

**DIEGO BRANDÃO**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO, FOTOSSÍNTESE E  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM PLANTAS DE FEIJOEIRO**

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2012**

**DIEGO BRANDÃO**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO, FOTOSSÍNTESE E  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM PLANTAS DE FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Maringá,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área Concentração em  
Produção Vegetal, para obtenção do  
título de Mestre.

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Brandão, Diego

B817d      Disponibilidade hídrica no solo, fotossíntese e evapotranspiração em plantas de feijoeiro/ Diego Brandão. -- Maringá, 2012.

43 f., tabs.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.

1. Água disponível 2. Taxa fotossintética 3. *Phaseolus vulgaris* L 4. Casa de vegetação 5. Nitossolo vermelho distroférico 6. Latossolo vermelho I. Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. III. Título.

CDD 21.ed. 631.7

JLM000144

**DIEGO BRANDÃO**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO, FOTOSSÍNTESE E  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM PLANTAS DE FEJJOEIRO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Maringá,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área Concentração em  
Produção Vegetal, para obtenção do  
título de Mestre.

APROVADA em 14 de fevereiro de 2012.

---

Prof. Dr. **Roberto Rezende**

---

Prof. Dr. **Rivanildo Dallacort**

---

Prof. Dr. **Paulo Sérgio Lourenço de Freitas**  
(Orientador)



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e pelas bênçãos concedidas.

Aos meus pais, José Carlos e Maria Helena, pelo apoio aos estudos.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia (PGA), pela oportunidade e condições oferecidas no curso.

A todos os Professores do PGA, em especial aos Doutores Paulo Sérgio Lourenço de Freitas e Roberto Rezende, pela amizade, disposição, orientações, contribuições e incentivos no decorrer do curso e trabalho desenvolvido.

Ao professor Dr. Carlos Moacir Bonato e orientados, pelo auxílio prestado na utilização do equipamento IRGA.

A todos os colegas de curso, pela amizade e pelo companheirismo.

Aos acadêmicos André Biscaia, Alessandra Guedes e Mayara Garcia, pela ajuda na instalação e condução do experimento.

Aos funcionários do Centro Técnico de Irrigação (CTI) e aos colegas que, em algum momento, prestaram auxílio na condução do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de Bolsa de Estudo.

## **BIOGRAFIA**

DIEGO BRANDÃO, filho de José Carlos de Oliveira Brandão e Maria Helena Longo de Oliveira Brandão, nasceu na cidade de Guaíra-PR em 22 de Outubro de 1985. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Maringá-PR em janeiro de 2008. Em março de 2010 ingressou no Programa de Pós Graduação em Agronomia da mesma instituição, na área de concentração Produção Vegetal.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1.0. INTRODUÇÃO .....	1
2.0. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1. A cultura do feijoeiro .....	2
2.2. Funções da água às plantas .....	4
2.3. Água no solo .....	5
2.4. Evapotranspiração.....	6
2.5. Déficit hídrico e seu efeito nas plantas .....	9
2.6. Fotossíntese e condutância estomática .....	11
3.0. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1. Área experimental.....	16
3.2. Delineamento experimental .....	16
3.3. Características da cultura .....	16
3.4. Solos utilizados .....	17
3.5. Determinação da água disponível dos solos .....	18
3.6. Semeadura, adubação e transplântio do feijoeiro .....	19
3.7. Cálculo da umidade para os tratamentos .....	20
3.8. Condução do experimento .....	20
3.9. Determinação da evapotranspiração .....	22
4.0. Determinação da fotossíntese, da condutância estomática e da transpiração foliar.....	22

5.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5.1. Medidas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foliar ....	24
5.1.1. Na fase de florescimento em função da água disponível .....	24
5.1.2. Em três fases do ciclo da cultura .....	27
5.2. Determinação da evapotranspiração em função da água disponível .....	32
6.0. CONCLUSÕES.....	35
7.0. REFERÊNCIAS .....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Etapas de desenvolvimento do feijoeiro.....	04
Quadro 02	Análise química dos solos utilizados.....	18
Quadro 03	Análise granulométrica dos solos utilizados.....	18

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Curva de retenção de água no solo, Nitossolo Vermelho (A) e Latossolo Vermelho (B).....	19
Figura 02	Temperaturas mínimas (A) e máximas (B) no período de condução do experimento.....	22
Figura 03	Curva de calibração do medidor de fotossíntese.....	23
Figura 04	Medidas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) em função da água disponível no Nitossolo.....	26
Figura 05	Medidas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) em função da água disponível no Latossolo.....	27
Figura 06	Medidas da taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) ao longo do ciclo da cultura em função da água disponível em Nitossolo Vermelho distroférico.....	29
Figura 07	Medidas da taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) ao longo do ciclo da cultura em função da água disponível em Latossolo Vermelho.....	30
Figura 08	Evapotranspiração em função da água disponível no solo para Nitossolo (A) e Latossolo (B) da fase vegetativa ao pré-florescimento.....	34
Figura 09	Evapotranspiração em função da água disponível no solo para Nitossolo (A) e Latossolo (B) .....	35

## RESUMO

BRANDÃO, Diego. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2010. **Disponibilidade hídrica no solo, fotossíntese e evapotranspiração em plantas de feijoeiro.** Professor Orientador: Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

Objetivou-se neste trabalho determinar a influência da disponibilidade hídrica no solo na taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração foliar e evapotranspiração do feijoeiro (cultivar IPR Colibri), em dois solos: Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho, representativos da região Noroeste do Estado do Paraná. As plantas foram cultivadas em vasos com 20 kg de capacidade, mantidos em casa de vegetação. Adotou-se delineamento experimental de blocos ao acaso em arranjo fatorial 4x2x3 correspondente a quatro níveis de água disponível do solo (100, 75, 50 e 25%) e duas classes de solo (Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho distroférico) com três repetições. As medidas da taxa fotossintética, transpiração foliar e condutância estomática foram realizadas com o IRGA (Infra Red Gas Analyser) e decresceram com redução da umidade do solo. Da fase vegetativa ao pré-florescimento, os valores de evapotranspiração obtidos nos tratamentos de 100, 75, 50 e 25% de água disponível foram respectivamente de 5,40, 4,94, 4,62 e 3,07 mm d<sup>-1</sup> para Latossolo e 3,80, 3,40, 2,80 e 2,12 mm d<sup>-1</sup> para Nitossolo. A fotossíntese foi afetada pela condição de água disponível no solo para todas as fases da cultura e decresceu com redução da disponibilidade água; a taxa fotossintética para o tratamento com 100% de água disponível foi de 16 e 10,9  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , respectivamente para as plantas no Latossolo e Nitossolo. A evapotranspiração reduziu com água disponível no solo ao longo do ciclo da cultura sendo influenciada pelo crescimento da mesma; a condutância estomática exerce controle sobre a transpiração foliar e a fotossíntese.

**Palavras-chave:** água disponível, taxa fotossintética, *Phaseolus vulgaris* L., casa de vegetação, Nitossolo Vermelho distroférico, Latossolo Vermelho.

## ABSTRACT

BRANDÃO, D. Universidade Estadual de Maringá, February of 2012. **Water availability in soil, photosynthesis and evapotranspiration in common bean plants.** Adviser: Dr. Paulo Sergio Lourenço de Freitas.

The aim of this study was to verify the photosynthesis rate, stomatal conductance, leaf transpiration, evapotranspiration of common bean plants (IPR Colibri cultivars) under different levels of water availability. The plants have grown up in two soils from Northeast of Parana State – Distrofic Red Nitosol and Red Latosol. There was a factorial experiment set as 4x2x3 in randomized blocks in greenhouse which was consisted of four levels of water availability (100, 75, 50 and 25%), two soil classes Distrofic Red Nitosol and Red Latosol in vases of 20 kilograms of capacity and three reps. The measurements of photosynthesis rate, stomatal conductance, leaf transpiration were made with Infra Red Gas Analyser (IRGA) and it was observed that they reduced as soil humidity was decreased. From the initial development stage to the pre flowering the values of evapotranspiration to 100, 75, 50, 25% water availability treatments were respectively 5,40, 4,94, 4,62 3,07 mm d<sup>-1</sup> to Latosol and 3,80, 3,40, 2,80, 2,12 mm d<sup>-1</sup> to Nitosol. The photosynthesis rate to 100% of water availability to plants in Latosolo and Nitossolo were 16,0 and 10,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and plants more developed had the higher rates. Evapotranspiration decreased as water availability was decreased being proportional to plant development. Stomatal conductance was the main factor which controlled photosynthesis and evapotranspiration.

**Key words:** water availability, photosynthesis rate, *Phaseolus vulgaris* L., greenhouse, Distrofic Red Nitosol, Red Latosol.

## 1.0. INTRODUÇÃO

A produção agrícola é dependente de vários fatores, tais como água, nutrientes e luz, sendo a água o fator mais limitante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Paiva et al., 2005, Flexas et al., 2006). Do consumo total de água no Brasil,  $986,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 69% é utilizado pela irrigação (ANA, 2010).

Esta técnica visa suprir as necessidades hídricas das culturas, contribuindo para expressão do máximo potencial produtivo. Visando utilizar a água de forma racional, o estudo da evapotranspiração possui grande importância, pois permite quantificar o consumo de água pelas culturas.

Além disso, estudar e compreender as respostas fisiológicas das plantas aos níveis de água no solo auxilia no entendimento de como o suprimento inadequado de água e sua deficiência interferem no crescimento e desenvolvimento das culturas comprometendo a produtividade.

O feijão é um alimento comum na dieta dos brasileiros, seu cultivo é expressivo, podendo ser realizado em três safras ao ano. Possui um sistema radicular pouco desenvolvido e uma baixa capacidade de recuperação após o estresse hídrico; sendo assim, é uma planta pouco tolerante à deficiência de água, ocorrendo queda significativa de produtividade se esta for manifestada no estágio de florescimento e enchimento de grãos (Bizari et al., 2009).

Os objetivos do trabalho foram determinar influência da água disponível no solo na fotossíntese, condutância estomática, transpiração foliar e evapotranspiração em plantas de feijoeiro (Cultivar IPR Colibri), em dois solos: Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho, representativos da região Noroeste do Estado do Paraná.

## 2.0. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A cultura do feijoeiro

O feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) é um dos mais importantes constituintes da dieta do brasileiro, por ser uma excelente fonte proteica (20 a 30% de proteína). Possui um bom conteúdo de fibras, carboidratos, ferro e aminoácidos essenciais, como a lisina, deficiente nos cereais (Vieira et al., 2006). Entretanto, é pobre em aminoácidos sulfurados como a metionina e cisteína, ricos nos cereais; assim, em sua combinação com o arroz, ocorre a complementação desses nutrientes. De acordo com levantamento feito pela CONAB, em 2009, o consumo médio anual de feijão foi de 16,5 kg por habitante.

O Brasil é o maior produtor mundial desta leguminosa, com 3,8 milhões de toneladas ao ano, no qual o Estado do Paraná se destaca por volume produzido - 33,40% da produção nacional na primeira safra de 2010, com 342 mil ha plantados (CONAB 2011) e rendimento em torno de 1.500 kg ha<sup>-1</sup>. Pode ser produzido em três safras, sendo a primeira e mais representativa denominada de “feijão das águas” com semeadura de setembro a outubro onde a irrigação não se faz necessária, na segunda safra ou “feijão das secas” semeado em janeiro e fevereiro com necessidade de irrigações complementares, e a terceira ou “feijão de inverno” semeado após o mês de maio quando a irrigação é imprescindível (Santana et al., 2008).

Existe uma grande variedade de tamanhos, formatos, cor e brilho dos grãos das cultivares, que influenciam na sua aceitação e comercialização. O feijão preto é mais popular no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo. No restante do país este tipo de grão tem pouco ou quase nenhum valor comercial ou aceitação.

O feijão de grão tipo carioca é aceito em praticamente todo o Brasil, por essa razão 53% da área cultivada é semeada com este tipo grão. O feijão mulatinho é mais aceito na Região Nordeste e os tipos roxo e rosinha são mais populares nos Estados de Minas Gerais e Goiás (Embrapa 2011).

As fases de desenvolvimento na cultura do feijão não apresentam nítida separação, principalmente quando consideradas plantas de hábito de crescimento indeterminado, constatando-se sobreposições representadas pela possibilidade de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens. Esse fato deve ser considerado por ocasião da elaboração de recomendações técnicas e de manejo Santana et al. (2008).

A duração das etapas de desenvolvimento do feijoeiro pode ser afetada por alguns fatores, dentre os quais merece especial destaque o genótipo (o qual determina o hábito de crescimento e precocidade das plantas), o clima e as condições de fertilidade do solo. No Quadro 01 são resumidos os estádios fenológicos do feijoeiro.

Quadro 01 - Etapas de desenvolvimento do feijoeiro.

<b>Estádios</b>		<b>Característica</b>
Vegetativo	V0	Início germinação
	V1	Cotilédones no nível do solo
	V2	Folhas primárias expandidas
	V3	Primeira folha trifoliada expandida
	V4	Terceira folha trifoliada expandida
Reprodutivo	R5	Pré-florescimento (surgimento dos botões florais até a abertura da primeira flor)
	R6	Aparecimento da primeira vagem
	R7	Crescimento longitudinal das vagens
	R8	Enchimento dos grãos (crescimento das sementes)
	R9	Maturação fisiológica (mudança de cor das vagens)

Fonte: Vieira et al. (2006).

Com relação à deficiência hídrica, o feijoeiro é classificado como uma espécie muito sensível, principalmente na fase de florescimento, quando se observa a maior demanda por água e também porque seu sistema radicular é pouco desenvolvido, pois o maior volume de suas raízes se concentra nos primeiros 20 cm de solo. Dessa maneira é preciso fazer o uso de práticas que possibilitem o desenvolvimento radicular, como aração e correção da acidez do solo, bem como possibilitar aumento da disponibilidade de água por incremento no teor de matéria orgânica, ou o fornecimento direto de água via irrigação baseado em critérios de pesquisa.

Os efeitos da deficiência hídrica variam conforme a época em que ocorre o desenvolvimento da cultura. Antes do florescimento o estresse hídrico pode provocar diminuição na estatura de planta, redução na área foliar e causar menor acúmulo de reservas na planta. Veranicos durante o florescimento provocam além de redução na estatura de plantas e no tamanho de folíolos, queda de folhas inferiores, aborto de flores, redução do número de legumes e de grãos por legume. Por sua vez, a ocorrência de deficiência hídrica durante o desenvolvimento de legumes causa perda de folhas inferiores e, conseqüentemente, menor área foliar, menor desenvolvimento de legumes e produção de grãos de menor peso. Caso ocorra no final do ciclo, o estresse acelerará a maturação fisiológica, reduzindo o ciclo e podendo diminuir peso e tamanho de grãos (Maluf et al., 2001).

## **2.2. Funções da água às plantas**

O conteúdo de água nas plantas varia de espécie, tecidos e também com a idade. Vegetais comuns como a cenoura e a alface contêm cerca de 80 a 95% de água enquanto que a madeira (alburno) possui 35 a 75% de água. Ao visualizamos uma célula vegetal em um microscópio, observamos que maior parte de seu volume corresponde ao vacúolo cheio de água, e somente 5 a 10% do volume celular corresponde ao citoplasma.

Existem grandes pressões hidrostáticas internas nas células devido à resistência propiciada pela parede celular. Essas pressões denominadas de pressões de turgor são resultantes de um processo normal de balanço hídrico as quais favorecem muitos processos fisiológicos como expansão celular, trocas gasosas nas folhas, transporte de solutos pelas membranas e pelo floema. Além disso, em tecidos não lignificados a pressão de turgor lhes confere estabilidade.

As plantas absorvem e perdem água continuamente. O processo de perda de água na forma de vapor pelas folhas é denominado de transpiração. Enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração com intensidade variável. Esta depende do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (Concenço et al., 2009).

Um consumo adequado de água implica em incremento da produtividade (Machado, 2010). A disponibilidade de água é um dos fatores primordiais para produtividade das plantas, Junior et al. (2008) trabalharam com quatro níveis de água disponível no solo para o cultivo de mamona e observaram que, quando este era maior, houve maior incremento na fitomassa de forma exponencial.

A corrente de água promovida pela transpiração conduz os minerais presentes na solução do solo para nutrição da planta. Além disso, esta é uma forma eficiente de dissipar o calor proveniente da radiação solar controlando a temperatura foliar e protegendo o aparato fotossintético (Reynolds-Henne et al., 2010). Assim sendo, o estado de hidratação das folhas na forma de potencial hídrico e, por consequência, a temperatura do dossel foliar são fatores que determinam a adaptação e resistência das plantas à condição de déficit hídrico (Guimarães et al., 2006).

### **2.3. Água no solo**

O solo é um sistema formado por sólidos de origem mineral e orgânica, e espaço poroso onde há gases e água. A retenção de água é explicada pelo

fenômeno da capilaridade existente nos poros do solo e pela adsorção da mesma nas partículas do solo, ocasionando redução de sua energia livre. Esta influência exercida pela matriz do solo sobre a energia livre da água é quantificada na forma de potencial matricial (Brady, 1989).

A porosidade do solo é subdividida em macro e microporosidade em função do diâmetro dos poros serem maiores ou menores que 0,05 mm. Os macroporos são importantes para a aeração enquanto os microporos atuam na retenção de água pelo efeito da capilaridade. Esse fator é dependente da textura do solo, em solos argilosos a capacidade de retenção de água é maior, pois grande parte da porosidade total é constituída de microporos.

A capacidade máxima de retenção de água de um solo é definida como capacidade de campo (CC). Ela ocorre quando, depois de saturado, todo excesso de água drenou e a taxa de movimento descendente decresceu acentuadamente (Veihmeyer et al., 1949). Já o valor mínimo de umidade no qual abaixo dele a planta não consegue se desenvolver, cessa sua transpiração e mesmo assim não recupera seu turgor, é definido como ponto de murcha permanente (Briggs et al., 1912).

O conhecimento do intervalo de umidade entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente, definido como água disponível para as plantas, é de importância para o manejo da água em agricultura irrigada (Klein et al., 2006).

#### **2.4. Evapotranspiração**

A combinação de dois fenômenos, evaporação e transpiração, no qual a água é transferida para atmosfera na forma de vapor, é denominada evapotranspiração. Este é o fator que quantifica o consumo e, conseqüentemente, a necessidade hídrica das plantas (Freitas et al., 2008).

A evaporação ocorre na superfície do solo, resultante da energia recebida da radiação solar a qual promove a passagem da água do estado líquido para o de

vapor. Conforme ocorre a evaporação, o ar próximo à superfície torna-se saturado tendendo ao equilíbrio e cessando o processo devido à propriedade da pressão de vapor da água. Porém este equilíbrio é constantemente influenciado por fatores atmosféricos, sendo eles: a umidade relativa e a temperatura do ar, velocidade do vento e radiação solar (Machado et al., 2010).

Já a transpiração ocorre com a água contida nos tecidos vegetais, sendo liberada também na forma de vapor por aberturas (poros) de pequenas estruturas denominadas estômatos. A condutância estomática é o mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração (Messinger et al., 2006), sendo proporcional à transpiração, à fotossíntese líquida e ao potencial da água na folha.

Este fenômeno é dependente da espécie vegetal, de seu estágio de desenvolvimento, da umidade do solo e da sua capacidade em conduzir água para absorção pelas raízes (condutividade hidráulica), da concentração externa de CO<sub>2</sub> e dos mesmos fatores atmosféricos que influenciam a evaporação.

Oliveira et al. (2007) avaliaram a influência da salinidade em algumas características da cultura do tomateiro, em casa de vegetação contendo vasos com 15 kg de solo seco ao ar, durante seu ciclo de 86 dias. O incremento da salinidade na água de irrigação provocou redução da área foliar que, por sua vez, resultou em menor evapotranspiração das plantas. Os autores observaram que existe uma correlação positiva entre evapotranspiração e área foliar. Com o modelo obtido para cada 100 cm<sup>2</sup> de área foliar, a evapotranspiração aumentaria em 12 mm. A evapotranspiração total para o ciclo foi de 547 mm e a evapotranspiração média diária foi de 6,35 mm d<sup>-1</sup>.

No início de desenvolvimento da cultura, grande parte do solo ainda não sofre sombreamento pela parte aérea das plantas, assim sendo o fenômeno predominante é a evaporação. Conforme aumenta a cobertura do solo pelo aumento do índice de área foliar, a transpiração passa a ser dominante.

Ou seja, durante a sementeira 100% da água consumida é devida à evaporação, enquanto que no desenvolvimento pleno da cultura 90% da evapotranspiração provém da transpiração.

Para determinação da evapotranspiração de forma direta, pode se utilizar o método do balanço hídrico, lisímetros de pesagem ou lisímetros de drenagem. Os lisímetros são grandes caixas cheias de solo, localizadas no campo, apresentando superfície nua ou coberta por vegetação em que é possível contabilizar a entrada e saída de água, ou seja, a lâmina total aplicada, drenada e consumida por evapotranspiração (Campeche et al., 2011).

Como forma de determinação indireta da  $ET_c$ , utiliza-se como base a evapotranspiração de uma cultura de referência ( $ET_o$ ), a qual é uma cobertura de grama de 0,12 m de altura em ativo crescimento cultivada sem restrição de água, livre do efeito prejudicial de pragas e doenças, sob condições ideais de nutrição mineral. A  $ET_c$  é definida a partir do produto entre a  $ET_o$  e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) que varia em quatro estádios sucessivos: no desenvolvimento inicial da cultura quando até 10% do solo está encoberto; desenvolvimento pleno até atingir a cobertura total do solo; estágio intermediário até ocorrer o início da maturação da cultura; e estágio final – da maturação à senescência (Allen et al., 1998, Freitas et al., 2008).

De maneira prática, muito se utiliza o método do Tanque Classe A para estimativa da  $ET_o$  e monitoramento da irrigação, sendo obtida pela evaporação do tanque corrigida por um coeficiente dependente das condições em que o tanque está instalado ( $K_p$ ). A partir da correção de  $ET_o$  pelo coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), determina-se a  $ET_c$ . Quando se disponibiliza de uma estação meteorológica e programas computacionais, é possível estimar  $ET_o$  pela equação denominada do Método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado em dois sistemas de plantio, direto e convencional, em Latossolo Vermelho Distroférico, Bizari et al., (2009) observaram que os valores de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) determinado pelo balanço hídrico foram crescentes conforme os estádios de

desenvolvimento vegetativo, de florescimento e enchimento de grãos, decrescendo na maturação fisiológica. Com a estimativa de ETo pelo método Penman-Monteith, os autores calcularam a razão entre ETc e Eto obtendo-se assim coeficiente da cultura (Kc). Este foi bem próximo para o estágio vegetativo, independente do sistema de plantio, que implica ser característico da fisiologia da planta, enquanto que, nos demais estádios, o valor de Kc foi menor no plantio direto comparado ao convencional; desta forma há uma maior economia de água no primeiro sistema de plantio. O período de maior exigência de água pela planta foi durante os estádios de florescimento (4,31 e 5,72 mm d<sup>-1</sup>) e de enchimento de grãos (5,43 e 6,21 mm d<sup>-1</sup>) no plantio direto e convencional, respectivamente.

Alves et al. (2002) avaliaram quatro doses de fósforo e quatro níveis de água no solo (20, 40, 60 e 80% da água disponível) sobre algumas características da cultura do milho (*Zea mays* L.) em vasos mantidos em casa de vegetação no ciclo de 99 dias. Verificaram que o consumo acumulado nos 99 dias de ciclo da cultura, para cada nível de água disponível 80, 60, 40 e 20%, foi de 483,2, 436,6, 322,7 e 214,2 mm, obtendo-se as médias diárias de 4,8, 4,4, 3,2 e 2,1 mm d<sup>-1</sup> para cada nível de água disponível, respectivamente. Ou seja, houve um decréscimo da evapotranspiração conforme a disponibilidade de água foi reduzida.

## **2.5. Déficit hídrico e seu efeito nas plantas**

O déficit hídrico pode ser definido como todo conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado maior de hidratação (Taiz et al., 2009), ou seja, desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e transporte de água (Mattos et al., 2005).

Provoca limitação do crescimento e da produção das plantas, sendo que seu principal efeito fisiológico é a redução da taxa fotossintética (Flexas et al., 2004), ou seja, com a baixa disponibilidade de água no solo, ocorre redução da

difusão do CO<sub>2</sub> da atmosfera para o sítio de carboxilação na planta, devido ao fechamento dos estômatos representado pela redução da condutância estomática.

Com isto uma menor quantidade de luz é necessária para tornar a taxa fotossintética máxima e o excesso leva à paralisação do processo fotossintético devido ao efeito fotoinibitório (Flexas e Medrano, 2002). Além disso, causa danos metabólicos reduzindo a atividade da enzima Rubisco, responsável pela fixação do CO<sub>2</sub> na planta e, como consequência, menos energia na forma de ATP é produzida para o desenvolvimento das espécies vegetais (Dias et al., 2010).

Ao evoluir lentamente permitindo mudanças nos processos de desenvolvimento da planta, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento, um dos quais é a limitação da expansão foliar. A área foliar é importante, pois permite maior interceptação da luz necessária para o processo fotossintético e, conseqüentemente afeta, a produtividade do vegetal.

Com a diminuição do conteúdo de água da planta, suas células contraem-se e as paredes afrouxam. Esse decréscimo de volume celular gera menor pressão de turgor, com isso as atividades dependentes da mesma, como a expansão celular que gera a expansão foliar e alongamento de raízes, são mais sensíveis aos déficits hídricos. Com uma área foliar menor, a planta transpira menos e conservará o suprimento de água limitado no solo, sendo essa considerada uma estratégia à deficiência de água. Além disso, a taxa de crescimento dos ramos é limitada, diminuindo-se também o número de folhas.

Quando o estresse ocorre após o desenvolvimento pleno das folhas, outra estratégia é a abscisão foliar provocada pela maior síntese de etileno. Assim diminui o número de folhas e, por consequência, diminuição da perda de água. Como defesa ao estresse hídrico, também são observados o maior aprofundamento do sistema radicular (Reis et al., 2006) e aumento da relação raiz/parte aérea (Costa et al., 1997), fechamento estomático causado pelo aumento da síntese do ácido abscísico (Seki et al., 2007) e ajuste osmótico das células permitindo o turgor em condições de baixo potencial mátrico (Callister et al., 2006).

Nascimento et al. (2004) observaram os componentes de produção do feijão caupi cultivado em vasos em casa de vegetação sob quatro níveis de água disponível (AD) no solo: 40, 60, 80 e 100%. Quinze dias após a emergência (DAE) foram aplicados os tratamentos. Constataram a reduções de comprimento de haste principal de 10, 26 e 48% e do número de folhas por plantas de aproximadamente 11, 23 e 35%, para os níveis de 80, 60 e 40% AD quando comparados à testemunha. A redução foi mais acentuada com a aproximação da fase reprodutiva (43 DAE), indicando que o feijoeiro é menos tolerante ao déficit hídrico nessa fase.

Também houve decréscimo crescente com o aumento do déficit hídrico para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e comprimento médio de vagens (CMV). As reduções foram de 16, 32 e 49% para NVP, 3, 9 e 22% para NGV, e 8, 16 e 24% para CMV, respectivamente nos tratamentos de 80, 60 e 40% de AD. Assim sendo, o NVP é o principal componente afetado, sendo sua redução considerada um mecanismo de resistência à seca, no sentido de buscar melhores condições para suprir a falta de água.

## **2.6. Fotossíntese e condutância estomática**

A fotossíntese é o processo responsável de conversão e armazenamento da energia solar em moléculas orgânicas ricas de energia, a partir de moléculas inorgânicas simples como  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . A energia radiante é absorvida por organelas celulares denominadas cloroplastos. Nestes, os receptores da radiação são as clorofilas (nos comprimentos de onda na faixa do azul e vermelho) e os pigmentos acessórios (carotenos e xantofilas, com absorção no azul e no UV).

A deficiência de clorofila reconhecida pela coloração amarelada das folhas (sintoma de clorose) é resultante de deficiência nutricional e ocasiona redução da taxa fotossintética (Larcher, 2006).

A capacidade fotossintética altera-se durante o curso do desenvolvimento vegetal. A folha jovem, totalmente diferenciada e expandida, apresenta a mais alta capacidade fotossintética. Em algumas espécies herbáceas, a capacidade fotossintética diminui logo após alguns dias ou semanas e assume valores progressivamente menores com o aumento da idade. Um pouco antes da parte aérea senescer por completo, a capacidade fotossintética se torna nula devido à degradação da clorofila e da degeneração dos cloroplastos.

Durante a floração e a frutificação também é observado aumento da capacidade fotossintética. Se os frutos são removidos, há diminuição da mesma, pois parte dos carboidratos dependentes dessa produção é translocada para os frutos.

Muitos fatores influenciam a fotossíntese, sendo a disponibilidade de água, CO<sub>2</sub>, luz, nutrientes, temperatura, idade da planta e sua genética (Salisbury, 1991). A água é o principal deles, pois sua deficiência causa diminuição da expansão foliar, os estômatos se fecham e a absorção de CO<sub>2</sub> é restrita. Analisando os fatores ambientais e a taxa fotossintética em citros, Machado et al. (2005) observaram que o decréscimo da taxa fotossintética está relacionado com a queda na condutância estomática, sendo maior quando houve aumento no déficit de pressão de vapor do ar influenciado pelo aumento de temperatura.

Um dos parâmetros indicadores da ocorrência do estresse hídrico é a verificação da condutância estomática, pois, para evitar a perda de água por transpiração, ocorre o fechamento estomático por redução da condutância dos mesmos. Isso se deve não somente pela redução do conteúdo de água no solo, mas também pelo aumento do déficit de pressão de vapor (DPV) entre as folhas e o ar (Endres et al., 2010). Como consequência desse efeito, haverá menor assimilação de CO<sub>2</sub> e redução da taxa fotossintética, implicando em menor produção de fitomassa.

Paiva et al. (2005), aplicando diferentes regimes de irrigação na cultura do feijoeiro, observaram que houve redução da condutância estomática conforme a menor disponibilidade de água, e os menores valores foram justamente nos

estádios que a planta necessita mais de água - florescimento e enchimento de grãos.

O valor de condutância estomática indica uma maior ou menor abertura dos estômatos, que é controlada pela maior ou menor turgidez das células guarda dos estômatos. Os estômatos também são sensíveis à condição de umidade do solo, variações de luz, temperatura do ar e da folha e concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera adjacente. Sua atividade é determinada pela demanda evapotranspiratória (Rodrigues et al., 2011).

Estes órgãos presentes principalmente nas folhas dos vegetais são responsáveis pelas trocas gasosas de água na forma de vapor e de CO<sub>2</sub>. A difusão de água na forma de vapor pelos estômatos promove perda do calor latente da folha, garantindo uma manutenção de uma temperatura adequada para o funcionamento do aparato fotossintético.

Nascimento et. al. (2011) avaliaram variedades de feijão caupi submetidas ao estresse hídrico na fase de florescimento. Observaram que as menores variações na elevação de temperatura foram de 4% e as maiores de 19%, sendo este fator indicativo da tolerância ao déficit hídrico.

Mattos et al. (2005), trabalhando com quatro espécies de Braquiária, submetidas a cinco níveis de potenciais hídricos do solo (-0,01, -0,03, -0,1, -0,5 e -1,5 MPa), observaram decréscimo da taxa de alongamento das lâminas foliares e aumento da senescência das folhas com o decréscimo do potencial hídrico do solo. A taxa fotossintética máxima para os tratamentos na capacidade de campo foi de 15 e 11  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente para *B. mutica* e *B. humidicola*, havendo uma diminuição linear da mesma de acordo com o decréscimo da umidade.

A condutância estomática variou com o potencial hídrico do solo, de 0,28  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para 0,15  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na condição de potenciais mais baixos. A transpiração foliar apresentou comportamento semelhante, ocorrendo correlação linear e positiva da fotossíntese líquida e transpiração com a condutância

estomática, ou seja, o comportamento estomático exerce controle efetivo sobre as trocas gasosas.

Gonçalves et al. (2010) estudaram o comportamento das trocas gasosas em cana-de-açúcar cultivada em casa de vegetação sob três níveis de deficiência hídrica, definindo os tratamentos em controle (100 a 80% de água disponível), estresse hídrico moderado (60 a 40% de água disponível) e estresse hídrico severo (20 a 0% de água disponível no solo). Foi realizada uma leitura na imposição dos tratamentos e outra aos 71 dias após. Calculou-se a variação percentual das duas medidas.

Houve redução da condutância estomática de 48% no tratamento controle (C), 51% no estresse moderado e 68% (EM) no estresse severo (ES). Para a transpiração foliar, a redução foi de 48, 57 e 66%, enquanto para a taxa fotossintética foi de 12, 49 e 77%, respectivamente para C, EM e ES. Os autores atribuem às reduções no tratamento controle devido à limitação de água em algumas horas do dia, pelo fato das plantas estarem mais desenvolvidas e consumirem mais água, não sendo suficiente o tamanho do vaso, apesar da correção diária da umidade.

Em mudas de Andiroba (*Carapa guianenses*) Gonçalves et al. (2009) encontraram taxas fotossintéticas de 4,1 a 5,3  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no tratamento em que as plantas foram irrigadas normalmente, e de 3,7 a 0,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no tratamento onde foi feita a supressão da irrigação. Com a taxa fotossintética (A) próxima de zero, as plantas foram reidratadas dando continuidade no experimento por 21 dias. Após 14 dias de supressão da irrigação, o valor médio de A foi de 0,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , representando redução de 76%, comparado com a leitura inicial (3,7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e uma diferença de 80%, comparado à resposta das plantas irrigadas (4,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Com relação aos valores da condutância estomática (gs), após 14 dias de supressão da irrigação, observou-se diferença significativa entre os tratamentos.

Quando os valores de A no tratamento de plantas não irrigadas apresentavam-se próximos de zero, a resposta da gs foi de 0,7  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,

representando redução de 89%, quando comparado com a leitura inicial ( $5,9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), e uma diferença de 93%, quando comparado com o tratamento de plantas irrigadas ( $10,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Quanto à transpiração (E), observou-se um padrão de respostas semelhantes às respostas da taxa de gs durante o período de supressão da irrigação, porém, com diferença de 91% no último dia, quando comparado com as plantas do tratamento irrigado.

Com este trabalho, os autores concluem que o fechamento estomático representou a causa primária da redução na taxa fotossintética e na taxa de transpiração sob condições de deficiência hídrica. Essa redução se deve à diminuição na disponibilidade de  $\text{CO}_2$  nas câmaras subestomáticas das folhas, causada pelo fechamento dos estômatos. E o decréscimo na disponibilidade hídrica ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e, conseqüentemente, à redução da condutância estomática.

Centritto (2005) estudou efeitos da concentração de  $\text{CO}_2$  e estresse hídrico sobre plantas de cereja crescendo em colunas de solos. Observou que estresse hídrico limitou a fotossíntese sem causar irreversível dano bioquímico às plantas, em razão da não variação ou decréscimo da relação da concentração do gás carbônico interno e da atmosfera.

## **3.0. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Área experimental**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Centro Técnico de Irrigação (lat. 23°25'' S, long. 51°56' O; 542 m de altitude), pertencente à Universidade Estadual de Maringá-PR (UEM), no período de Junho a Outubro de 2011.

### **3.2. Delineamento experimental**

Constitui-se um experimento fatorial 4x2x3 em delineamento de blocos ao acaso, correspondente a quatro níveis de água disponível (100, 75, 50 e 25% ) para o cultivo do feijoeiro em duas classes de solo - Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho, contidas em vasos de 20 kg de capacidade com três repetições, totalizando vinte e quatro tratamentos.

Além destes vinte e quatro tratamentos, outros quatro vasos para cada classe de solo foram utilizados, com o objetivo de verificar o comportamento da evapotranspiração e da fotossíntese com o decréscimo da água disponível, no estágio fenológico em que a planta é mais susceptível ao estresse hídrico – o florescimento.

### **3.3. Características da cultura**

A variedade de feijoeiro utilizada, IPR Tangará, é do grupo carioca e possui hábito de crescimento indeterminado, porte ereto com guias longas e ciclo médio de 87 dias. Apresenta tolerância intermediária a altas temperaturas e à seca ocorridas na fase de florescimento, susceptibilidade à antracnose e crestamento

bacteriano comum e resistência às demais doenças (mosaico comum, murcha de *curtobacterium*, murcha de *Fusarium*, ferrugem, oídio e mancha angular).

### 3.4. Solos utilizados

Coletaram-se da camada de 0-20 cm, Nitossolo Vermelho distroférico, proveniente do Centro Técnico de Irrigação (UEM), e Latossolo Vermelho proveniente da Fazenda Experimental de Iguatemi (UEM).

Ambos os solos foram levados à casa de vegetação, onde foram passados em peneira de malha de 4 mm e revolvidos diariamente para serem secos ao ar. Após estarem secos, os vasos foram preenchidos, sendo a massa adicionada medida por meio de balança de precisão de 2g.

No momento de preenchimento dos vasos, coletaram-se amostras para fins de análise de fertilidade (Quadro 02), textura (Quadro 03) e determinação de umidade com base no método gravimétrico. A curva característica de retenção de água no solo (Figura 01) foi elaborada pelo Laboratório do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) através de amostras indeformadas coletadas no campo.

Quadro 02 – Análise química dos solos utilizados.

	pH	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC	V	P	C	
										mg	g	
	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	.....cmolc dm <sup>-3</sup> .....						%	dm <sup>-3</sup>	dm <sup>-3</sup>	
<b>Latossolo</b>	5,20	5,80	0,00	2,54	2,10	1,01	0,35	3,46	6,00	57,67	36,65	14,68
<b>Nitossolo</b>	5,20	6,00	0,00	3,97	3,92	2,08	0,63	6,63	10,60	62,55	6,40	19,95

Quadro 03 – Análise granulométrica dos solos utilizados.

	Areia	Areia	Silte	Argila
	Grossa	Fina		
	.....%.....			
<b>Latossolo</b>	65	23	2	10
<b>Nitossolo</b>	8	15	6	71

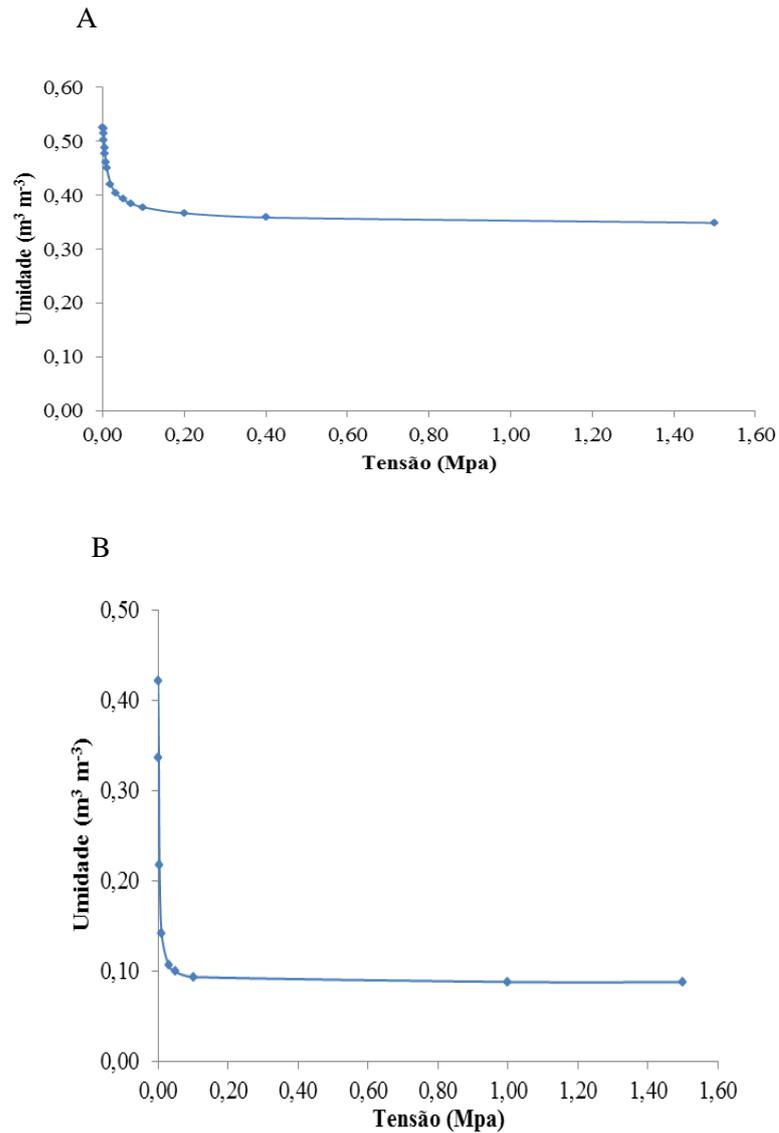


Figura 01 - Curva de retenção de água no solo, Nitossolo Vermelho (A) e Latossolo Vermelho (B).

### 3.5. Determinação da água disponível dos solos

A água disponível corresponde ao intervalo de umidade do solo entre a sua capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Para a determinação da umidade na capacidade de campo, quatro vasos de cada classe de solo foram saturados com água e tiveram sua superfície superior coberta com plástico para evitar perda por evaporação.

Após isso, foi acompanhada diariamente a variação de suas massas em balança de precisão de 2g. No momento em que esta foi mínima, atingiu-se a condição de capacidade de campo. Assim sendo, o Nitossolo e o Latossolo apresentaram respectivos valores de umidade na capacidade de campo de 52 e 24%.

Para o ponto de murcha permanente, foram utilizados valores de umidade obtidos por Salvestro (2010), através do método fisiológico, sendo de 18,6% de para Nitossolo e 8,86% para Latossolo. Dessa forma, com a diferença de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, tem-se os valores de água disponível de 33,4% para Nitossolo e 15,14% para Latossolo.

### **3.6. Semeadura, adubação e transplântio do feijoeiro**

Para que se obtivesse um estande uniforme contendo uma planta de feijoeiro por vaso, as sementes foram semeadas na data de 15/07/2011 em bandeja contendo substrato de nome comercial Basaplant composto de casca de pinus, vermiculita, turfa e carvão. Dez dias após a semeadura na bandeja, as plantas foram transplantadas para os vasos previamente adubados.

A adubação foi realizada com base na recomendação técnica do IAPAR. Assim o Nitossolo recebeu 20 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$  tendo como fonte Cloreto de Potássio (60% de  $K_2O$ ) e 30 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  na forma de Superfosfato Simples (18% de  $P_2O_5$ ). No Latossolo, a dose recomendada foi de 20 Kg  $ha^{-1}$   $K_2O$  sendo utilizado Cloreto de Potássio. Devido ao alto teor de fósforo encontrado nesse solo, proveniente de adubação realizada na Fazenda Experimenta de Iguatemi (UEM) com resíduo de suinocultura (Quadro 02), não foi necessária adubação fosfatada. Sete dias após o transplântio, as plantas de ambos os solos receberam adubação nitrogenada na dose de 30 kg de N  $ha^{-1}$  na forma de ureia.

A quantidade de adubo utilizada foi calculada extrapolando-se os valores da dose em Kg  $ha^{-1}$  para Kg de solo contido nos vasos. Como os vasos possuíam

volume e massa conhecidos foi determinada a densidade média dos solos, sendo de 0,97 Mg m<sup>-3</sup> para Nitossolo e 1,31 Mg m<sup>-3</sup> para o Latossolo.

### 3.7. Cálculo da umidade para os tratamentos

Com a diferença das massas dos vasos antes e após seu preenchimento com o solo seco ao ar, tem-se a massa úmida de solo. Para obtenção da massa seca ou massa de sólidos, a massa úmida foi corrigida pela umidade determinada através do método gravimétrico sendo de 8,8% para Nitossolo e 10,0% para Latossolo.

A umidade percentual que cada tratamento deveria conter foi obtida pela aplicação das frações de 100, 75, 50 e 25% sobre a porcentagem de água disponível de cada solo. A partir desta, calculou-se a massa úmida que cada vaso deveria conter com base na equação abaixo:

$$Umidade (\%) = \frac{Massa\ de\ Água}{Massa\ de\ Sólidos} \cdot 100 = \frac{Massa\ Úmida - Massa\ Seca}{Massa\ Seca} \cdot 100$$

### 3.8. Condução do experimento

Do transplântio (25/07/11) à adubação nitrogenada (01/08/11), os vinte e quatro vasos foram mantidos com umidade próxima da capacidade de campo, com adição de água por meio de um recipiente plástico.

Após, foi feito o acompanhamento de suas massas por pesagens diárias, a fim de se manter a massa úmida que cada tratamento deveria conter.

Quando a massa do vaso se encontrava abaixo da massa necessária ao tratamento aplicado, a diferença era repostada adicionando-se a massa de água necessária, pesada em balança de precisão de 2g.

Os demais quatro vasos de cada classe de solo foram mantidos com umidade próxima da capacidade de campo da fase vegetativa ao florescimento. No momento em que as plantas iniciaram o florescimento, na data de 31/08/11,

suspendeu-se a adição de água, de modo a reduzir a água disponível do solo até causar a murcha das plantas.

Durante a condução do experimento, foram medidas as temperaturas máximas e mínimas no interior da casa de vegetação, por meio de termômetro, e também da temperatura ambiente, sendo registrada por estação automática (Figura 02).

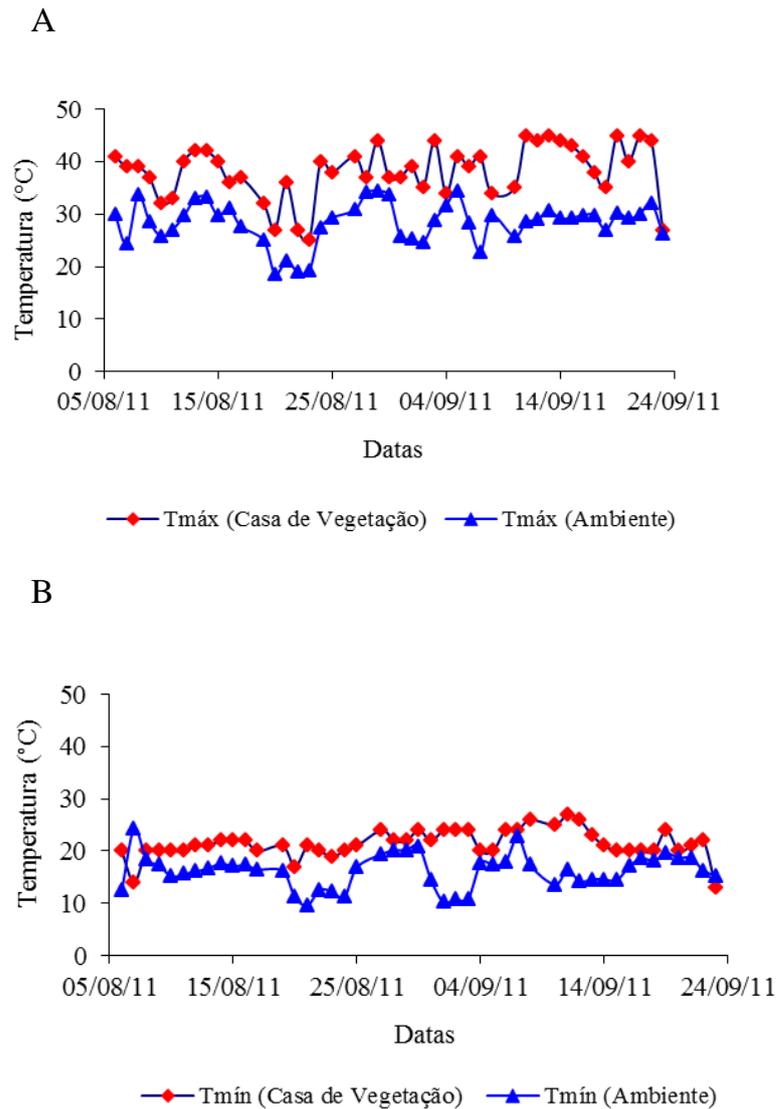


Figura 02 – Temperaturas mínimas (A) e máximas (B) no período de condução do experimento.

### 3.9. Determinação da evapotranspiração

Pesando-se diariamente os vasos em balança foi possível observar a variação de massa de um dia para o outro. Dessa forma, dividindo-se essa variação em quilos pela área em metros quadrados da superfície em que o solo formava com o vaso, foi determinada a lâmina de água que evapotranspirou.

Para os vinte e quatro tratamentos, a evapotranspiração foi determinada do período de 05/08/11 a 26/08/11 (fase vegetativa ao pré-florescimento) e para os demais oito vasos, na fase de florescimento (31/08/11) com decréscimo da água disponível do solo.

### 4.0. Determinação da fotossíntese, condutância estomática e transpiração foliar

As medidas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foliar foram realizadas em três épocas nos vinte e quatro tratamentos: 36 dias (fase vegetativa), 48 dias (floração), e 69 dias (enchimento de grãos) após a semeadura do feijoeiro, por meio do equipamento IRGA (Infra Red Gas Analyser) no período da manhã entre as 08 e 10 horas. O equipamento foi calibrado adotando-se a radiação fotossinteticamente ativa de 800 nm (Figura 03).

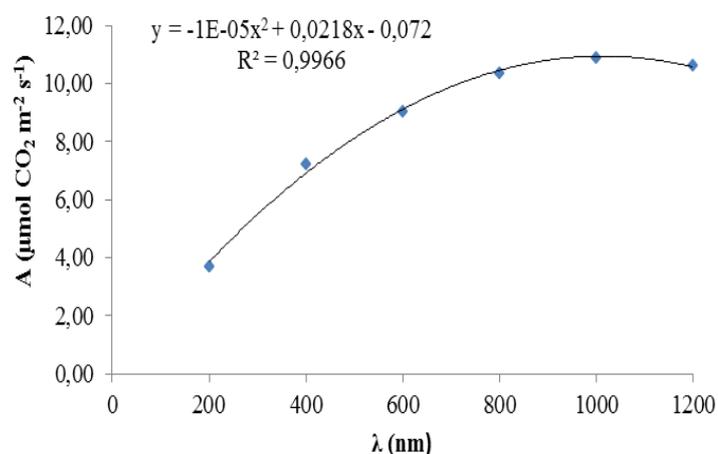


Figura 03 - Curva de calibração do medidor de fotossíntese.

As medidas também foram feitas no período da manhã, nas plantas dos quatro vasos de cada solo na fase de florescimento (na qual a planta é mais susceptível ao estresse hídrico), para observar o comportamento da taxa fotossintética com o decréscimo água disponível do solo até o momento em que as plantas apresentassem sinal de murcha.

O equipamento IRGA (Infra Red Gas Analyser) permite a determinação da taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foliar, baseada nas medidas de concentração  $\text{CO}_2$  do ar que circula em fluxo forçado através de uma câmara. A variação do  $\text{CO}_2$  que entra e deixa a câmara onde a folha realiza suas atividades metabólicas permite estimar estes fatores.

## **5.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Medidas de fotossíntese, da condutância estomática e da transpiração foliar**

#### **5.1.1. Na fase de florescimento em função da água disponível**

Os resultados das leituras de taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E) estão representados nas Figuras 04 e 05, respectivamente Nitossolo e Latossolo.

A taxa fotossintética variou com a umidade do solo, que reduziu para valores próximos de zero em ambos os solos. Para Nitossolo, ocorreu com valores de umidade em torno de 26% em peso, corresponde 23% de água disponível no solo, como pode ser observado na Figura 04. Este valor está acima do ponto de murcha fisiológico para cultura do feijoeiro no referido solo, determinado por Salvestro (2010), sendo de 18%.

Os valores medidos de fotossíntese nas plantas no Latossolo foram superiores aos medidos nas plantas cultivadas no Nitossolo (Figuras 1A e 3A) devido ao melhor desenvolvimento da cultura. Para medidas de fotossíntese, no Latossolo com 50 e 31% de água disponível, a fotossíntese reduziu em relação ao tratamento sem restrição hídrica, de 50 e 97,36%, respectivamente.

Conforme o conteúdo de água do solo reduz, a planta apresenta o mecanismo de fechar seus estômatos para preservar o conteúdo hídrico adequado. Este fechamento é indicado pela menor condutância dos estômatos (Figuras 04B e 05B). Como consequência do fechamento estomático, menos CO<sub>2</sub> é absorvido para o processo fotossintético ocasionando reduções das taxas fotossintéticas e também há menor perda de água do solo por transpiração (Figuras 04C e 05C).

Diferentes estudos têm mostrado que condutância estomática é um dos fatores dominantes da fotossíntese em condições de estresse hídrico (Flexas et al., 2004; Flexas et al., 2006; Naudats et al., 2011).

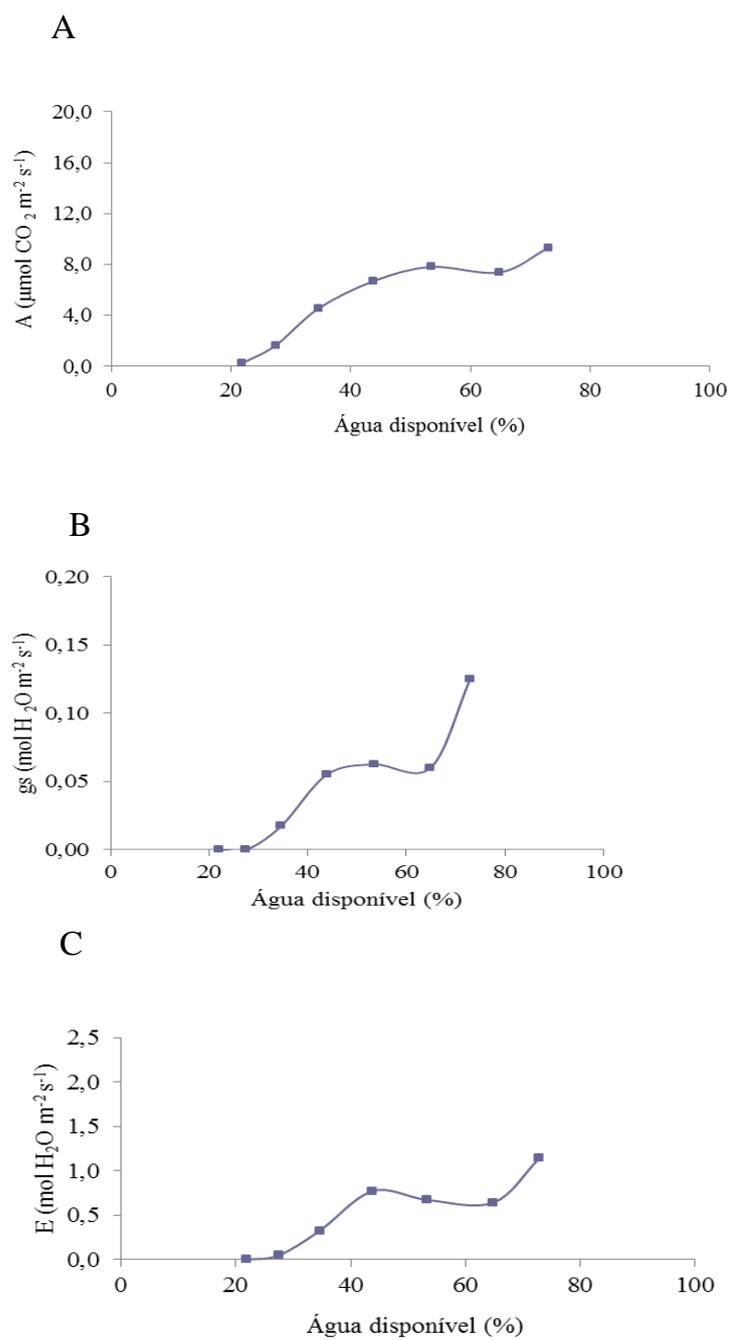


Figura 04 - Medidas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) em função da água disponível no Nitossolo.

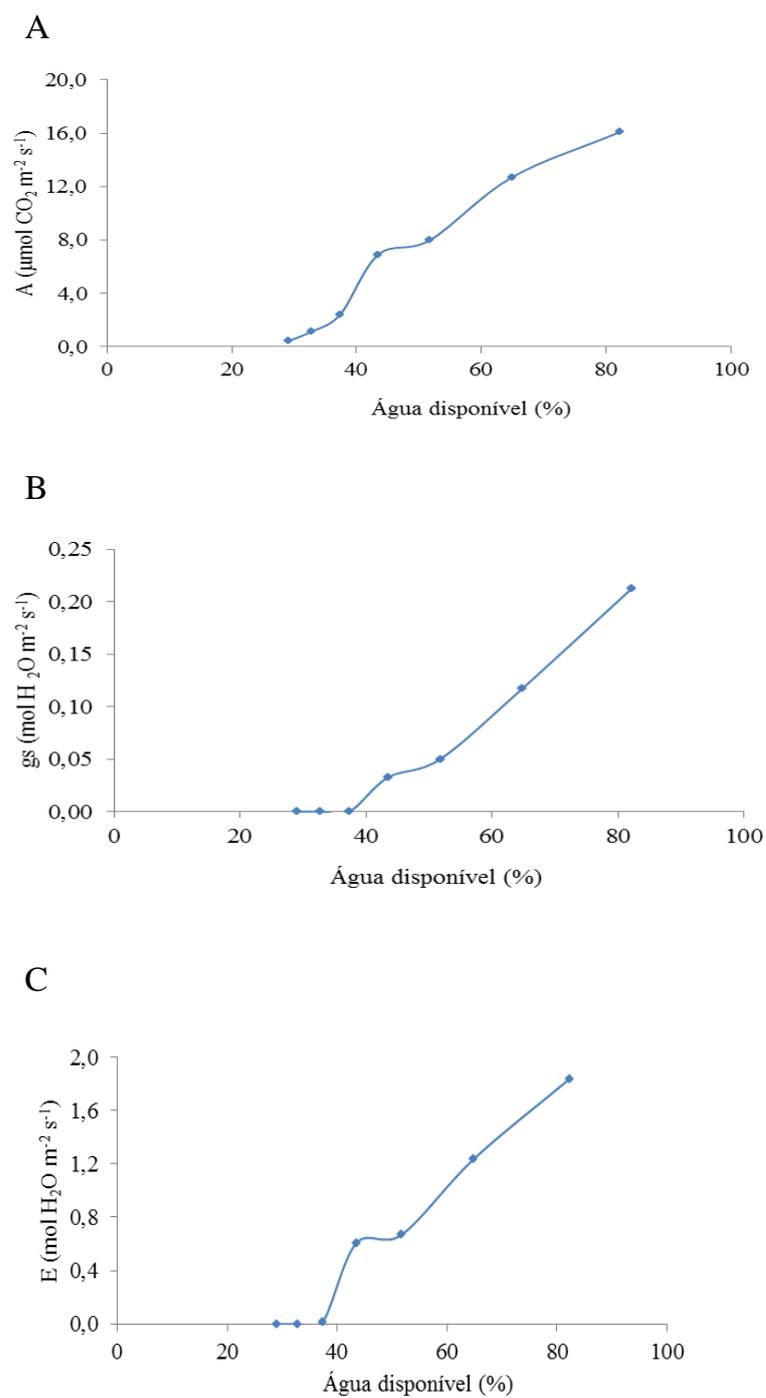


Figura 05 - Medidas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) em função da água disponível no Latossolo.

A correlação entre a fotossíntese e condutância estomática para os vasos em que foram realizadas as medidas apresentaram valores acima de 94%. O valor da transpiração foliar se aproxima de  $0,0 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para valores de umidades próximos ao ponto de murcha permanente corroborando com os valores encontrados por Salvestro (2010) para cultura do feijão.

Girona et al. (2002) obtiveram valores da fotossíntese de pessegueiros cultivados em um solo arenoso sob regime de estresse hídrico e observaram uma variação na taxa relativa da fotossíntese de 1,0 unidade para o primeiro dia de estresse hídrico a 0,2 unidades para o terceiro dia. Também observaram que a redução da condutância estomática e a fotossíntese reduziram com conteúdo de água disponível no solo, seguindo um padrão similar ao da transpiração foliar. Estes resultados corroboram com os resultados encontrados nesse trabalho e seguem o mesmo padrão de transpiração, que podem ser observados nas Figuras 04A e 05C.

### **5.1.2. Em três fases do ciclo da cultura**

As medidas de fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração foliar (E) no estágio vegetativo, florescimento e enchimento de grãos são representadas respectivamente para Nitossolo e Latossolo nas Figuras 06 e 07.

No Nitossolo, os valores obtidos da taxa fotossintética apresentaram o mesmo comportamento da condutância estomática e da transpiração, sendo inferiores nos tratamentos com menor água disponível. E também não apresentaram diferenças visíveis entres as três épocas de medida, como pode ser observado na Figura 06A.

Para o Latossolo Vermelho, não foi observado o decréscimo da fotossíntese com redução da água disponível no solo, isso pode ter ocorrido em razão da dificuldade da reposição adequada de água. Como este apresenta baixa capacidade de retenção de água, houve problemas com drenagem do conteúdo de água adicionado, dificultando a manutenção da umidade necessária aos

tratamentos. Dessa forma não houve a observação de um comportamento determinado, como foi encontrado no Nitossolo.

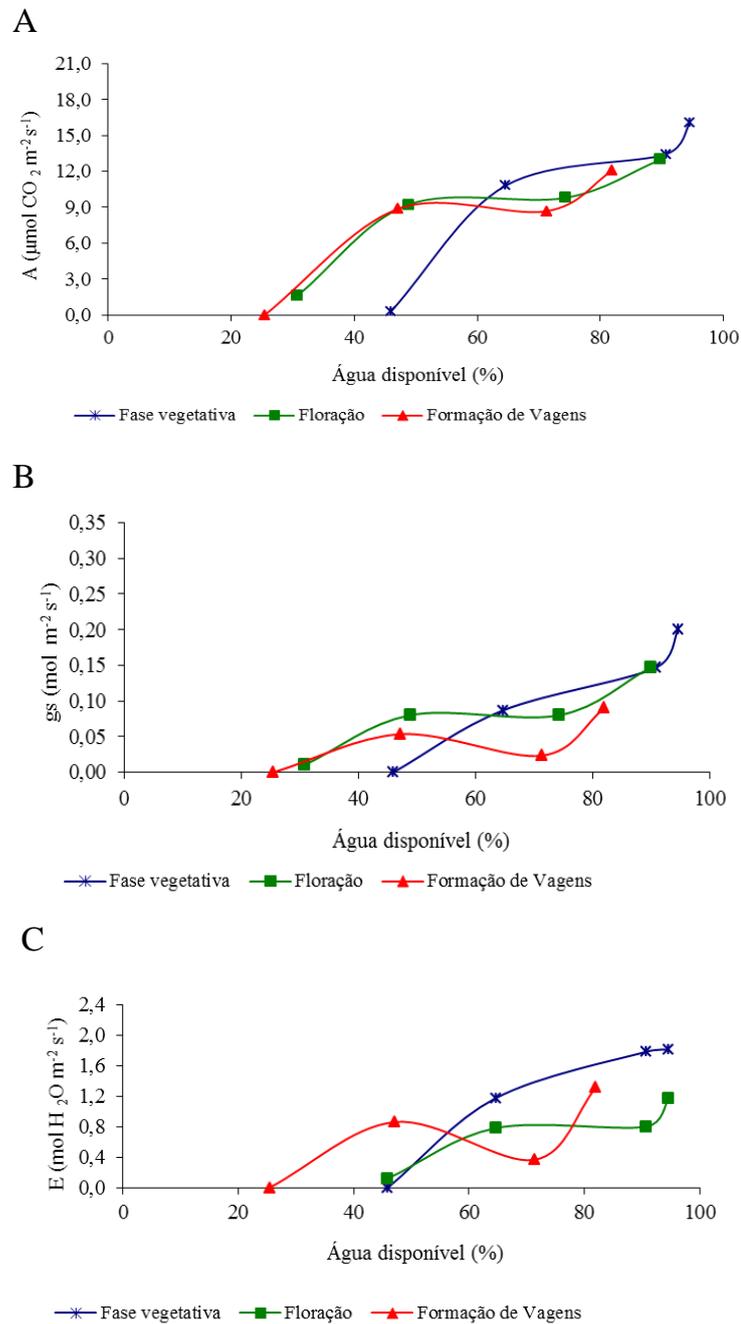


Figura 06 - Medidas da taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) ao longo do ciclo da cultura em função da água disponível em Nitossolo Vermelho distroférico.

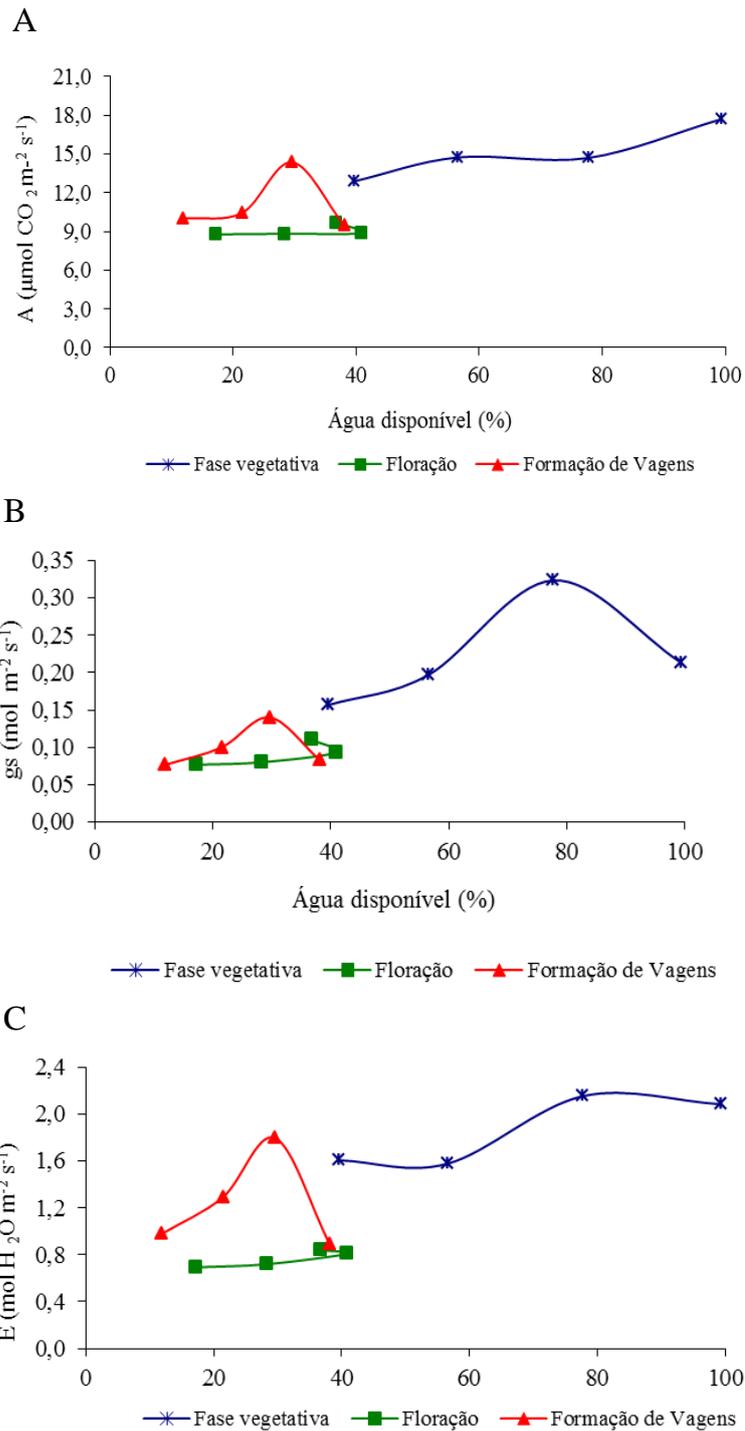


Figura 07 - Medidas da taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração foliar (C) ao longo do ciclo da cultura em função da água disponível em Latossolo Vermelho.

A taxa fotossintética reduziu relativamente a 23,0; 29,4 e 93,1% do tratamento sem restrição hídrica quando comparada aos tratamentos 75, 50 e 25% de água disponível para o Nitossolo Vermelho. Estes resultados são próximos dos encontrados por Girona et al. (2002) em que os tratamentos com 70 e 50% de água disponível apresentaram reduções respectivas de 20 e 25% para a taxa fotossintética.

Os padrões de resposta entre transpiração foliar e condutância estomática foram semelhantes, indicando que o segundo exerce controle sobre o primeiro. Isto corrobora com o trabalho de Gonçalves et al., (2009) que trabalharam com mudas de Andiroba.

A condutância estomática apresentou correlação de 0,96 com a fotossíntese, fato este também observado por Girona et al. (2002). Os resultados obtidos também corroboram com os encontrados por Gonçalves et al. (2010) que desenvolveram um trabalho em casa de vegetação com cana-de-açúcar, que obtiveram redução na taxa fotossintética de 12, 49 e 77% para faixa de água disponível de 100 a 80, 60 a 40 e 20 a 0%.

Em plantas de seringueira submetidas ao estresse hídrico, Conforto (2008) observou que, apesar de ocorrer o fechamento estomático indicado pela medida de  $0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de condutância estomática, as taxas de transpiração foliar e fotossíntese não chegaram a zero, sendo respectivamente de  $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $1 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A autora atribui este fato a grande transpiração cuticular da espécie, indicando um mecanismo de adaptação ao estresse; assim, o processo fotossintético pode continuar por um determinado número de dias.

Em nosso trabalho, foi observado que para o Nitossolo (Figura 06) quando a condutância estomática atingiu valores nulos ou próximos à nulidade nas três etapas de desenvolvimento da cultura, a transpiração e a taxa fotossintética também foram próximas de zero, ou seja, um comportamento diferente do encontrado em seringueira por Conforto (2008). No Latossolo, não foi possível observar um comportamento definido em razão da dificuldade de reposição de água anteriormente citada.

Mattos et al. (2005) encontraram valores de fotossíntese líquida, sob condição de capacidade de campo, variando entre 15,0 e 11,0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente em *B. mutica* e *B. humidicola*. Diferenças entre as espécies quanto às suas fotossínteses líquidas foram observadas apenas sob condição de ponto de murcha permanente, em que a *B. humidicola* apresentou o mais baixo valor (5,96  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

Os valores encontrados para condições de capacidade de campo foram próximos aos observados. Mas os valores de fotossíntese medidos em condições de umidade do solo próximo ao ponto de murcha fisiológico foram próximos de zero. Assim nossos resultados discordam dos observados por Mattos et al. (2005) em razão de o autor ter adotado o valor do ponto de murcha a partir da curva de retenção de água no solo obtida em laboratório, enquanto trabalhamos com ponto de murcha fisiológico obtido por Salvestro (2010), que obteve valores muito abaixo obtidos pelo método de laboratório.

Li et al. (2011) encontraram que a fotossíntese decresceu acentuadamente com a redução de umidade. Também resultados similares foram encontrados por Duan et al. (2009) que trabalharam com água disponível no solo, em duas condições: capacidade de campo e 25% de água disponível, representando as umidades com base em volume de 0,330 e 0,083  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  próximas ao do Latossolo Vermelho em estudo.

Os autores encontraram diferença estatística para os valores de taxa fotossintética, sendo os valores 6,96 e 5,46  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente para capacidade de campo e 25% de água disponível. Não observamos decréscimos acentuados nos valores para o Latossolo Vermelho para as medidas realizadas ao longo do ciclo da cultura para os diferentes níveis de água disponível.

Para o Latossolo, a fotossíntese apresentou pequenas reduções quando comparada ao tratamento com 100% de água disponível de 17; 17 e 27,2%, respectivamente aos tratamentos de 75, 50 e 25% de água disponível no solo.

Quando as medidas de fotossínteses foram realizadas com a supressão da reposição de água no solo, na fase de florescimento, observaram-se diferenças na

fotossíntese medida. Este fato não pode ser observado para o Latossolo Vermelho (88% de areia) ao longo do ciclo da cultura, em que os tratamentos foram mantidos no nível de umidade em todo período.

Chun et al. (2011), trabalhando com um solo com 75% de areia não observaram diferenças na fotossíntese bruta medida para quatro níveis de umidade no solo. Obtiveram valores de fotossíntese bruta de 2 a 3 mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para quatro níveis de umidade.

Também Fleisher et al. (2008) não observaram valores de fotossíntese diferentes para níveis de irrigação 50, 75, 90 e 100%, que foram observadas durante a metade do ciclo da cultura. O valor máximo, em dez semanas, foi de 72 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para condição de ambiente e 83 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para nível de CO<sub>2</sub> em 740 μmol mol<sup>-1</sup>. Contudo, a duração do tempo, para o qual o valor foi mantido, é claramente influenciada pela irrigação e, em grande parte, em razão das diferenças na área foliar. O desenvolvimento do feijão nos vasos com Latossolo foi muito maior do que comparado no Nitossolo.

## **5.2. Determinação da evapotranspiração em função da água disponível**

O comportamento da evapotranspiração do feijoeiro da fase vegetativa ao pré-florescimento, em função dos tratamentos de água disponível aplicados, é representado na Figura 08A para Nitossolo e 08B para Latossolo.

Os valores médios da evapotranspiração obtida foram de 3,80, 3,40, 2,80 e 2,13 mm d<sup>-1</sup> para o Nitossolo e de 5,40, 4,94, 4,62 e 3,07 mm d<sup>-1</sup> para o Latossolo, respectivamente nos tratamentos de 100, 75, 50 e 25% de água disponível.

Os valores obtidos de evapotranspiração são próximos aos encontrados por Alves et al. (2002) e Oliveira et al. (2007). Estes encontraram respectivos valores médios de 4,8 e 6,35 mm d<sup>-1</sup> na condição de 100% de água disponível. Esses valores altos podem ser em razão das altas temperaturas no interior da casa de vegetação ilustrada pela Figura 02. A razão pela qual as plantas cultivadas no

Latossolo apresentaram maiores valores de evapotranspiração é devida ao maior crescimento da cultura neste solo.

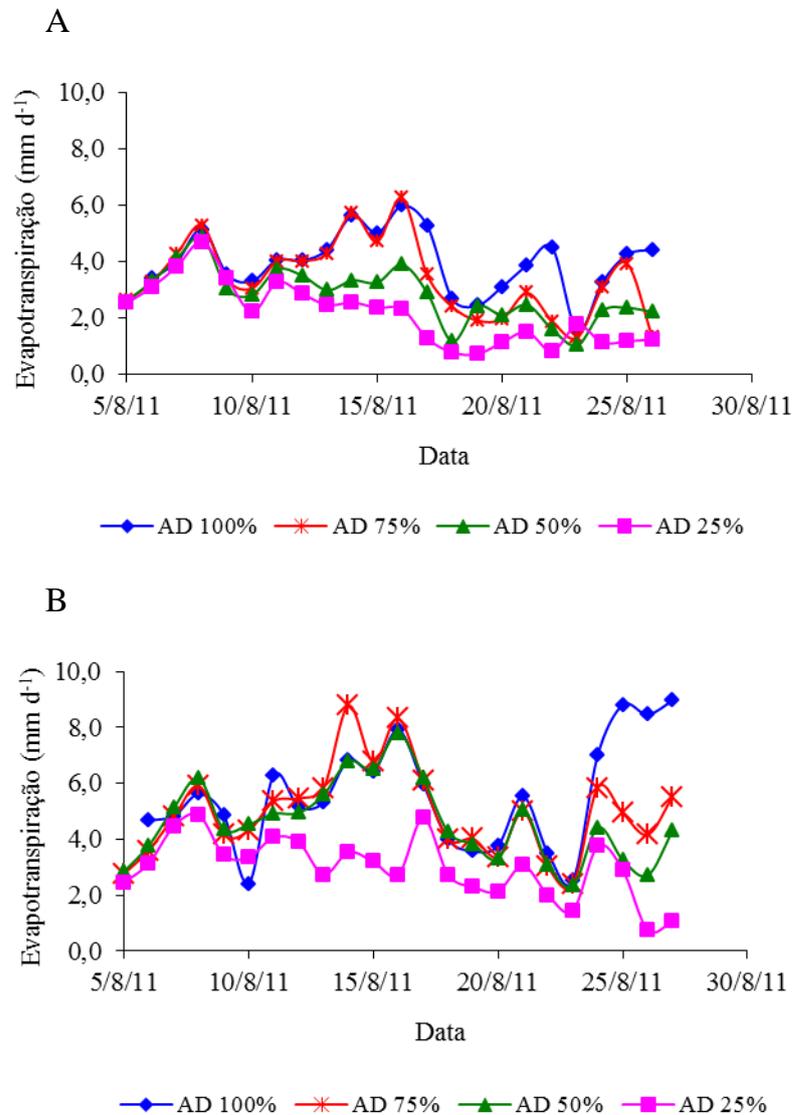


Figura 08 - Evapotranspiração em função da água disponível no solo para Nitossolo (A) e Latossolo (B).

O comportamento da evapotranspiração, com redução da umidade do solo na fase de florescimento, para os quatro vasos de Nitossolo e Latossolo, é observado respectivamente nas Figuras 09A e 09B. Houve uma redução na evapotranspiração mais acentuada no Latossolo em relação ao Nitossolo, sendo devida a menor quantidade de água disponível do primeiro.

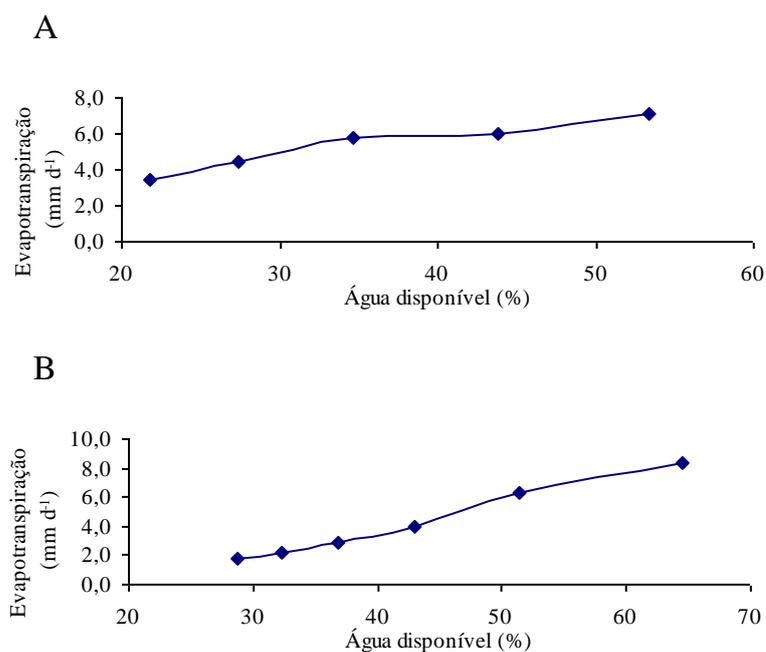


Figura 09 - Evapotranspiração em função da água disponível no solo para Nitossolo (A) e Latossolo (B).

O mesmo padrão de comportamento de redução linear da evapotranspiração com a umidade do solo foi observado por Salvestro (2010). Bernardo et al. (2008) afirmam que a evapotranspiração das plantas permanece em seu potencial máximo quando a condição de umidade do solo é acima do ponto de murcha permanente e cai abruptamente quando se aproxima do ponto de murcha permanente.

## **6.0. CONCLUSÕES**

1. A fotossíntese foi afetada pela condição de água disponível no solo para todas as fases da cultura e decresceu com redução da disponibilidade água;
2. A evapotranspiração reduziu com água disponível no solo ao longo do ciclo da cultura, sendo influenciada pelo crescimento da cultura;
3. A condutância estomática exerce controle sobre a transpiração foliar e a fotossíntese.

## 7.0. REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration- guidelines for computing crop water requirements.** Roma: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage, 56)

ALVES, W.W.A.; ALBUQUERQUE, J.H.; OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F.; SOUZA, C.C. Manejo da água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre a cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.247-251, 2002.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2010.** Brasília-DF 78p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação.** 8.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2008, 625p.

BIZARI, D. R.; MATSURAI, E. E.; ROQUEII M. W.; SOUZA, A. L. DE. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e Convencional. **Ciência Rural**, v.39, n.7, 2009.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination.** Washington DC: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries, 1912, Bulletin nº 30, 83p.

CALLISTER, A.N.; ARNDT, S.K.; ADAMS, M.A. Comparison of four methods for measuring osmotic potential of tree leaves. **Physiologia Plantarum**, v.127, p.383-392, 2006.

CAMPECHE L. F. M.; NETTO, A. O. A.; SOUSA I. F.; FACCIOLI G. G.; SILVA V. DE P. R.; AZEVEDO P. V. DE. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.5, p.519-525, 2011.

CENTRITTO, M. Photosynthetic limitations and carbon partitioning in cherry in response to water deficit and elevated [CO<sub>2</sub>]. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 106, n.2-3, P. 233-242, 2005.

CHUN, J. A.; WANGB, Q.; TIMLINA, D.; FLEISHERA, D.; REDDYA, V. R. Effect of elevated carbon dioxide and water stress on gas exchange and water use efficiency in corn. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 378-384, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2011**. Brasília – DF 46p.

CONCENÇO, G.; SANT'ANNA, S.J.; SCHWANKE, A.M.L.; GALON, L.; FERREIRA, E.A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A.F.; FERREIRA, F.A. Uso da Água por Plantas Híbridas ou Convencionais de Arroz Irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 447-453, 2009.

CONFORTO, E. de C. Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM 600” e “GT 1”) crescidas em campo. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS. V.38, n.3, p.679-684, mai-jun, 2008.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, J. A. F.; PINHO, J. L. N. DE P.; MELO, F. I. O. Produção, Componentes de Produção, Crescimento e Distribuição das Raízes de Caupi Submetido à Deficiência Hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 43-50, 1997.

DIAS, M. C.; BRÜGGEMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, v.48, n.1, p. 96-102, 2010.

DUAN, B.; LI, Y.; ZHANG, X.; KORPELAINEN, H.; LI, C. Water deficit affects mesophyll limitation of leaves more strongly in sun than in shade in two contrasting *Picea asperata* populations. **Tree Physiology**, v.29, n.12, p.1551-1561, 2009.

**Embrapa Sistemas de Produção – Cultivo do Feijoeiro Comum.** Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivoDoFeijoeiro/index.htm>> Acesso em Agosto de 2011.

ENDRES L.; SOUZA J. L. DE; TEODORO I.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS C. M. DOS; BRITO J. E. D. DE. Gas exchange alteration Caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.11-16, 2010.

FLEISHER, D.H.; TIMLIN, D. J.; REDDY, V. R. Elevated carbon dioxide and water stress effects on potato canopy gas exchange, water use, and productivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.6-7,p;1109-1122, 2008.

FLEXAS J.; BOTA J.; LORETO F.; CORNIC G.; SHARKEY T. D.; Diffusive and metabolic limitations to Photosynthesis under Drought and Salinity in C<sub>3</sub> plants. **Plant Biology**, v.6, p. 269-279, 2004.

FLEXAS, J., BOTA, J., GALMÉS, J., MEDRANO, H., RIBAS-CARBÓ, M.: Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v.127, p.343-352, 2006.

FLEXAS, J., MEDRANO, H.: Drought-inhibition of photosynthesis in C<sub>3</sub> plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited. **Annals of Botany** v.89, n.1, p. 183-189, 2002.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M., MARTÍNEZ-CANELLAS, S., MEDRANO, H. 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 Phytology**, v.172, n.1, p.73-82, 2006.

FREITAS, W. da, S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. da. Demanda de irrigação da cultura da banana na bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.4, p.343–349, 2008.

GIRONA, J.; MATA, M.; FERERES, E.; GOLDHAMER, D. A.; COHEN, M. Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water deficits. **Agricultural Water Management**, v.54, 2002, p.107- 122.

GONÇALVES J. F. de C.; SILVA C. E. M. da; GUIMARÃES D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA V. M.; SILVA J. V.; ENDRES L.; BARBOSA T. P.; DUARTE W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378-386, 2010.

GUIMARÃES C. M.; STONE L. F.; BRUNINI O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.70-75, 2006.

JUNIOR, G. B.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI M. L. F.; LACERDA R. D. DE Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.350-355, 2008.

KLEIN, V. A.; REICHERT J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.646-650, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Ed. Rima. São Carlos – SP, 2006.

LI, Y.; ZHAO, H.; DUAN, B.; KORPELAINEN, H.; LI, C. A CHENGDU . Effect of drought and ABA on growth, photosynthesis and antioxidant system of *Cotinus coggygria* seedlings under two different light conditions. **Environmental and Experimental Botany**. v. 71, n.1, p.107-113, 2011.

MACHADO E. C.; SCHMIDT P. T.; MEDINA C. L., RIBEIRO R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; MACHADO, M.S.; e FREITAS, F.C.L. Eficiência Fotossintética e Uso da Água em Plantas de Eucalipto Pulverizadas com Glifosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p.319-327, 2010.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.468-476, 2001.

MATTOS, J. L. S. DE; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Y. Crescimento de Espécies do Gênero *Brachiaria*, sob Déficit Hídrico, em Casa de Vegetação. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.34, n.3, p.746-754, 2005.

MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO<sub>2</sub>. **Plant Physiology**, v.140, n.2, p.771-778, 2006.

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.174-177, 2004.

NASCIMENTO, S. P. do; BASTOS, E. A.; ARAÚJO E. C. E.; FILHO F. R. F.; SILVA E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB. Campina Grande-PB. V.15, n.8, p.853-860, 2011.

NAUDTS, K.; VAN DEN BERGE, J.; JANSSENS, I.A.; NIJS, I.; CEULEMANS, R. Does an extreme drought event alter the response of grassland communities to a changing climate? **Environmental and Experimental Botany**. v.70, n.2-3, P.151-157, 2011.

OLIVEIRA, B.C.; CARDOSO, M.A.A.; OLIVEIRA, J.C.; OLIVEIRA, F. A. ; CAVALCANTE, L. F. Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes níveis de sais, na água de irrigação **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.11-16, 2007.

OLIVEIRA, E. L.; **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no estado do Paraná**. IAPAR Circular Técnica n° 128. Londrina – PR. 30 p. 2003.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO J. E. P.; Condutância Estomática de Feijoeiro Submetido a Diferentes Regimes de Irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; GOMES, N.A.; OLIVEIRA, C.H.R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v. 30, p.921-931, 2006.

REYNOLDS-HENNE, C. E.; LANGENEGGER, A.; MANI J.; SCHENK, N.; ZUMSTEG, A.; FELLER, U. Interactions between temperature, drought and stomatal opening in legumes. **Environmental and Experimental Botany**, v.68, n.1, p.37-43, 2010.

RODRIGUES H. J. B.; COSTA R. F. da; RIBEIRO J. B. M.; FILHO J. D. da C. S. 1; RUIVO M. de L. P.; JÚNIOR J. de A. S. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 189 - 196, 2011

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4<sup>th</sup> ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont – California, 1991, 682p.

SALVESTRO, A. C. **Ponto de Murcha Permanente do Feijoeiro Cultivado em Latossolo e Nitossolo Vermelhos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Maringá-PR. Universidade Estadual de Maringá. 2010, 44p.

SANTANA, M. F. DE; CARVALHO, J. DE; ANDRADE, M J. B. DE; BRAGA, J. C.; GERVÁSIO, G. G., Coeficiente de Cultura e Análise do Rendimento do Feijoeiro sob Regime de Irrigação. **Irriga**, v.13. n.1, p. 92-112, 2008.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion in **Plant Biology***, v.10, p.296-302, 2007.

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

VEIHMEYER, V. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soils. **Soil Science**, v.68, p.75-94, 1949.

VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão (2ª edição)**. Viçosa: UFV. 2006. 600p.