O mesmo autor também observou que os tratamentos com irrigação apenas na floração, ou durante o enchimento de grãos e na maturação, diferiram do tratamento com irrigação em todas as fases.

Os resultados das combinações da deficiência hídrica nas fases I e II refletiram no número de vagens chochas por planta para o primeiro e segundo experimentos. De modo geral, verificou-se que a redução de água aplicada na fase I, combinada com uma redução de água na fase II, foi significativa, refletindo no aumento de número de vagens chochas por planta, comparado ao tratamento sem restrição em nenhuma das fases durante o ciclo do feijoeiro (Tabela 10).

As maiores deficiências hídricas nas fases I e II resultaram em menores vagens por planta conforme apresentado na Tabela 9.

**TABELA 10.** Vagens chochas nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura do feijoeiro nos anos de 2010 e 2011.

<b>Lâmina (mm)</b>	<b>Vagens chochas</b>	
Ano	2010	2011
Fase -I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	2,00 a	2,16 ab
60%	2,15 a	2,77 a
80%	1,92 ab	1,85 b
100%	1,57 b	2,03 b
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	2,36 a	2,62 a
60%	1,71 a	2,12 ab
80%	1,95 a	1,82 b
100%	1,63 b	1,75 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade na horizontal.

As produtividades de grãos, em kg ha<sup>-1</sup>, entre os experimentos, foram significativas para os tratamentos T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub>, T<sub>0</sub>. Verificou-se que as produtividades no segundo experimento, foram superiores nas parcelas irrigadas em relação à testemunha.

As médias de vagens por planta entre os experimentos foram significativas para os tratamentos T<sub>5</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>16</sub>. Uma das explicações deste aumento de vagens por planta no primeiro experimento em relação ao segundo, correlaciona-se ao menor estande final de plantas por hectare.

No primeiro experimento, verificou-se que a massa de 100 grãos para todos os tratamentos diferiu em relação ao segundo experimento, com valores médios inferiores. As médias de grãos por vagens entre o primeiro e segundo ano foram significativas para os tratamentos T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub>, T<sub>13</sub>, T<sub>15</sub>, T<sub>16</sub>, T<sub>0</sub>. Verificou-se que o número de grãos por vagens foi superior no segundo ano para as condições irrigadas e inferior para a testemunha. Uma das explicações dessas maiores médias de grãos por vagens correlaciona-se ao menor estande final de plantas por hectare. As médias de vagens chochas entre o primeiro e segundo ciclo não foram significativas entre os ciclos (Tabela 11).

**TABELA 11.** Comparação de médias de produtividade em (kg ha<sup>-1</sup>), vagens/planta, massa de 100 grãos em (g) e grãos/vagens, nas fases - I e II.

Trat	Prod. Kg ha <sup>-1</sup>		Vagens/planta		Peso de 100 grãos		Grãos/vagens	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
<b>T01</b>	2.358 A	2.358 A	10,1 A	11,6 A	23,9 B	27,1 A	3,6 A	3,6 A
<b>T02</b>	2.424 A	2.827 A	13,2 A	11,2 A	24,2 B	28,3 A	3,5 A	4,0 A
<b>T03</b>	2.418 A	2.751 A	13,3 A	12,8 A	23,9 B	27,0 A	3,4 A	3,8 A
<b>T04</b>	2.498 B	3.322A	14,0 A	16,3 A	25,1 B	29,3 A	3,6 B	4,3 A
<b>T05</b>	2.375 A	2.303 A	14,0 A	10,3 B	23,9 B	28,8 A	3,4 A	3,2 A
<b>T06</b>	2.216 B	3.093 A	12,7 A	13,5 A	24,2 B	28,1 A	3,5 B	4,1 A
<b>T07</b>	2.432 B	3.239 A	12,8 A	14,0 A	23,6 B	28,2 A	3,7 B	4,4 A
<b>T08</b>	2.701 B	3.171 A	16,2 A	15,9 A	25,2 B	28,3 A	3,5 B	4,4 A
<b>T09</b>	2.202 A	2.639 A	13,0 A	10,0 B	23,6 B	28,1 A	3,4 B	4,2 A
<b>T10</b>	2.563 A	2.764 A	13,9 A	11,4 A	24,1 B	28,0 A	3,6 A	4,2 A
<b>T11</b>	2.375 B	3.205 A	13,7 A	12,6 B	23,7 B	27,7 A	3,5 B	5,2 A
<b>T12</b>	2.414 B	3.284 A	17,6 A	14,2 A	26,1 B	28,3 A	3,2 B	3,9 A
<b>T13</b>	2.426 A	2.602 A	14,0 A	11,2 A	23,9 B	27,1 A	3,7 B	4,4 A
<b>T14</b>	2.577 A	3.029 A	14,0 A	10,9 A	23,5 B	27,6 A	4,0 A	3,9 A
<b>T15</b>	2.674 A	3.111 A	15,5 A	12,7 A	23,7 B	28,0 A	3,6 B	4,5 A
<b>T16</b>	2.801 A	3.210 A	16,9 A	13,4 B	26,2 B	28,0 A	3,5 B	4,7 A
<b>T0</b>	1.633 A	968 B	09,6 A	06,5 A	23,3 B	29,4 A	3,1 A	2,1 B

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si.

Pereira et al. (2011) obtiveram menores médias para os teores de macronutrientes e micronutrientes entre dois anos, atribuindo as variações às diferentes condições climáticas durante os períodos de florescimento e formação de vagens. No segundo ano de estudos, durante o início e a formação das vagens, observou-se alta precipitação e temperatura próxima aos 20°C, enquanto no primeiro experimento, a fase de florescimento coincidiu com o déficit hídrico e com maiores oscilações de temperatura. Em outros casos, sabe-se que tanto o estresse hídrico como a alta temperatura durante o período de enchimento de grãos, podem ser possíveis explicações para as variações na concentração de proteínas, tanto entre locais, como entre anos em um mesmo local (RANGEL et al., 2007).

A produtividade pode ser expressa em função da água utilizada pelo cultivo (SILVEIRA; MOREIRA, 1990) e a partir daí pode-se calcular a eficiência do uso da água ( $\epsilon$ ) do feijoeiro por meio da relação entre a produtividade e a lâmina de água consumida (LC) ao longo do ciclo. As lâminas de água obtidas nos tratamentos foram estimadas com base em um hectare. Desse modo, verificou-se que foram gastos 682,8 e 679,1 litros de água para produzir 1 kg de grãos utilizando o T<sub>16</sub>, referentes ao primeiro e segundo experimentos, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 12.

**TABELA 12.** Eficiência do uso da água ( $\epsilon$ ) kg m<sup>-3</sup> sob diferentes lâminas de água aplicadas em dois períodos distintos.

Trat	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>		Lâmina (mm)		Eficiência ( $\epsilon$ )	
	2010	2011	2010	2010	2010	2011
T01	2.357,91	2.358,54	85,11	96,06	2,8	2,5
T02	2.424,09	2.827,12	107,27	120,71	2,3	2,3
T03	2.418,51	2.751,52	129,43	145,25	1,9	1,9
T04	2.497,89	3.322,27	151,59	169,95	1,6	2,0
T05	2.375,04	2.303,34	98,32	112,15	2,4	2,1
T06	2.216,61	3.092,67	120,48	136,77	1,8	2,3
T07	2.432,15	3.239,53	142,64	161,31	1,7	2,0
T08	2.701,25	3.171,27	164,80	186,01	1,6	1,7
T09	2.202,58	2.639,15	111,53	128,12	2,0	2,1
T10	2.563,64	2.764,37	133,69	152,74	1,9	1,8
T11	2.375,27	3.205,58	155,85	177,28	1,5	1,8
T12	2.414,47	3.284,62	178,01	201,98	1,4	1,6
T13	2.425,69	2.602,43	124,74	144,13	1,9	1,8
T14	2.577,70	3.029,63	146,90	168,75	1,8	1,8
T15	2.674,11	3.110,96	169,06	185,29	1,6	1,7
T16	2.800,69	3.209,85	191,22	217,99	1,5	1,5
T0	1.633,62	968,44	14,38	14,83	11,4	6,5

Em semeadura direta, com a presença de cobertura morta na superfície do solo, há uma maior eficiência no uso da água, devido ao aumento da retenção de água do solo e redução da evaporação, obtendo-se maiores produtividades com menores quantidades de água aplicada (STONE; MOREIRA, 2000). Silveira e Moreira (1990) encontraram valores de 2.000 litros de água para produzir 1 kg de feijão, no período de outono/inverno na região de Cerrado, com produtividade de  $2.325 \text{ kg ha}^{-1}$ , utilizando-se lâminas de 447 mm de água.

No primeiro experimento, as maiores eficiências do uso da água foram encontradas para a combinação de uma lâmina de 40% na fase I e 40% na fase II, 40% na fase I e 60% na fase II e 60% na fase I e 40% na fase II.

No ano de 2011, verificou-se uma maior eficiência do uso da água em relação ao ano de 2010, pois constatou-se maiores produtividades de grãos para os diferentes tratamentos estudados. As maiores eficiências de uso da água foram observadas para as combinações de uma lâmina de 40% na fase I e 40% na fase II; 40% na fase I e 60% na fase II; 60% na fase I e 40% na fase II; 60% na fase I e 60% na fase II, 60% na fase I e 80% na fase II e para a testemunha não irrigada.

#### **4.6 CONCLUSÕES**

A redução da lâmina aplicada na fase I não interferiu na produtividade de grãos.

As maiores reduções de água na fase II afetam com maior intensidade a produtividade de grãos e o número de vagens por planta.

A produtividade de grãos obtida nos tratamentos irrigados diferiu da produtividade da testemunha para o ano de 2011.

A maior produtividade foi de  $3.322 \text{ kg ha}^{-1}$ , para a combinação de uma lâmina de 40% aplicada na fase I com 100% da lâmina aplicada na fase II.

O consumo de água requerido pelo feijoeiro, em seu ciclo total, para o tratamento em que não houve deficiência hídrica, foi de 191,22 mm e 217,99 mm para os anos de 2010 e 2011, respectivamente.

#### **4.7 REFERÊNCIAS**

AGUIAR, R. S. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008

ALLEN, R. G.; PEREIRA L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requerimentes**. Rome FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M.; RODRIGUES, G. C.; GOMES, A. C. Produtividade do Feijão de Inverno Influenciada por Irrigação, Densidade de Plantio e Adubação em Solo de Cerrado, **Comunicado Técnico - Edição: 145**, Planaltina – DF. Maio de 2008.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 248 p. (Documentos).

BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.

BINOTTI, F. F. S. *et al.* Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, v. 66, n. 01, p. 121-129, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365p.

CALVACHE, A. M. *et al.* Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, v. 54, n. 03, p. 232-240, 1997.

CARVALHO, J. J. **Comparação de métodos de manejo da irrigação no feijoeiro, nos sistemas plantio direto e convencional**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 13 de novembro de 2010.

COSTA, J. G. C. Conhecendo a planta do feijoeiro comum. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2009. p. 37-43.

Cruz, C.D. **Programa GENES** - Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Editora UFV, Viçosa, MG, pp. 442, 1997.

CUNHA, A. R.; Klosowski, E. S.; Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Martins, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999, v.1, p.487-490.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p. EMBRAPA, 2009. p. 47 - 63.

EMBRAPA. Centro Nacional. Pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. **Renewable Energy**, Brighton, v. 36, n. 2, p. 169-178, 2011.

FLEXAS, J. et al. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006.

FRIZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GARRIDO, M. A. T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 157-174.

GUIMARÃES, C. et al. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 70-75, 2006.

GUIMARÃES, C. M. et al. Fenotipagem para Tolerância à Deficiência Hídrica da População de Mapeamento de QTL (BRS Primavera x BRS Douradão) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Zoneamento agroclimático da cultura de feijão no Estado do Rio Grande do Sul: recomendações de períodos favoráveis de semeadura por região agroclimática. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. p. 455-458.

MENDES, R. M. S. de. et al. Relações fonte-dreno em feijão- de- corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.1, p.95-103, 2007.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOLINA, J. et al. Response of common bean cultivars and lines to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 363-372, 2001.

MORAES, W. B. et al. Seleção de genótipos de feijoeiro à seca. **Idesia**, Chile, v.28, n.2, p. 53-59, 2010.

OLIVEIRA, P de.; KLUTHCOUSKI. J. Práticas indutoras do crescimento radicular das principais culturas anuais, com ênfase na cultura do feijoeiro. In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L.F.; AIDAR. H (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 185 - 223.

PAVANI, L. C. et al. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2008.

PEREIRA, G. M. et al. efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados em três fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Carioca MG. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 187 - 189.

PEREIRA, J. C. et al. Influência do manejo do solo, lâminas de água e dose de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 13-19, 2004.

PEREIRA, T. et al. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n. 3, p. 477-485, 2011.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 55-61, 1996.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001, 285 p.

RANGEL, M. A. S. et al. Efeitos da interação genótipos x ambientes no rendimento de grãos e nos teores de proteína de cultivares de soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 351 - 354, 2007.

ROSALES-SERNA, R. et al. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in droughtstressed common bean cultivars. *Field Crop Research*, v.85, p. 203-211, 2004.

SILVA, M. G. et al. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas, sob diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 3, p. 433-439, 2006.

SILVA.C. da.; RIBEIRO. J. R. **Zoneamento agroclimático para o feijão (2<sup>a</sup> safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia**. In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L.F.; AIDAR. H (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Respostas do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas e água de irrigação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Santo Antônio de Goiás, GO, v. 14. p. 63-67, 1990.

SILVEIRA, P. M. da; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SOUSA, M. A. de.; LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. carioca comum. **Revista Biosci**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 550 - 557, 2010.

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-41, 2000.

TENNAKOON, S.B.; HULUGALLE, N.R. Impact of crop rotation and minimum tillage on water use efficiency of irrigated cotton in a Vertisol. **Irrigation Science**, Berlin, v.25, n.1, p.45-52, 2006.

### **5 CAPÍTULO 3 – ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO EM SEMEADURA DIRETA, SOB IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT.**

**5.1 RESUMO:** O feijão constitui uma das mais importantes fontes protéicas na dieta humana. A preferência do consumidor é regionalizada e diferenciada, principalmente quanto à cor e ao tipo de grão. Seu cultivo é realizado ao longo do ano, proporcionando uma constante oferta do produto, logo, a preferência do consumidor é por feijões recém-colhidos. As baixas produtividades de feijão estão relacionadas às condições adversas do meio ambiente como água, nutrientes e luz. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irrigação em dois períodos durante o ciclo do feijoeiro IAC-Alvorada, nas fases vegetativa e reprodutiva, com reduções de 60%, 40% e 20%, nas características qualitativas, especificamente teor nutricional dos grãos. O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado. O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférico de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, 16 tratamentos e uma testemunha com quatro repetições, sendo cada parcela de 1,8 m x 4 m. As irrigações foram realizadas diariamente, com o auxílio do tanque Classe A. Avaliaram-se os teores nutricionais de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Mn e Fe). As diferentes lâminas nas fases I e II ocasionaram alterações nos teores de macronutrientes e micronutrientes na cultivar IAC-Alvorada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Irrigação, *Phaseolus vulgaris*, lâmina de água aplicada, peneiras oblongas.

## NUTRITIONAL CONTENT OF DIRECT SEEDING IN GROWING DAWN UNDER WATER DEFICIT.

**5.2 ABSTRACT:** The bean is one of the most important sources of protein in the human diet. Consumer preference is regionalized and differentiated mainly on the color and type of the grain. Its cultivation is performed throughout the year, providing a constant offer of the product, so the consumer preference is for newly harvested beans. The low bean productivities are related to adverse environmental conditions such as water, nutrients and light. The aim of this study was to evaluate the effect of irrigation in two periods during the cycle of the bean plant IAC Alvorada, at the vegetative and reproductive stages, with reductions of 60%, 40% and 20%, in qualitative characteristics, specifically in the nutritional content of the grain. The study was conducted at Fazenda Experimental Lageado. The soil of the experimental area is classified as dystroferric red nitosol (clay texture). The experimental design utilized was that of randomized blocks with 16 treatments and a control with four replications, being each plot of 1.8 m x 4 m. The irrigation was performed daily, using a Class A pan. Were evaluated the levels of macro nutrient (N, P, K, Ca, Mg and S) and micro-nutrients (B, Cu, Mn and Fe). The different depths in phases I and II led to changes in the levels of macronutrients and micronutrients in IAC Alvorada.

**KEYWORDS:** Irrigation, *Phaseolus vulgaris*, applied irrigation depth, oblong sieves.

### 5.3 INTRODUÇÃO

O feijão *Phaseolus vulgaris* L. ocupa lugar de destaque na agricultura brasileira, sendo caracterizado como forte produto no mercado interno, com grãos que representam uma importante fonte de proteínas e minerais na dieta da população, além de possuir notória importância socioeconômica. Os grãos das famílias das leguminosas desempenham um papel importante na dieta da população brasileira, dentre estes, o feijão comum é uma das principais culturas cultivadas no Brasil e no mundo.

O feijão é um dos alimentos básicos de vários povos, principalmente do brasileiro, constituindo a sua principal fonte de proteína vegetal. A maioria das cultivares de feijão utilizadas no Brasil apresenta de 20 a 25% de proteína (BORÉN e CARNEIRO, 2008), sendo este utilizado como alternativa em substituição a carnes e outros produtos proteicos (RIOS et al., 2003).

Dentre os nutrientes essenciais ao ser humano, se destacam: proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras. Com relação aos nutrientes minerais, os grãos de feijão são ricos, principalmente, em potássio (25-30% do conteúdo total de minerais), fósforo (cerca de 0,4%), ferro (cerca de 0,007%), cálcio, zinco e magnésio (ARAÚJO et al., 1996).

A proteína do feijão é rica no aminoácido essencial lisina, porém pobre nos aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína, essenciais ao homem. Já os cereais são pobres em lisina, mas ricos em aminoácidos sulfurados, o que torna a tradicional dieta brasileira, arroz com feijão, complementar em termos de aminoácidos essenciais. Por isso, a combinação com cereais se faz necessária, para que se obtenha uma dieta com conteúdo de aminoácidos mais adequados aos requisitos nutricionais da espécie humana.

Quanto à semeadura, as épocas recomendadas concentram-se, basicamente, em três períodos: cultivo das “águas”, de setembro a dezembro, cultivo da “seca” ou safrinha, de janeiro a março e cultivo de “outono-inverno” ou terceira época, de abril a julho (GONZAGA; BARBOSA, 2012). Geralmente, o feijão é cultivado em sistemas solteiro ou consorciado com outras culturas. Atualmente, é a principal cultura que integra aos sistemas agrícolas irrigados nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste (SILVEIRA et al., 2003), com produtividades de grãos em torno de 3.000 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>.

O nitrogênio é o nutriente mais utilizado para o feijoeiro e tem influência significativa na produtividade (SILVA et al., 2006). O cálcio tem participação na divisão e na alongação celular, com função cimentante, ligando uma célula à outra, na forma de pectato de cálcio, melhorando a qualidade dos frutos e o pegamento das floradas, atuando na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico. Além disso, o cálcio atrasa o amadurecimento dos frutos, a senescência e a abscisão, entre outras funções (MALAVOLTA et al., 1997). O boro atua na divisão e na diferenciação celular, no metabolismo e no transporte de carboidratos; também participa da síntese de compostos da

parede celular e do processo reprodutivo, afetando a polinização, o crescimento do tubo polínico e a produção de frutos e sementes (COETZER et al., 1990). Pastorini et al. (2000) relatam que o fósforo é o nutriente que tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas, sendo que sua baixa disponibilidade no solo afeta negativamente o crescimento das plantas e sua produção.

No Estado de São Paulo o plantio no inverno deve ser realizado nas regiões onde o inverno é ameno, sem ocorrência de geadas. Neste caso, o agricultor precisa irrigar a lavoura, pois nem sempre as chuvas são suficientes durante todo o ciclo da cultura, sendo conveniente, neste caso, complementar o fornecimento de água com irrigação. O requerimento de água pela cultura do feijão é variável com o seu estágio de desenvolvimento.

Na região do Cerrado, a cultura do feijão é explorada sob regime de irrigação por aspersão e apresenta rentabilidade e rápido retorno econômico. Todavia, o manejo correto da irrigação com dosagens adequadas de adubação em momentos oportunos e equilibrada população de plantas, são fundamentais para maiores níveis de produtividade do feijoeiro, acima de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, compatíveis com uma agricultura irrigada em bases racionais (AZEVEDO, 2008).

A tolerância à deficiência hídrica é uma característica importante em qualquer cultivo, principalmente no feijoeiro, tornando-se possível a sua produção em extensas áreas. A maneira como a deficiência hídrica se manifesta na planta do feijoeiro é bastante complexa, pois afeta praticamente todos os processos do crescimento, sendo que, os prejuízos causados dependem da duração, do tipo de estresse, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre.

A cultura do feijão vem passando por transformações tecnológicas para garantir sua sustentabilidade no mercado. Para tanto, a obtenção de cultivares com elevado potencial produtivo e adaptadas ao ambiente de cultivo, juntamente aos sistemas conservacionista de manejo de solo e colheita mecanizada, devem estar aliadas à nutrição mineral adequada e equilibrada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores nutricionais de macro e micronutrientes em grãos de feijão da cultivar IAC-Alvorada, a fim de se obter o acúmulo

de nutrientes em grãos, em resposta aos tratamentos com deficiência hídrica em duas fases fenológicas durante o ciclo do feijoeiro.

#### 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido numa área de 1.600 m<sup>2</sup> no ano de 2010 e repetido no ano posterior (2011), na mesma área, utilizando-se o sistema de semeadura direta durante o inverno, na Fazenda Experimental Lageado pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, *Campus* de Botucatu, na região centro oeste do Estado de São Paulo que se encontra a 22°51' de latitude sul, 48°26' de longitude oeste de Greenwich, e altitude de 786 metros.

De acordo com Cepagri (2010), pela classificação de Koeppen, o tipo climático é o Cwa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. O período seco compreende os meses de abril a agosto, e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com uma pluviosidade total anual média de 1.314 mm e temperatura média mensal de 19,4°C. A temperatura média diária do mês mais frio (julho) é de aproximadamente 17,1°C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23°C (CUNHA et al., 1999; CUNHA; MARTINS, 2009).

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). As características químicas e físicas foram avaliadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo, a partir de amostras obtidas de vinte e quatro trincheiras. As coletas de solo foram obtidas nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm de profundidade. As análises química e física do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP - Botucatu, de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). As determinações das frações granulométricas do solo (areia total, silte e argila) e da densidade, seguiram a metodologia da EMBRAPA (1997).

Os valores médios das características químicas do solo, na camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, foram de: 4,7 de pH em CaCl<sub>2</sub>; 21,0 g/dm<sup>3</sup> de matéria orgânica; 4,7 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>resina</sub>; 1,7; 13; 7; 30 e 1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente, de K, Ca,

Mg, H + Al e Al, e 41,5% de saturação por bases (V%), 0,16; 11,55; 38,5; 13,85; 1,15 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. Neste mesmo período, obteve-se a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, com valores de 1,35 e 1,38 g/cm<sup>3</sup> para 0 a 15 cm e 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente. Obteve-se também a análise granulométrica do solo, com valores de 42,31, 44,47 e 13,21% de areia, silte e argila, respectivamente.

No segundo ano, na mesma camada de 0-0 a 0,2 m, antes da instalação do ensaio, tais valores foram de: 4,85 de pH em CaCl<sub>2</sub>; 24,0 g/dm<sup>3</sup> de matéria orgânica; 24 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>resina</sub>; 1,9; 29; 14; 40 e 1 mmol/dm<sup>3</sup>, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al e Al, e 51% de saturação por bases (V%); 0,28; 11,9; 43,5; 16,5; 1,2 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zinco, respectivamente. Neste mesmo período, obteve-se a densidade do solo pela metodologia do torrão parafinado, com valores de 1,39 e 1,41 g/kg para as camadas de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm de profundidade, respectivamente. As análises citadas foram efetuadas quatro meses antes da instalação do experimento no campo. As coletas dos torrões foram realizadas com o auxílio de um enxadão, e durante o procedimento procurou-se evitar a compactação do mesmo.

A calagem do solo no primeiro e segundo anos de experimento foi realizada 90 dias antes do plantio e constou de uma necessidade de 1,6 e 1,9 t, respectivamente. Utilizou-se calcário dolomítico, com PRNT de 90%, com o objetivo de elevar a 70% o índice de saturação por bases (V%) ao nível adequado à planta, além de neutralizar os efeitos nocivos do alumínio. O calcário foi distribuído manualmente na superfície do solo, em toda a área experimental.

A cultivar utilizada foi a IAC - Alvorada do grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado tipo III e porte semi-prostado. A semeadura direta foi realizada no dia 10/05/2011, estação outono-inverno, na área experimental do segundo ano de plantio direto.

As sementes foram tratadas utilizando-se fungicidas e inseticidas sistêmicos, conforme as dosagens recomendadas pelos seus fabricantes: 300 mL para 100 kg de sementes de feijão.

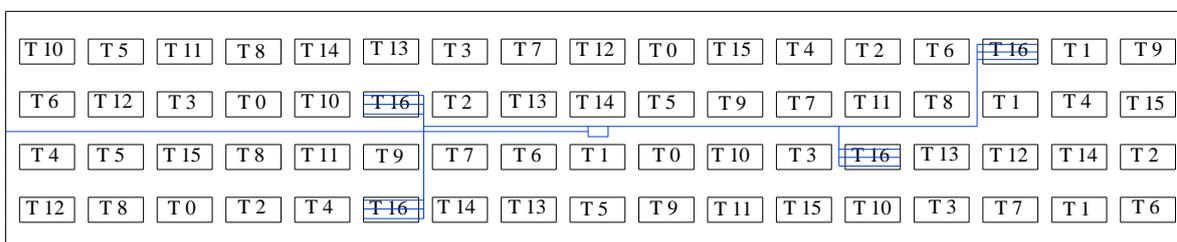
A semeadura direta da cv. IAC-Alvorada foi realizada nos dias 09/04/2010 e 10/05/2011, respectivamente, no espaçamento de 0,45 entre linhas e com 13 sementes por

metro linear, de modo a obter uma densidade final de 200.000 a 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se semeadora-adubadora, modelo exacta air JM 2980 PD Jumil, seguindo a curva de nível do terreno. A adubação de plantio foi baseada na análise química do solo, sendo adicionados 321 e 145 kg ha<sup>-1</sup> de adubo granulado na formulação 8-28-16+zinco e 70 kg de N aplicado em cobertura e dividido em duas aplicações, a fim de se obter uma produtividade de 2,5 a 3,5 t. Utilizou-se sulfato de amônio para o primeiro ciclo e uréia para o segundo ciclo.

O controle das plantas daninhas que surgiram na área foi efetuado por meio de aplicações do herbicida fluazifop-p-butil + fomesafen, cujas dosagens foram de 0,8 L ha<sup>-1</sup>. Os demais tratos culturais e fitossanitários foram efetuados de acordo com as recomendações para a cultura do feijão, quando necessário.

Nos experimentos, cada parcela experimental, com uma área total de 7,2 m<sup>2</sup> (4 m x 1,8 m), era constituída de quatro linhas de feijão, com três linhas laterais de irrigação nas entrelinhas do feijoeiro.

A distribuição das parcelas na área experimental está apresentada na Figura 1.



**FIGURA 1.** Esquema representativo e distribuição dos tratamentos experimentais, com as quatro repetições durante o ensaio de campo.

O espaçamento entre blocos foi de 2 m e entre as parcelas, de 1,5 m. Para efeito de avaliação, as linhas externas de cada parcela foram consideradas como bordadura, além das duas extremidades de cada parcela, totalizando 1 m.

Antecedendo a semeadura até o início da diferenciação dos tratamentos foram feitas irrigações em todo o experimento, utilizando-se o sistema de aspersão convencional. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas para que o solo atingisse um índice de umidade que favorecesse a emergência e o estabelecimento da cultura. A diferenciação dos tratamentos, quanto à irrigação, teve início ao nono dia após a semeadura. A partir desta

data, a irrigação foi realizada utilizando-se o sistema de gotejamento de maneira diferenciada, conforme os tratamentos.

Para compor os tratamentos, variou-se a lâmina de irrigação e o período de aplicação. Os níveis de irrigação foram quatro, a saber: 40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura. O ciclo do feijoeiro foi dividido em duas fases: fase I, vegetativa, tendo início após a emergência até o florescimento e fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (4 blocos), com 17 tratamentos em esquema fatorial (4x4)+1 testemunha, conforme Tabela 1.

**TABELA 1.** Descrição dos tratamentos envolvendo a combinação de diferentes lâminas de irrigação aplicadas em duas fases do ciclo do feijoeiro (Emergência ao pleno florescimento; Florescimento a maturação).

<b>Tratamentos</b>	<b>Emergência ao florescimento: Fase - I</b>	<b>Florescimento a maturação: fase - II</b>
T01	40% da ETc	40% da ETc
T02	40%	60%
T03	40%	80%
T04	40%	100%
T05	60%	40%
T06	60%	60%
T07	60%	80%
T08	60%	100%
T09	80%	40%
T10	80%	60%
T11	80%	80%
T12	80%	100%
T13	100%	40%
T14	100%	60%
T15	100%	80%
T16	100%	100%
T0	-	-

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, utilizando-se mangueiras gotejadoras com espessura da parede de 625 micra, possuindo um gotejador labirinto tipo

plano, espaçados de 20 cm entre si, com vazão de 7,5 L/h/m na pressão de 100 kPa e expoente da equação de vazão do emissor (x) igual a 0,461. Optou-se pelo sistema de gotejamento porque este apresenta maior uniformidade, e, conseqüentemente, melhor controle d'água aplicada em cada parcela, além de permitir parcelas experimentais de menor tamanho e próximas entre si, o que não seria possível com o aspersor convencional.

As linhas laterais foram distribuídas no espaçamento de 0,45 m, entre as linhas do feijoeiro, as quais formavam uma faixa contínua molhada na área útil da parcela.

O bombeamento de água foi realizado com um conjunto de moto-bomba de 1 cv, a partir de um reservatório de 6.000 litros, e, acoplados ao sistema de irrigação, registros, um filtro de disco e manômetros.

A capacidade de armazenamento de água do solo foi de 12,6 mm, para uma profundidade efetiva de solo de 30 cm. Nas condições do experimento no campo, quando se atingia o momento de irrigar, eram necessários 50 minutos de irrigação para atingir a capacidade de campo, considerando a eficiência do sistema de 90% e a profundidade efetiva do feijoeiro a 0,3 m.

O manejo das irrigações foi baseado no cálculo da evapotranspiração de referência (Eto) a partir de dados de evaporação do tanque Classe A, situado na Estação Agroclimatologia da FCA-UNESP, a cerca de 150 m de distância do local do experimento e corrigido pelo coeficiente de correção (Kp) conforme (Allen *et al*, 1998).

O tratamento T<sub>16</sub> foi mantido como referencial sem restrição de água, tanto na fase inicial quanto na fase reprodutiva. Com as combinações, os demais tratamentos tiveram redução da lâmina em umas das duas fases (I e II), além disso, um tratamento não foi irrigado.

A primeira fase (I) teve início quando a planta encontrava-se no estágio V<sub>2</sub> (22 DAE) ao florescimento (40 DAE), num período médio de 18 dias. A segunda fase teve início no florescimento indo até a maturação fisiológica dos grãos (40 a 60 DAE). A testemunha não foi irrigada em nenhuma das fases analisadas.

No campo, a lâmina de água aplicada em cada parcela foi controlada em função do tempo, pela vazão dos emissores de cada parcela. Com registros instalados em cada tratamento, e com um cronômetro, determinou-se diariamente o tempo de irrigação para a

parcela referência, e, posteriormente, obteve-se o tempo necessário, correspondente às lâminas com reduções de 80%, 60% e 20% referentes às fases I e II.

O florescimento pleno da cultura ocorreu 41 DAE e o ciclo teve a duração de 107 dias para o T16, com redução para os demais tratamentos avaliados comparativamente.

Por ocasião da colheita, foram coletadas as duas fileiras da área útil de cada parcela. As plantas foram cortadas rente ao solo e levadas ao laboratório e, em seguida, submetidas à trilha manual; a umidade dos grãos foi corrigida para  $0,13 \text{ kg ha}^{-1}$  (base úmida), obtendo-se a produtividade de grãos.

Uma amostra foi obtida de cada parcela, tendo como objetivo, obter o teor nutricional de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) após a colheita. Os grãos em cada parcela foram secos em estufa com circulação forçada de ar a  $60-70^{\circ}\text{C}$ , até atingir massa constante, e, em seguida, foram moídos e submetidos à análise, conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

Foi realizada análise de variância com aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de significância pelo programa Sisvar 5.0.

## **5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.5.1 Irrigação e variáveis meteorológicas**

As lâminas de irrigação aplicadas, somando-se as precipitações pluviométricas efetivas que ocorreram durante o ciclo do feijoeiro nas fases I e II, corresponderam a um valor total de 191,22 mm e 217,99 mm para o primeiro e segundo anos, respectivamente. Verificou-se que as lâminas aplicadas nas fases I e II foram maiores no ano agrícola de 2011, em comparação ao ano de 2010. Os valores das lâminas aplicadas em cada fase, para cada tratamento e a precipitação efetiva, estão descritos na Tabela 2.

A precipitação pluviométrica efetiva durante as fases I e II do ano de 2010 correspondem a 5,26 mm e 9,12 mm, respectivamente, totalizando 14,38 mm. Em 2011, a precipitação efetiva foi de 5,19 mm e 9,64 mm nas fases I e II, respectivamente, totalizando 14,83 mm.

**TABELA 2.** Lâminas de irrigação em mm, da emergência ao pleno florescimento Fase I, e do florescimento a maturação fase II, e a lâmina total de irrigação, considerando-se a precipitação efetiva para os anos de 2010 e 2011.

<b>Lâmina em (mm) nas fases I, II; e I + II + precipitação efetiva (Pe).</b>								
<b>Fases</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I + II</b>	<b>I + II + P</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I + II</b>	<b>I + II + P</b>
<b>Trat</b>	<b>2010</b>				<b>2011</b>			
<b>T1</b>	26,42	44,31	70,73	85,11	32,02	49,24	81,23	96,06
<b>T2</b>	26,42	66,47	92,89	107,27	32,02	73,86	105,88	120,71
<b>T3</b>	26,42	88,63	115,05	129,43	32,02	98,40	130,42	145,25
<b>T4</b>	26,42	110,79	137,21	151,59	32,02	123,10	155,12	169,95
<b>T5</b>	39,63	44,31	83,94	98,32	48,08	49,24	97,32	112,15
<b>T6</b>	39,63	66,47	106,10	120,48	48,08	73,86	121,94	136,77
<b>T7</b>	39,63	88,63	128,26	142,64	48,08	98,40	146,48	161,31
<b>T8</b>	39,63	110,79	150,42	164,80	48,08	123,10	171,18	186,01
<b>T9</b>	52,84	44,31	97,15	111,53	64,05	49,24	113,29	128,12
<b>T10</b>	52,84	66,47	119,31	133,69	64,05	73,86	137,91	152,74
<b>T11</b>	52,84	88,63	141,47	155,85	64,05	98,40	162,45	177,28
<b>T12</b>	52,84	110,79	163,63	178,01	64,05	123,10	187,15	201,98
<b>T13</b>	66,05	44,31	110,36	124,74	80,06	49,24	129,30	144,13
<b>T14</b>	66,05	66,47	132,52	146,90	80,06	73,86	153,92	168,75
<b>T15</b>	66,05	88,63	154,68	169,06	80,06	90,40	170,46	185,29
<b>T16</b>	66,05	110,79	176,84	191,22	80,06	123,10	203,16	217,99
<b>T0</b>	-	-	-	14,38	-	-	-	14,83

\*Pe - Precipitação pluvial efetiva ano de 2010 e 2011.

A colheita do feijoeiro no primeiro ciclo foi realizada no período compreendido entre os dias 17 a 22 de julho de 2010 (Tabela 3), totalizando ciclos de 90 a 95 dias para os diferentes tratamentos avaliados. O tratamento com 100% da ETc nas duas fases apresentou ciclo de 95 dias, enquanto o tratamento não irrigado apresentou ciclo de 90 dias.

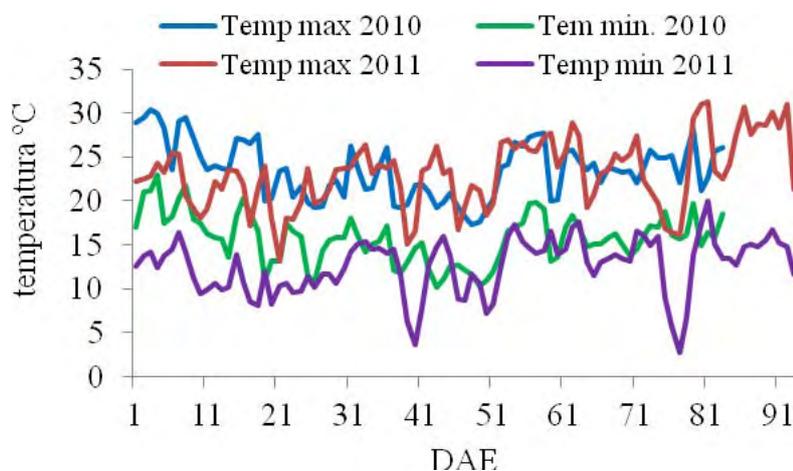
Em 2011, no segundo experimento, a colheita foi realizada no período de 31 de agosto a 03 de setembro de 2011, com o ciclo variando de 100 a 107 dias entre os tratamentos avaliados.

No primeiro ciclo a colheita do feijão ocorreu no mês de julho e no segundo ciclo, de agosto a setembro, respectivamente.

**TABELA 3.** Períodos compreendidos entre início do experimento e a colheita, com o número de dias respectivos para os tratamentos avaliados.

Trat	Início	Colheita	Ciclo (dias)	Início	Colheita	Ciclo (dias)
	2010			2011		
T01	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
T02	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
T03	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
T04	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
T05	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
T06	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
T07	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
T08	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
T09	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
T10	19/04	20/07	93	20/05	01/09	105
T11	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
T12	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
T13	19/04	20/07	93	20/05	01/09	104
T14	19/04	20/07	93	20/05	02/09	105
T15	19/04	22/07	95	20/05	03/09	106
T16	19/04	22/07	95	20/05	05/09	107
T0	19/04	17/07	90	20/05	31/08	101

O aumento do ciclo da cultura em 2011 pode estar relacionado aos fatores climáticos, como baixa temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar durante o desenvolvimento do feijoeiro. A Figura 2 apresenta os valores de temperaturas máxima e mínima do ar, ao longo do ciclo fenológico do feijoeiro, referente ao primeiro e segundo anos agrícolas (2010 e 2011).



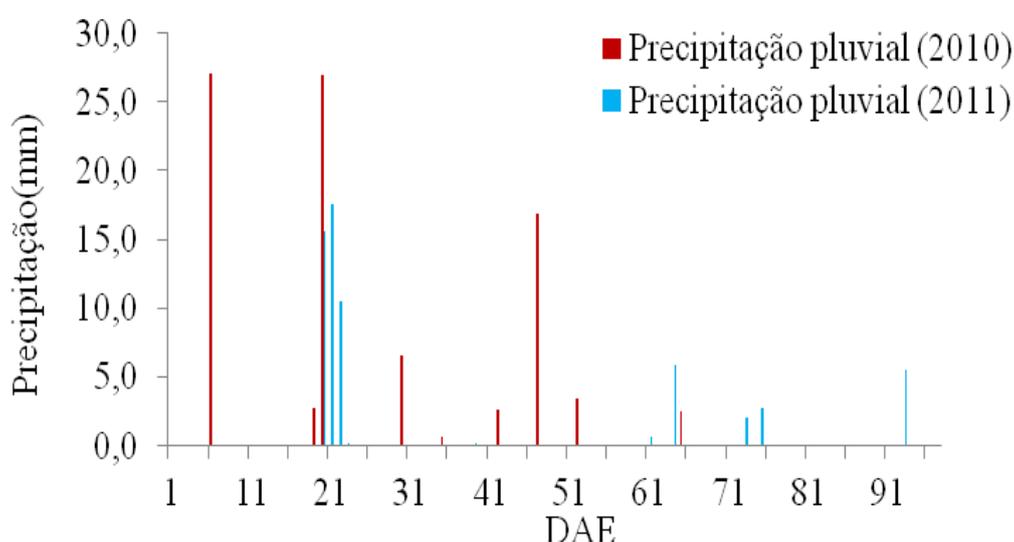
**FIGURA 2.** Variação das temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) durante o ciclo do feijoeiro, medida em abrigo meteorológico.

No primeiro ano, a temperatura mínima não foi inferior a 15 °C nas fases I e II. De maneira geral, os valores ficaram dentro da faixa recomendada por Silva e Ribeiro (2009), os quais indicam como valores ideais da temperatura do ar mínima, média e máxima, 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente.

No segundo ano, a temperatura mínima chegou a ficar abaixo de 15°C durante o florescimento e o enchimento de grãos, interferindo no ciclo da cultura. Em consequência da baixa temperatura, os tratamentos com redução da lâmina de 40%, 60% e 80% na fase II, apresentaram menor ciclo em relação ao tratamento que foi mantido sem restrição hídrica.

Rosales-Serna et al. (2004) constataram que, sob deficiência hídrica, cultivares tolerantes apresentaram redução no número de dias para maturação. Guimarães et al. (2011) em estudo realizado em feijoeiro comum, com e sem deficiência hídrica, durante dois anos de cultivo em Porangatu - GO, não verificaram efeito da deficiência hídrica sobre o aumento na precocidade dos genótipos, sendo que a floração ocorreu, em média, aos 42 dias após a semeadura em ambos os tratamentos hídricos.

As precipitações pluviométricas no primeiro experimento ocorreram durante a fase vegetativa e final de floração. Já no segundo experimento, as precipitações pluviométricas se concentraram, principalmente, no início do terceiro trifólio da fase vegetativa e final do enchimento de grãos (Figura 3).



**FIGURA 3.** Precipitação pluvial durante o ciclo do feijoeiro IAC-Alvorada.

Na Tabela 4, encontra-se um resumo da análise de variância, para os teores nutricionais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre e ferro no primeiro e segundo experimentos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação apresentou significância para enxofre e ferro para o primeiro e segundo anos. A interação tratamentos x lâminas de irrigação não apresentou significância para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre.

**TABELA 4:** Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância na cultura do feijoeiro submetidos a diferentes combinações de lâminas de água aplicada.

Fonte de variação	A	B	AxB	trat/test	anos	CV (%)
Nitrogênio						
2010	0,49 <sup>ns</sup>	2,58 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>*</sup>	53,96 <sup>*</sup>	9,68
2011	1,75 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>*</sup>		8,43
Fósforo						
2010	2,00 <sup>ns</sup>	3,18 <sup>*</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>*</sup>	81,29 <sup>*</sup>	8,57
2011	6,62 <sup>*</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>*</sup>		9,11
Potássio						
2010	1,78 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>*</sup>	365,42 <sup>*</sup>	11,3
2011	0,28 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>*</sup>		10,83
Cálcio						
2010	0,20 <sup>ns</sup>	1,83 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>*</sup>	10,19 <sup>*</sup>	11,66
2011	0,28 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>*</sup>		15,71
Magnésio						
2010	0,51 <sup>ns</sup>	5,52 <sup>*</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	249,15 <sup>*</sup>	7,68
2011	0,51 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	4,12 <sup>ns</sup>		12,18
Enxofre						
2010	15,38 <sup>*</sup>	4,55 <sup>*</sup>	4,26 <sup>*</sup>	6,23 <sup>ns</sup>	80,35 <sup>*</sup>	20,00
2011	8,99 <sup>*</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>*</sup>		23,42
Boro						
2010	0,23 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>*</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	14,64
2011	4,26 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>ns</sup>		5,25
Cobre						
2010	0,95 <sup>ns</sup>		1,05 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>*</sup>	2,63 <sup>ns</sup>	12,9
2011	0,35 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>*</sup>		24,72
Ferro						
2010	15,40 <sup>*</sup>	15,98 <sup>*</sup>	8,95 <sup>*</sup>	16,67 <sup>ns</sup>	265,85 <sup>*</sup>	9,1
2011	2,74 <sup>*</sup>	3,23 <sup>*</sup>	2,57 <sup>*</sup>	2,03 <sup>*</sup>		23,42

\* e ns são, respectivamente, significativo a 5% e não significativo, pelo teste de F. A letra a corresponde ao fator da primeira fase e b o fator da segunda fase. Assim a1, corresponde a 40%; a2 60%; a3 80 e a4 100%. e b1 corresponde: 40%; b2 60%; b3 80% e b4 100% respectivamente.

Os teores de ferro nos grãos variaram entre 341 a 611 e 156 a 257 mg kg<sup>-1</sup> no primeiro e segundo anos de cultivo, respectivamente (Tabela 5). Estes resultados foram superiores aos teores médios obtidos em grãos de feijão comerciais (88 e de 100 mg kg<sup>-1</sup>) para o primeiro e segundo anos, respectivamente (PEREIRA et al., 2011). Estes autores verificaram que a cultivar BRS - Valente apresentou médias de 88,0 e 132,0 para o primeiro ano e segundo anos, respectivamente, sendo que essas médias diferiram entre anos, enquanto as médias das demais cultivares comerciais IPR - 88 Uirapuru, Pérola, IAPAR 81 e BAF 110 "Guará" não foram significativas entre anos.

**TABELA 5.** Teor de ferro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

<b>2010</b>		<b>Ferro (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	251,50 aA	206,50 aB	237,00 aAB	191,50 B
	60	251,25 aA	157,75 cB	190,50 bB	186,00 B
	80	176,75 bB	167,25 cbB	204,75 aA	257,00 AB
	100	197,50 bB	196,25 baB	238,50 aA	196,00 B
	Média da testemunha = 156,00		d <sup>*</sup> = 37,242		
<b>2011</b>		<b>Ferro (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>			
Fases (a*b)		Fase - II			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	377,25 B	607,00 Aa	417,50 AB	453,50 ABab
	60	390,50 C	598,25 BAa	403,75 CB	611,25 Aa
	80	341,25	394,50 b	422,50	463,00 ab
	100	449,75	348,00 b	470,50	411,75 b
	Média da testemunha = 460,50		d <sup>*</sup> = 213,786		

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os teores de enxofre nos grãos, para o ano de 2010, não foram significativos para as fases I e II. No segundo ano de cultivo, variaram entre 1,8 a 2,4 g kg<sup>-1</sup> para fase I e não diferiram na segunda fase, conforme apresentado na (Tabela 6). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Buratto (2012) em cultivares de feijão comum, com valores médios de 2,6 g kg<sup>-1</sup> referente à safra de 2009, em Ponta Grossa, Paraná.

**TABELA 6.** Teor de enxofre em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação no ciclo da cultura.

2010		Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )			
Fases (a*b)		Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)			
	(%)	40	60	80	100
Fase - I	40	1,9 c	2,0	2,0 b	1,9 b
	60	1,8 cB	1,9 AB	2,1 abA	1,8 bAB
	80	2,2 bAB	2,0 B	2,3 aA	2,0 abB
	100	2,4 aA	2,1 B	2,0 bB	2,2 aAB
	Média da testemunha = 1,80		d` = 0,291		

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os resultados obtidos mostram que a deficiência hídrica, ocorridas durante a fase II, teve influência na redução do teor de nitrogênio e magnésio, pois a menor lâmina aplicada durante essa fase (maior a deficiência hídrica) resultou em menores médias para os teores de nitrogênio e magnésio (Tabela 7).

**TABELA 7.** Teores de magnésio e proteína total em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano 2010.

Lâmina (mm)	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )	Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )
ano	2010	2010
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	31,4	4,0
60%	30,7	3,9
80%	32,0	4,0
100%	31,3	4,0
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	31,1 ab	3,9 ab
60%	29,8 b	3,8 b
80%	31,8 ab	4,1 a
100%	32,7 a	4,2 a

Os teores de nitrogênio nos grãos, no segundo ano de cultivo, foram influenciados pelas variações das lâminas na fase II. Onde as médias foram de 29,8 a 32,7 g kg<sup>-1</sup>. Estes resultados foram inferiores aos obtidos por Pereira et al. (2011), que verificaram média de

44,6 e 35,0 g kg<sup>-1</sup>, para o primeiro e segundo anos, respectivamente, para a cultivar comercial Pérola.

Os teores de magnésio nos grãos variaram entre 3,8 a 4,2 g kg<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo, para as fases I e II, respectivamente. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Pereira et al. (2011), que verificaram média de 2,00 e 1,07g kg<sup>-1</sup>, para o primeiro e segundo anos, respectivamente, para a cultivar comercial Pérola.

Os resultados obtidos mostram que a deficiência hídrica ocorrida durante a fase I, teve influência na redução do teor de fósforo, pois o menor volume de água aplicada durante essa fase (maior a deficiência hídrica) gerou menores médias nos teores de fósforo. Os teores médios de fósforo na segunda fase não diferiram entre os tratamentos avaliados (Tabela 8).

**TABELA 8.** Teor de fósforo e boro em grãos, nas diferentes combinações de lâminas de irrigação durante o ciclo do feijoeiro referente ao ano de 2011.

<b>Lâmina (mm)</b>	<b>Fósforo (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Boro (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
ano	2011	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	3,2 c	36,4 ab
60%	3,3 bc	35,9 b
80%	3,6 a	37,7 ab
100%	3,4 ab	37,9 a
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	3,3	36,7
60%	3,3	37,6
80%	3,4	36,9
100%	3,4	36,7

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si; médias seguidas pelas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si.

Os teores de fósforo nos grãos variaram entre 3,2 a 3,6 g kg<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo, para as fases I e II, respectivamente. Estes resultados foram superiores aos teores médios obtidos em grãos de feijão (5,31e 4,46 mg kg<sup>-1</sup>) para o primeiro e segundo anos de cultivo, respectivamente, para o cultivar comercial Pérola (Pereira et al., 2011). Estes

autores verificaram que a cultivar Uirapuru não diferiu entre o primeiro e segundo anos de cultivo, com valores de 4,17 e 4,41 g kg<sup>-1</sup>.

Os teores de boro nos grãos variaram entre 35,9 a 37,9 mg kg<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Ribeiro et al. (2008) em cultivares de feijão de cores com valores médios de 8,27 mg kg<sup>-1</sup> observados em dois ambientes.

Thung e Oliveira (1998) mencionam que as plantas e as sementes do feijoeiro obtidas com diferentes práticas culturais diferem no teor de nutrientes.

As médias dos teores dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro) no segundo ciclo, diferiram entre os dois anos de cultivo. A diferença entre o teor de nitrogênio, kg ha<sup>-1</sup> para o primeiro e segundo ciclos, foi significativa para os tratamentos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>10</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>14</sub>, T<sub>0</sub>.

O teor de nitrogênio no segundo ciclo foi superior para as condições irrigadas e inferior para a testemunha. Os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro foram significativos entre os anos de cultivo, sendo as médias superiores para o segundo ciclo em relação ao primeiro ano. Uma das explicações desses maiores valores dos teores fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro, está relacionado à melhoria das características químicas do solo no segundo ano em relação ao primeiro ano. Para o nitrogênio e boro, a média da testemunha no segundo ano foi inferior em relação ao primeiro ano de cultivo. Uma das explicações está relacionada à menor precipitação pluvial durante o segundo ciclo em relação ao primeiro ciclo (Tabelas 9, 10 e 11).

Pereira et al. (2011) obtiveram menores médias para os teores de macronutrientes e micronutrientes entre os dois ciclos. Estes autores mencionam que as variações são devidas às diferentes condições climáticas durante os períodos de florescimento e formação de vagens. No segundo ano, durante o início da formação das vagens, observou-se alta precipitação e temperatura próxima aos 20 °C. No primeiro ano, a fase de florescimento coincidiu com déficit hídrico e maiores oscilações de temperatura.

Tanto o estresse hídrico quanto a alta temperatura durante o período de enchimento de grãos, podem ser a explicação para as variações na concentração de proteínas, tanto entre locais, como entre anos em um mesmo local (RANGEL et al., 2007).

**TABELA 9:** Teor de nitrogênio, fósforo e potássio em grãos de feijão IAC-Alvorada.

Trat	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )		Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )		Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
<b>Ano</b>						
<b>T01</b>	30,08 B	35,19 A	2,55 B	3,13 A	19,25 B	36,03 A
<b>T02</b>	30,01 B	36,45 A	2,45 B	3,03 A	19,00 B	37,93 A
<b>T03</b>	32,73 A	33,97 A	2,65 B	3,23 A	22,00 B	38,68 A
<b>T04</b>	32,88 A	35,61 A	2,63 B	3,16 A	19,75 B	34,00 A
<b>T05</b>	29,96 A	34,09 A	2,53 B	3,37 A	20,00 B	41,13 A
<b>T06</b>	29,14 B	35,88 A	2,58 B	3,44 A	20,50 B	37,58 A
<b>T07</b>	33,50 B	34,76 A	2,83 B	3,13 A	22,50 B	34,40 A
<b>T08</b>	31,48 A	36,37 A	2,58 B	3,52 A	20,75 B	37,83 A
<b>T09</b>	33,95 B	34,65 A	2,73 B	3,51 A	22,75 B	36,93 A
<b>T10</b>	32,69 B	35,82 A	2,78 B	3,40 A	22,75 B	37,40 A
<b>T11</b>	32,39 B	37,40 A	2,93 B	3,62 A	21,75 B	35,13 A
<b>T12</b>	30,00 A	37,36 A	2,50 B	3,46 A	21,00 B	36,58 A
<b>T13</b>	30,14 A	31,05 A	2,30 B	3,12 A	20,50 B	38,75 A
<b>T14</b>	30,08 B	36,03 A	2,65 B	3,70 A	21,50 B	39,18 A
<b>T15</b>	32,24 A	36,05 A	2,60 B	3,46 A	20,75 B	38,60 A
<b>T16</b>	30,42 A	34,51 A	2,83 B	3,46 A	22,00 B	37,13 A
<b>T0</b>	27,74 B	33,39 A	2,30 B	3,21 A	20,50 B	34,80 A

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si.

**TABELA 10:** Teor de cálcio, magnésio e enxofre em grãos de feijão IAC-Alvorada.

Trat	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )		Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )		Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
<b>T01</b>	11,75 A	12,05 A	3,73 B	4,78 A	1,93 B	2,76 A
<b>T02</b>	11,00 B	14,05 A	4,00 B	5,35 A	2,00 B	2,76 A
<b>T03</b>	11,25 A	13,00 A	4,50 B	5,15 A	2,14 B	2,64 A
<b>T04</b>	13,00 A	15,40 A	3,98 B	5,10 A	1,95 B	2,72 A
<b>T05</b>	11,75 A	14,73 A	3,73 B	4,75 A	1,80 B	2,82 A
<b>T06</b>	11,75 A	14,10 A	3,98 B	5,50 A	1,90 B	3,00 A
<b>T07</b>	12,75 B	14,35 A	4,08 B	4,73 A	2,05 B	2,71 A
<b>T08</b>	11,00 A	12,38 A	3,70 B	4,88 A	1,85 B	2,71 A
<b>T09</b>	13,25 A	13,40 A	3,85 B	5,03 A	2,18 B	3,00 A
<b>T10</b>	12,25 B	14,43 A	4,15 B	4,63 A	1,98 B	3,13 A
<b>T11</b>	13,00 B	16,70 A	4,20 B	5,43 A	2,33 B	3,12 A
<b>T12</b>	12,50 A	14,18 A	4,00 A	4,45 A	2,00 B	2,92 A
<b>T13</b>	11,50 A	13,38 A	3,90 B	5,20 A	2,43 B	2,94 A
<b>T14</b>	10,75 A	14,58 A	4,40 B	5,30 A	2,10 B	2,92 A
<b>T15</b>	12,75 A	13,65 A	3,93 B	5,13 A	2,05 B	2,95 A
<b>T16</b>	11,00 B	14,53 A	3,83 B	4,80 A	2,20 B	3,25 A
<b>T0</b>	11,25 B	14,53 A	3,73 B	5,45 A	1,80 B	2,91 A

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si.

**TABELA 11:** Teor de boro, cobre e ferro em grãos de feijão IAC-Alvorada.

Trat	Boro (mg kg <sup>-1</sup> )		Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )		Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
<b>T01</b>	37,00 A	35,30 A	9,50 A	11,00 A	251,50 B	377,25 A
<b>T02</b>	34,50 A	38,36 A	10,50 A	13,00 A	206,50 B	607,00 A
<b>T03</b>	42,75 A	37,12 A	11,00 A	12,75 A	232,00 B	417,50 A
<b>T04</b>	34,75 A	34,93 A	11,50 A	14,00 A	199,00 B	453,50 A
<b>T05</b>	35,50 A	35,78 A	10,00 A	12,50 A	251,25 B	390,50 A
<b>T06</b>	37,50 A	37,01 A	10,00 B	15,00 A	157,75 B	542,75 A
<b>T07</b>	36,25 A	34,87 A	11,25 A	11,75 A	155,25 B	403,75 A
<b>T08</b>	37,25 A	35,91 A	11,00 A	13,25 A	181,00 B	561,25 A
<b>T09</b>	37,00 A	37,15 A	11,25 A	11,00 A	176,75 B	341,25 A
<b>T10</b>	35,25 A	39,65 A	10,75 A	13,25 A	167,25 B	394,50 A
<b>T11</b>	37,75 A	35,86 A	12,00 A	15,25 A	212,25 B	422,50 A
<b>T12</b>	36,25 A	38,22 A	11,25 A	14,50 A	179,50 B	463,00 A
<b>T13</b>	35,50 A	38,55 A	12,00 A	13,25 A	197,50 B	449,75 A
<b>T14</b>	37,50 A	35,38 A	10,25 A	12,75 A	196,25 B	348,00 A
<b>T15</b>	32,75 B	39,92 A	10,75 B	14,50 A	236,50 B	470,50 A
<b>T16</b>	37,00 A	38,04 A	10,25 B	14,75 A	182,75 B	411,75 A
<b>T0</b>	36,25 A	35,51 A	9,75 A	11,50 A	156,00 B	460,50 A

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si.

Na Tabela 12, encontra-se um resumo da análise de variância para o acúmulo dos teores nutricionais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro e cobre para o segundo ciclo.

**TABELA 12:** Valores de F e nível de significância obtidos na análise de variância submetidos a diferentes combinações de lâminas no acúmulo de nutrientes em grãos de feijão no ano de 2011.

Fonte de variação	A	B	AxB	CV (%)
Nitrogênio	1,16 <sup>ns</sup>	9,74 <sup>*</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	15,01
Fósforo	4,54 <sup>*</sup>	9,66 <sup>*</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	15,27
Potássio	1,01 <sup>ns</sup>	7,50 <sup>*</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	15,24
Cálcio	0,72 <sup>ns</sup>	8,43 <sup>*</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	21,13
Enxofre	3,36 <sup>*</sup>	6,33 <sup>*</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	16,29
Boro	1,58 <sup>ns*</sup>	11,61 <sup>*</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	14,33
Cobre	1,40 <sup>ns</sup>	6,17 <sup>*</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	26,67

\* e ns são, respectivamente, significativo a 5% e não significativo, pelo teste de F.

A quantidade de nitrogênio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação para a fase II, no entanto, não foi significativa para a fase I. O acúmulo de nitrogênio nos grãos variou entre 86,15 a 113,34 kg ha<sup>-1</sup> para o segundo ano de cultivo (Tabela 13). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 80,37 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004), sendo estes similares aos resultados obtidos por Pessoa et al. (1996) com médias de 33,4 e 103,3 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente, uma vez que os autores verificaram diferenças entre as condições estudadas. Entretanto, Ramos Júnior (2006) trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou que o acúmulo de nitrogênio foi de 31,4 kg ha<sup>-1</sup>, em Botucatu, SP.

**TABELA 13:** Acúmulo de macronutrientes nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo e enxofre (kg ha<sup>-1</sup>), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada, segundo ciclo.

Lâmina (mm)	Nitrogênio	Potássio	Cálcio kg ha <sup>-1</sup>	Fósforo	Enxofre
Ano	2011				
40%	Fase - I (emergência ao pleno florescimento)				
40%	99,53	103,41	39,06	8,85 b	7,63 b
60%	101,37	112,49	42,30	9,71 ab	8,33 ab
80%	107,70	110,80	43,26	10,70 a	8,63 ab
100%	107,58	111,75	42,63	10,39 a	9,14 a
	Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)				
40%	86,15 b	92,95 b	32,69 b	8,19 b	7,15 b
60%	107,33 a	111,82 a	42,10 a	10,05 a	8,69 a
80%	109,37 a	118,61 a	45,52 a	10,58 a	8,84 a
100%	113,34 a	115,61 a	46,95 a	10,76 a	9,04 a

A quantidade de potássio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação na fase II, não sendo significativa para a fase I (Tabela 13). O acúmulo de potássio nos grãos variou entre 92,95 a 118,61 kg ha<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo. Entretanto, estes resultados foram superiores aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 77,89 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004), e, aos resultados obtidos por Pessoa et al. (1996) com médias de 7,5 e 30,4 kg ha<sup>-1</sup>, para o

tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente, com diferenças entre as condições estudadas.

A quantidade de cálcio acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação na fase II e não foi significativa para a fase I (Tabela 13). O acúmulo de cálcio nos grãos variou entre 32,69 a 46,95 kg ha<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram inferiores aos obtidos por Ciancio (2010), com média de 56,62 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004).

A quantidade de fósforo acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II (Tabela 13). O acúmulo de fósforo nos grãos variou entre 8,19 a 10,76 kg ha<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com médias de 11,89 e 10,32 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004) e, controle, respectivamente. No feijão comum, o valor de P acumulado foi de 10 kg ha<sup>-1</sup> em solo de várzea (FAGERIA; SANTOS, 1998). Entretanto, estes resultados foram inferiores aos obtidos por Pessoa et al. (1996), com médias de 8,0 e 18,8 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento não irrigado e irrigado, respectivamente. Ramos Júnior (2006) trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou que o acúmulo de fósforo foi de 3,17 kg ha<sup>-1</sup>, em Botucatu, SP.

A quantidade de enxofre acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II. O acúmulo de enxofre nos grãos variou entre 7,15 a 9,14 kg ha<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Ciancio (2010), com médias de 11,89 e 10,32 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação recomendada pela CQFS RS/SC (2004) e, controle, respectivamente. Ramos Júnior (2006), trabalhando com doses de fósforo em cultivares de feijão carioca precoce, observou um acúmulo de enxofre de 3,17 kg ha<sup>-1</sup>, em Botucatu, SP.

A quantidade de boro e cobre acumulado em grãos variou com as diferentes lâminas de irrigação nas fases I e II. O acúmulo de boro e cobre nos grãos variou entre 94 a 125 g ha<sup>-1</sup> e de 30 a 46 g ha<sup>-1</sup> no segundo ano de cultivo, respectivamente (Tabela 14).

Observa-se que o efeito das lâminas aplicadas na fase I não interfere no acúmulo de boro e cobre, mas foram significativos na fase II, mostrando que as maiores lâminas aplicadas durante a fase II, resultaram em maiores médias dos mesmos conforme apresentado na Tabela 14.

**TABELA 14:** Acúmulo de micronutrientes, boro e cobre ( $\text{g ha}^{-1}$ ), extraídos em grãos de feijão IAC-Alvorada.

<b>Lâmina (mm)</b>	<b>Boro (<math>\text{g ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Cobre (<math>\text{g ha}^{-1}</math>)</b>
ano	2011	2011
Fase - I (emergência ao pleno florescimento)		
40%	106	35
60%	113	40
80%	118	41
100%	116	43
Fase - II (florescimento a maturação fisiológica)		
40%	94 b	30 b
60%	113 a	40 ab
80%	122 a	42 a
100%	125 a	46 a

## 5.6 CONCLUSÕES

Houve alterações nos teores de macro e micronutrientes com as diferentes lâminas aplicadas;

A interação entre as lâminas nas fases I e II influenciou nos teores de micronutrientes Fe e S em grãos de feijão;

Houve aumento dos teores de Fe e diminuição dos teores de Cu, Mn e B com a deficiência hídrica em uma das fases;

Os macro e micronutrientes mais extraídos foram N, P, K, Fe, B e Mn.

O N e o P são os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos.

## 5.7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Rome FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil; 1996. 786p.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M.; RODRIGUES, G. C.; GOMES, A. C. Produtividade do Feijão de Inverno Influenciada por Irrigação, Densidade de Plantio e Adubação em Solo de Cerrado, Comunicado Técnico - Edição: 145, Planaltina – DF. Maio de 2008

BARBOSA. F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2012-2014.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 248 p. (Documentos).

BORÉN, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada.** Viçosa: UFV, 2008. p. 13 - 18.

BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos.** 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 13 de novembro de 2010.

CIANCIO, N. H. R. **Produção de grãos, matéria seca e acúmulo de nutrientes em culturas submetidas à adubação orgânica e mineral.** 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria, 2010.

COETZER, L. A. et al. The effect of boron on reproduction in tomato (*Lycopersicon esculentum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Growth**, Tydeskr, v.7, n.4, p.212- 217, 1990.

CUNHA, A. R.; Klosowski, E. S.; Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Martins, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP,1999, v.1, p.487-490.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p. EMBRAPA, 2009. p. 47 - 63.

EMBRAPA. Centro Nacional. Pesquisa em solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos.** Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.2, p.124-127, 1998.

GUIMARÃES, C. M. et al. Fenotipagem para Tolerância à Deficiência Hídrica da População de Mapeamento de QTL (BRS Primavera x BRS Douradão) In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

PASTORINI, L. H. et al. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

PEREIRA, T. et al. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n. 3, p. 477-485, 2011.

PESSOA, A. C. S dos et al. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, n.1, p. 69-74, 1996.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001, 285 p.

RAMOS JUNIOR, E. D. **Níveis de fósforo e épocas de aplicação de semeadura na extração de nutrientes do cultivar de feijão carioca**. 2006. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

RANGEL, M.A.S. et al. Efeitos da interação genótipos x ambientes no rendimento de grãos e nos teores de proteína de cultivares de soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 351 - 354, 2007.

RIBEIRO, N. D. et al. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia**, v. 67, n. 2, 267-273, 2008.

RIOS, O. A. et al. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 34-45, 2003.

ROSALES-SERNA, R. et al. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in droughtstressed common bean cultivars. *Field Crop Research*, v.85, p.203-211, 2004.

SILVA, M. G. et al. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas, sob diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n.3, p. 433-439, 2006.

SILVA.C. da.; RIBEIRO. J. R. **Zoneamento agroclimático para o feijão (2<sup>a</sup> safra) nos Estado de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia** . In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L.F.; AIDAR. H (Org.). Fundamentos para uma agricultura

sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVEIRA, P. M. da; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

THUNG, M. D. T.; OLIVEIRA, I. P. de. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA CNPAF, 1998. 172 p.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados obtidos e nas experiências vivenciadas na condução deste trabalho e com o propósito de contribuir para o desenvolvimento de estudos futuros, sugere-se que pesquisas sejam realizadas em áreas irrigadas com novas cultivares, em diferentes tipos de solos em condições de alta e baixa fertilidade.

Devido às condições do experimento não ter sido controladas contra aos fatores climáticos, os resultados foram influenciados principalmente pela ocorrência das precipitações pluviais durante o ensaio experimental.

As maiores reduções da lâmina na fase II prejudicaram o desenvolvimento das plantas, afetando com maior intensidade a produtividade de grãos e o número de vagens, número de nós, altura de plantas e índice de área foliar.

## 7 REFERÊNCIAS

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Realidade versus sustentabilidade na produção do feijoeiro comum. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 21 - 33.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALBUQUERQUE, P.E.P., ANDRADE, C.L.T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; CRUZ, M. G. M. Resposta da cultivar BR-1 de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetido a diferentes deficiências hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD ROM.

ASSIS, R. L. de.; LANÇAS, K. P. Efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um nitossolo vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p.337-345, 2004.

BABALOLA, O. Water relations of three cowpea cultivars [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 56, p. 59-69, 1980.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 248 p. (Documentos).

BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas de plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009.

BORÉN, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada**, Viçosa: UFV, 2006. p. 47 - 82.

BRITO, J. A. P. de. **Respostas de caupi (*Vigna unguiculada* (L.) Walp.) a diferentes períodos de deficiência hídrica**. 1993. 125 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1993.

CALVACHE, A. M. et al. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência no uso de água em uma cultura de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 54, n. 3, p. 481-488, 1997.

CARVALHO, J. J. **Comparação de métodos de manejo da irrigação no feijoeiro, nos sistemas plantio direto e convencional**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CARVALHO, J. A. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 710-717, 2000.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**. 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

CFI-Centro de Inteligência do feijão. Disponível em: <<http://www.cifeijao.com.br/index.php?p=historico>>. Acesso em: 27 jan. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: safra 2012/2013: quarto levantamento: janeiro/2013. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_01\\_09\\_17\\_44\\_20\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_44_20_boletim_graos_janeiro_2013.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2013.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

COSTA, J. G. C. Conhecendo a planta do feijoeiro comum. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2009. p. 37-43.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: An engineering approach**. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.552 p.

CULTIVARES de feijoeiro. Campinas: IAC, 2007. 7 p.

DEBOUCK, D. Systematics and morphology. In: VAN CHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (Eds.). **Common beans: research for crop Improvement**. Cali: CAB International, 1993. p. 55-118.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1994. 306 p. (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.

EMBRAPA, CNPAT. Energia eólica (on-line) Disponível em: <<http://www.cnpat.embrapa.br/home/janela.php?ld=58>>. Acesso em: 15 set. 2010.

EMBRAPA Informação Tecnológica. **Feijão**: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília, DF, 2003. 203 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Coord.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. p. 100-120.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. Etapas de desarrollo en la planta de fríjol. In: LÓPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. (Ed.). **Frijol: investigación y producción**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. p. 61-78.

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 7, p. 1049-55, 1991.

FERREIRA, C. M. et al. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 19 - 40.

FRIZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

HISAO, T. C., ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p. 59-84, 1974.

GERIK, T.J.; FAVER, K.L.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water uses, and yield. **Crop Science**, Madison, v.36, p.914-921, 1996.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 157-174.

GUIMARÃES, C. M. **Características morfo fisiológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) relacionado com a resistência à seca**. 1992. 13 f. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: Araújo, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: POTAFOS. 1996. 786 p.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.7, p.481-488, 1996.

GUIMARÃES, C. et al. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 70-75, 2006.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Informação técnicas para o cultivo do Feijoeiro comum na região central brasileira: 2009 - 2011.

JUNQUEIRA, A. M. de.; ANDRE, R. G. B.; PINHEIRO, F. M. A. Consumo de água pelo feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 51-56, 2004.

KARAMANOS, A.J.; ELSTON, J.; WADSWORTH, R.M. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba*, L.) in the field: water potentials and lamina expansion. **Annals of Botany**, v.49, n.6, p.815-826, 1982.

LEITE, M. L. et al. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], cv. EMAPA-821. II - Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 3, p. 351-370, 1999.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiômetro e balanço hídrico climático) para a cultura do feijoeiro em sistema de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: base para o manejo de fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004.

MAGALHÃES, A. A.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, E. N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, San José, v. 29, n. 4, p. 269-373, 1979.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Zoneamento agroclimático da cultura de feijão no Estado do Rio Grande do Sul: recomendações de períodos favoráveis de semeadura por região agroclimática. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6. 1999, Salvador. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. p. 455-458.

MELO, G. L. **Caracterização de sistemas de cultivo em áreas irrigadas por aspersão no Rio Grande do Sul**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola Água e Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. In: ARAUJO, R. S. et al. (Eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 465-522.

NÓBREGA, J. Q. et al. Avaliação do efeito hídrico no rendimento do feijoeiro por sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 299-305, 2004.

NÓBREGA, J. Q. et al. Análise do feijão submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 437-443, 2001.

OLIVEIRA, D. Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão em seis locais do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/UFV, 1991. p. 236-237.

OLIVEIRA, P de.; KLUTHCOUSKI. J. Práticas indutoras do crescimento radicular das principais culturas anuais, com ênfase na cultura do feijoeiro. In: KLUTHCOUSKI. J.;

STONE, L.F.; AIDAR, H (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 185 - 223.

PÁEZ, A.; GONZÁLEZ, M. E.; YRAUSQUÍN, O. X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 698-706, 1995.

PAVANI, L. C. et al. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2008.

PEIXOTO, T. D. C. et al. Kp Classe A sim: uma ferramenta para estimativa do coeficiente do tanque Classe A. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Mossoró, RN, v.6, n.4, p. 296 - 320, 2012.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R.S.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p 101-137.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 55-61, 1996.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. de. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉN, A. (Eds.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada**, Viçosa: UFV, 2006. p. 415 - 436.

RESENDE, M.; HENDERSON, D. W.; FERERES, E. Frequência de irrigação e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 16, n. 3, p. 363-370, 1981.

RITCHIE, J. T. Water dynamics in the soil-plant atmosphere system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 58, p. 81-96, 1981.

ROVIRA, L. A. A. **Estudo do sistema radicular do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). var. carioca**. Piracicaba, 1975. 87 p. Tese (Doutor em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANTOS, C. R. A. **Qual o feijão mais popular no Brasil?** Super Interessante. Edição 204, Setembro/2004. Disponível em: <[http://super.abril.com.br/superarquivo/2004/conteudo\\_125307.shtml](http://super.abril.com.br/superarquivo/2004/conteudo_125307.shtml)>. Acesso em: 12 set. 2008.

SANTOS, J. S. do. GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIERA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Editores.). **Feijão 2ª edição atualizada e ampliada**, Viçosa. UFV, 2008. p. 41 - 65.

SENTELHAS, P. C. Z. ; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients ( $K_p$ ) to estimate daily reference evapotranspiration ( $ET_0$ ). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.111-115, 2003.

SHOUSE, P. et al. Water deficit effects on water potential, yield, and water use cowpeas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 333-336, 1981.

SILVA.C. da.; RIBEIRO. J. R. **Zoneamento agroclimático para o feijão (2<sup>a</sup> safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia** . In: KLUTHCOUSKI. J.; STONE. L. F.; AIDAR. H (Org.). Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Respostas do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas e água de irrigação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Santo Antônio de Goiás, GO, v. 14. p. 63-67, 1990.

SINGH, S. P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 35, p. 118-124, 1995.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.

SOUZA, W. J. O.; SANTOS, I. Z. Cultivo de feijoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo no noroeste paulista. **Nucleus**. v. 5, n. 2, p. 243-254, 2008.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigado por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo de água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 939-954, 1994.

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.

STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.14. p.31- 34, 2005. Disponível em: <[http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont\\_int&id=621](http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=621)>. Acesso em: 16 out. 2010.

STONE, L. R. et al. Soy bean development and soil water depletion. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, 9 677-680, 1976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: Benjamin Cummings, 1991. 565 p.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimentos de milho submetidos a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal)-Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

ZLATEV, Z.; STOYANOV, Z. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. **Journal Central European Agriculture**, Zagreb, v. 6, p. 5-14, 2005.