

ALEXANDRE DE CASTRO SALVESTRO

**PONTO DE MURCHA PERMANENTE DO FEIJOEIRO CULTIVADO
EM LATOSSOLO E NITOSSOLO VERMELHOS**

**MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2010**

ALEXANDRE DE CASTRO SALVESTRO

PONTO DE MURCHA PERMANENTE DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM
LATOSSOLO E NITOSSOLO VERMELHOS

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

MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2010

ALEXANDRE DE CASTRO SALVESTRO

PONTO DE MURCHA PERMANENTE DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM
LATOSSOLO E NITOSSOLO VERMELHOS

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

APROVADA em de fevereiro de 2010.

Ph. D. Rogério Teixeira de Faria

Prof. Dr. José de Deus Viana da Mata

Prof. Dr. Roberto Rezende

Prof. Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas
(Orientador)

Dedico este trabalho à minha família. Muitas são as dificuldades encontradas no nosso dia-a-dia. Às vezes sentimos que o mundo nos esquece a cada sorriso e a cada lágrima de tristeza, ou até mesmo de alegria. Muitas são as preocupações, os problemas e os preconceitos contra quem busca, acima de qualquer suspeita, estar em sereno convívio social e afetivo, e é só nesses momentos que encontramos realmente o amor expresso pela ajuda, pelo carinho e pela preocupação de quem nos quer bem. Desta forma agradeço a toda minha família, que de forma indireta ou direta, me possibilitou alcançar mais essa vitória fundamental na minha carreira profissional.

Em especial forma de agradecimento, honro citando minha amada mãe, Izabel de Castro Salvestro, que sem sombra de dúvidas é minha força de vida, e minha amada irmã Tânia Cristina Salvestro, responsável por essa vitória, como minha sobrinha Ana Paula Salvestro, portanto, finaliza-se a referente dedicatória com as sábias palavras de Allan Kardec: "Você receberá, de retorno, tudo o que der aos outros, segundo a lei que nos rege os destinos". Assim, um dia recompensarei de acordo com o destino a mim incumbido pelas leis supremas, todo o esforço cedido para a realização desse trabalho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela oportunidade oferecida para a realização do curso.

Ao Professor Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, agradeço pela orientação para a realização deste trabalho e também pela amizade e companheirismo firmados durante todo esse tempo.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGA-UEM) pela contribuição oferecida e, em particular, aos professores do Centro Técnico de Irrigação, CTI-UEM, Antonio Carlos Andrade Gonçalves, Altair Bertonha e Roberto Rezende pela amizade e orientações sempre que necessárias.

A todos os colegas de curso pela amizade e companheirismo.

À minha família pelo apoio, incentivo, compreensão e motivação durante o transcorrer do curso.

Aos funcionários do Centro Técnico de Irrigação do DAG/UEM, que contribuíram na implantação e manejo do experimento, e execução dos trabalhos de campo: Eduardo Generoso, Osmar Passolongo, Amarildo.

Aos meus familiares, Izabel de Castro Salvestro, João Salvestro, Alline Aparecida Freitas Silvestre e Ana Paula Salvestro, e aos colegas Jefferson Vieira, Ivan, Carlos pela disponibilidade e valioso auxílio na implantação, condução do experimento e na fase de coleta de dados.

Ao colega Allan Lobato que me auxiliou na análise fisiológica das plantas.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ALEXANDRE DE CASTRO SALVESTRO, filho de João Salvestro e Izabel de Castro Salvestro, nasceu na cidade de Cianorte, Estado do Paraná, no dia 07 de maio de 1984. Ingressou na Universidade Estadual de Maringá, Estado do Paraná – UEM - em agosto de 2002, no curso de Engenharia Agrícola. Durante o período de graduação foi bolsista do Programa de Iniciação Científica (PIBIC - UEM). Graduou-se em janeiro de 2007 e em março de 2008 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em nível de Mestrado, área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Ponto de murcha permanente	2
2.2 Características da cultura, solo, clima, manejo de água e o PMP	3
2.3 Ponto de murcha permanente e fisiologia da planta.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Área experimental.....	12
3.2 Características climáticas	13
3.3 Características da cultura.....	13
3.3.1 Cultivar.....	14
3.4 Manejo da cultura	14
3.5 Esquema experimental para avaliação da fotossíntese e evapotranspiração da cultura	14
3.6 Unidade Experimental	17
3.7 Determinação do ponto de murcha permanente.....	17
3.8 Determinação da fotossíntese.....	18
3.8.1 Determinação da fluorescência.....	18
3.9 Determinação da evapotranspiração.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Determinação do Ponto de Murcha Permanente.....	20
4.1.1 LATOSSOLO.....	21
4.1.2 NITOSSOLO.....	23
4.2 Determinação das trocas gasosas.....	25
4.2.1 LATOSSOLO.....	27

4.2.2 NITOSSOLO.....	28
4.3 Determinação da fluorescência.....	29
4.4 Determinação da evapotranspiração em função da umidade do solo.....	30
5 CONCLUSÕES	35
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Resultado da análise química do Nitossolo Vermelho.	12
Quadro 2	Granulometria do Nitossolo Vermelho das camadas de 0 a 20 cm.	12
Quadro 3	Resultado da análise química do Latossolo Vermelho.	13
Quadro 4	Granulometria do Latossolo Vermelho das camadas de 0 a 20 cm.	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Croqui da área experimental com a distribuição dos regimes hídricos.	16
Figura 2	Umidade do Latossolo no ponto de murcha permanente para diferentes vasos.	22
Figura 3	Umidade média das unidades experimentais do LATOSSOLO.	23
Figura 4	Umidade do Nitossolo no ponto de murcha permanente para diferentes vasos	24
Figura 5	Umidade média das unidades experimentais do NITOSSOLO.	25
Figura 6	Fotossíntese do feijão em função da umidade para LATOSSOLO.	26
Figura 7	Fotossíntese do feijão em função da umidade para NITOSSOLO.	26
Figura 8	Fluorescência do feijão em função da umidade. (A) Nitossolo e (B) Latossolo.	29
Figura 9	Evapotranspiração da cultura do feijão em Latossolo.	30
Figura 10	Evapotranspiração da cultura do feijão em Nitossolo.	31
Figura 11	Relação entre evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência em função da umidade do Latossolo.	32
Figura 12	Relação entre evapotranspiração de cultura e evapotranspiração de referência em função da umidade do Nitossolo.	33
Figura 13	Evapotranspiração da cultura de diferentes vasos e evapotranspiração de referência em relação à semana inicial do processo de secamento do Latossolo.	34

Figura 14 Evapotranspiração da cultura de diferentes vasos e evapotranspiração de referência em relação à semana inicial do processo de secamento do Nitossolo.

34

RESUMO

SALVESTRO, Alexandre de Castro, M. S. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2010. **Ponto de murcha permanente do feijoeiro cultivado em Latossolo e Nitossolo Vermelhos.** Professor Orientador: Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

O ponto de murcha permanente (PMP), determinado para a cultura do feijoeiro em Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho, de acordo com o estado da água no solo em termos de quantidade e energia potencial, passando por interferências em relação às classes texturais, profundidade e métodos de quantificação, se dá pela resultante do movimento da água por uma diferença potencial, limitando a quantidade de água disponível à planta, refletindo em sua fotossíntese e, conseqüentemente, produção. No entanto, como o potencial matricial varia em diferentes solos e ao longo do perfil, o PMP deve ser determinado para cada situação, a fim de estudar a resposta da planta ao potencial de água no solo. Portanto, a definição laboratorial da água disponível às plantas (com amostras deformadas ou indeformadas), está sujeita a sérios erros, indicando que os limites de disponibilidade de água às plantas devem ser feitos também pelo método fisiológico, considerando-se as condições de solo e cultivo. Neste estudo, o ponto de murcha permanente quantificado pelo método fisiológico para o Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho no cultivo do feijoeiro apresentou uma umidade do solo em que a planta não consegue mais extrair de $0,186 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,083 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nas profundidades (0-15 cm) respectivamente, acresce-se que para os respectivos solos a taxa fotossintética alcançou o limite zero de assimilação de CO_2 da planta na exata média do PMP de $0,187 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o Nitossolo e o limite zero de assimilação de CO_2 da planta, antes do ponto de murcha permanente médio de $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o Latossolo.

Palavras-chave: água disponível, taxa fotossintética, propriedades físicas do solo, feijão, evapotranspiração.

ABSTRACT

SALVESTRO, Alexandre de Castro, M. S. Universidade Estadual de Maringá, February of 2010. **Permanent wilting point of beans cultivated in Paleudult and Haplorthox.** Adviser: Dr. Paulo Sergio Lourenço de Freitas.

The permanent wilting point (PWP), determined for the cultivation of beans in Paleudult and Haplorthox according to the state of the water in the soil in terms of quantity and potential energy, through interferences related to texture classes, depth and methods of quantification occurs as a result of the movement of the water for a potential difference, restricting the quantity of water available to the plant, reflecting in its photosynthesis and consequently in the production. However, as the matric potential varies in different soils along the profile, the PWP must be determined for each situation, in order to study the the response of the plant to the water potential in the soil. Therefore, the laboratory definition of water available to the plants (with deformed or undeformed samples), stands the chance of serious mistakes, indicating that the limits of water availability to the plants must also be carried out by the physiological method, considering the conditions of soil and cultivation. In this study, the permanent wilting point measured by the physiological method for the Paleudult and Haplorthox in the cultivation of beans to a soil humidity in which the plant is unable to extract more from $0,186 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ and $0,083 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, the depths (0-15 cm) respectively, besides, the respective soils the photosynthetic rates reached the zero limit of CO_2 assimilation of the plant in the exact general average of PWP of $0,187 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, for Paleudult and the zero limit of assimilation of CO_2 of the plant, before the permanent wilting point average of $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ for the Haplorthox.

Keywords: water availability, photosynthetic rate, physical properties, beans, evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

Estudar a dinâmica de água no solo remete a abranger conceitos e definições contraditórias e evolutivas de vários trabalhos; evidenciar essa dinâmica a uma pesquisa de disponibilidade de água no solo disposta no estado de energia (potencial) para a planta e condizê-la a um limite volumétrico de disposição mínima, deduz uma referência de relativa significância a estabelecer critérios de reposição ideal de água para a produtividade agrícola.

O ponto de murcha permanente (PMP), segundo Briggs & Shantz (1912), é definido como a porcentagem de umidade do solo em que as plantas são reduzidas a uma condição de murcha a partir do qual não se recuperam desse processo quando colocadas em um ambiente aproximadamente saturado sem adição de água ao solo.

Reichardt & Timm (2004), retratando os estudos evolutivos do ponto de murcha permanente, relevaram a idéia de que o fenômeno depende de fatores de solo (condutividade hidráulica, difusividade, relações entre umidade e potencial), da planta (densidade das raízes, profundidade, taxa de crescimento das raízes, fisiologia da raiz, área foliar) e da atmosfera (déficit de saturação, vento, radiação disponível).

Nesse contexto, os referidos autores descreveram que o processo da quantificação do ponto de murcha permanente, torna-se mais complexo quando se verifica que diferentes plantas respondem de maneira diferente à umidade do solo, o que leva os pesquisadores a reconhecerem que a umidade do solo, por si só, não é um critério adequado para definir disponibilidade de água para a planta.

De acordo com os estudos referidos, há necessidade de se postular um limite inferior de água para cada cultura em referido de acordo com o solo.

Os objetivos do trabalho foram determinar a umidade correspondente ao ponto de murcha permanente para a cultura do feijão (IPR Colibri), em dois solos: Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho, representativos na região noroeste do estado do Paraná e evapotranspiração em função da umidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ponto de murcha permanente

O ponto de murcha permanente (PMP) é o limite mínimo de umidade do solo em que as plantas perdem turgescência das folhas e deste ponto não se recuperam quando colocadas em um ambiente escuro e saturado, conceito esse, com base nos estudos dos primeiros relatos do PMP como de Briggs & Shantz (1912), que caracterizam o ponto de murcha permanente como a fração de água mínima disponível no solo para desenvolvimento das plantas.

Com base nos conceitos iniciais do ponto de murcha permanente, e com a evolução dos estudos de disponibilidade de água no solo, houve a necessidade de se quantificar esse limite mínimo de disposição de água do solo às plantas, assim sendo, Klein et al. (2006) determinaram o PMP, em um solo de composição granulométrica média de 64 % de argila, 76 % de silte e 28 % de areia pelo método direto ou fisiológico e em câmara de Richards, que resultaram que o teor de água do solo no qual ocorre o ponto de murcha fisiológico das plantas foi significativamente menor que aquele obtido com as câmaras de Richards em potencial de -1500 kPa e a diferença entre os valores varia de 2 a 4%.

Relacionando essa umidade e a curva de retenção de água no solo, alguns autores, em seus estudos, perceberam que o potencial encontrado de aproximadamente -1500 kPa equivale ao ponto de murcha permanente, uma vez que, em baixos potenciais matriciais, a umidade no solo varia pouco, como relatado por Romano & Santini (2002). Esse procedimento é estimado pelo método laboratorial conforme Richards (1947), segundo Souza et al. (2002).

Acredita-se que não existe uma medida em laboratório que possa ser, no campo, um real substituto do ponto de murcha permanente uma vez que a capacidade de retenção de água dos solos varia principalmente de acordo com a

classe textural, e salienta que determinadas plantas podem absorver água sob tensões baixas no solo.

Souza et al. (2000) determinaram o ponto de murcha permanente para cultura do algodoeiro, em casa de vegetação, em um solo com 46,8, 24,7 e 28,5 % de areia, silte e argila, respectivamente. Encontraram pelo método de laboratório, à tensão de -1500 kPa, o valor de 11% em peso e 5,6% em peso pelo método direto. Também Souza et al, (2002) determinaram o ponto de murcha permanente para cultura algodoeiro, adotando o mesmo procedimento para um solo com 85,5, 11,3 e 3,2 % de areia, silte e argila, respectivamente. Encontraram em laboratório à tensão -1500 kPa, o valor de 3,5% em peso e 1,1% em peso pelo método direto. Carlesso (1995), ressalta, além, que o potencial de umidade no solo no PMP pode não somente variar com o solo, como nos estudos citados, como também, de acordo com a espécie, estágio fenológico da planta, histórico de estresse hídrico e condições ambientais.

2.2 Características da cultura, solo, clima, manejo de água e o PMP

A estimativa do ponto de murcha permanente, como demonstrado em trabalhos (SANTOS et al., 1998), é alterada de acordo com as mudanças de vegetais em disposição a cada tipo de solo, ou vice-versa.

O ponto de murcha permanente é correlacionado com a espécie e estágio de crescimento. Procópio et al. (2004) trabalharam com diferentes espécies de plantas, dentre elas o feijão, em solo com 60% de argila. Em experimento em vasos, sob feijoeiro, no período da primavera, em duas épocas de indução de estresse hídrico, pré-florescimento e início do enchimento de grãos, encontraram-se para o feijão o valor de 15,7 e 16,7% de umidade em peso, respectivamente, para umidade no PMP, que não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Alguns trabalhos como de Bezerra et al. (2005) relatam diferenças entre os valores de ponto de murcha permanente sob cultivo do girassol e do feijão

caupi como plantas indicadoras, justificando as propriedades particulares de cada cultura como fatores que influenciam na estimativa do PMP.

Outra propriedade que tem sido correlacionada à determinação do ponto de murcha permanente em relação a suas características de estimativa é a evapotranspiração de referência das culturas. Calvache et al. (1998) trabalharam com feijão sob o efeito de épocas de deficiência hídrica, evidenciando a evapotranspiração. Observaram que deficiência de água no solo, resultante do déficit hídrico durante a fase de enchimento da vagem, afetou a produtividade do feijoeiro, na qual a evapotranspiração não teve um decréscimo significativo com a omissão da irrigação que conduziu o estresse hídrico.

O solo, segundo Klein & Libardi (2000), é afetado pelo seu manejo e práticas culturais causando, conseqüentemente, alterações da dinâmica e retenção de água nos poros, que resulta na estimativa do PMP. Ainda segundo os autores, os fatores que afetam a disponibilidade de água às culturas são: a estrutura do solo, a distribuição do diâmetro dos poros, a textura, o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica.

A combinação da textura com outras propriedades, como a composição mineralógica das argilas e o teor da matéria orgânica, relaciona-se, em grande parte, com a estrutura, consistência, permeabilidade, capacidade de trocas de cátions, retenção de água, demonstrado por Peraza et al. (2002), que, trabalhando com equações de pedotransferência para estimativa do ponto de murcha permanente, mostraram dispersão de dados de carbono, areia grossa, areia fina, argila natural e argila em relação ao PMP.

Ainda segundo Peraza et al. (2002), a matéria orgânica e granulometria do solo cumprem um papel fundamental na estimativa do ponto de murcha permanente. Quanto à matéria orgânica, Maia et al. (2005) afirmam em seu trabalho que com a aplicação de vermicomposto (matéria orgânica) na camada superficial e subsuperficial do solo, aumentam os valores do ponto de murcha permanente e água disponível às plantas em função do aumento das doses de vermicompostos, sendo maiores na camada subsuperficial.

Contudo, o solo condiciona como as demais características abrangidas, a resultante do ponto de murcha permanente, devido a sua textura e propriedade física. Bezerra et al. (1999) relataram em seu trabalho que a força com que o solo retém água, aumenta à medida que a umidade do solo reduz, atributo esse correlacionado às características físicas de cada solo. Norton e Silvertooth (1998) destacam o tipo de solo como sendo uma condição primordial para a determinação do ponto de murcha permanente. Cirino & Guerra (1994), trabalhando com três tipos de solo (arenoso, franco-argiloso e argilo-arenoso) verificaram que as tensões que reproduzem a umidade no ponto de murcha permanente, resultaram em uma variação de teor (0,1, 0,3 e 0,7 kPa, respectivamente), assim, inferida a característica solo como fator de alteração no ponto de murcha permanente.

Balland et al. (2008) trabalharam com três solos, verificaram o PMP de acordo com as classes texturais e porosidade dos referentes solos, e encontraram variação da umidade de acordo com o teor de argila e profundidade, isto é, quanto mais argila contém o solo, maior é o PMP. Os solos com teores de argila de 0,19 e 0,13 respectivamente, apresentaram o ponto de murcha de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, já o solo com uma fração média de argila menor de 0,05, e conseqüentemente mais uma fração maior de areia de 0,60, apresentou o valor de $0,06 \text{ m}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Ghanbarian, et al. (2009), com o objetivo de investigar a relação entre a densidade do solo e a umidade no ponto de murcha permanente, utilizaram bases de dados de vários autores que encontram o PMP para vários tipos de solos com respectivas diferenças texturais.

Dentre os autores citados por Ghabarian et al. (2009), estão Huang et al. (2006), Fooladmand (2007), Puckett et al. (1985), que encontraram valores para o ponto de murcha de $0,023 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,089 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,062 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para textura arenosa e $0,212 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,278 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para textura argilosa, respectivamente.

Al-rumikhani (2002) determinou o PMP estudando uma sequência diferenciada de culturas (pousio, cevada, milho, tomate, trigo, alfafa) em sete anos de plantio sob pivô central, realizou durante esse tempo a avaliação

granulométrica média, encontrando o valor de 76,02% de areia, 17,59 % de argila e 6,39% de silte, e quantificou a umidade de acordo com as camadas de 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm, encontrando uma variação para o ponto de murcha de $0,0479 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,0704 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferenciados pelas sequências de culturas e $0,0666 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 0-15 cm, $0,0618 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 15-30 cm, $0,0608 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 30-60 cm e $0,0516 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 60-90 cm, diferenciados pela profundidade.

Cirino & Guerra (1994) trabalharam, também, com solos de diferentes texturas encontrando diferenças significativas entre os valores de ponto de murcha permanente.

No aspecto geral, que associa o manejo de água às outras propriedades que correlacionam na determinação do ponto de murcha permanente, segundo Tormena et al. (1999), estudando o intervalo ótimo de potencial de água no solo, idealiza em sua discussão que o controle da irrigação, no caso, como manejo de água, é feito monitorando-se a água do solo sem levar em conta outros fatores físicos que dependem da sua condição estrutural e que são modificados de forma dinâmica com a aplicação de água, e que a avaliação conjunta dos potenciais críticos como o ponto de murcha permanente, para resistência à penetração e para porosidade de aeração, permite identificar possíveis fatores físicos limitantes ao desenvolvimento das plantas e aperfeiçoar os fatores de produção e de manejo na agricultura irrigada.

2.3 Ponto de murcha permanente e fisiologia da planta

A fisiologia vegetal estuda os fenômenos vitais que concernem às plantas; a restrição de água é o principal fator que delimita os fenômenos de crescimento, desenvolvimento e produção, contudo, resultar a quantidade mínima de água que o solo disponibiliza à planta sem que haja danos irreparáveis nesse fenômeno é de fundamental valia. Segundo Bigelow et al. (2004), a determinação do ponto de murcha na perspectiva da fisiologia da planta pode ser em alguns casos de difícil execução e resultados ambíguos.

Costa et al. (2009) determinou a capacidade de campo e ponto de murcha permanente para cultura do melão, em solo com cerca de 89%, 4% e 6,9% de areia, silte e argila, respectivamente. Encontraram pelo método laboratorial na tensão do ponto de murcha permanente, 1,32% de umidade e, pelo método fisiológico, de 1,82%. Vários são os fatores fisiológicos que sofrem influência com a fração de água disponível, entre eles, destaca-se a fotossíntese. Machado et al. (2005) mediram a taxa de fotossíntese para três variedades de citrus: foram de 9,8, 13,0 e 12,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em 'Valência', 'Murcote' e 'Tahiti', respectivamente, indicando diferentes capacidades de transporte de elétrons e eficiência de assimilação de CO_2 .

Contudo, os fatores fisiológicos, na medida em que o potencial hídrico do solo se altera, irão refletir na turgescência da planta, que serve como indicador do ponto de murcha permanente. A conservação dessa turgescência, segundo Kramer e Boyer (1995), demonstra um mecanismo efetivo de tolerância à seca quando o potencial hídrico decresce, enfatizando a relação hídrica de disponibilidade mínima de água à planta com sua fisiologia.

Nesse contexto, Cavate (2007) enfatiza que a manutenção da turgescência tem sido explicada, por um lado, pelo fechamento eficiente dos estômatos e, por outro lado, por incrementos da capacidade de extração da água do solo. Ressalta ainda que, sob déficit hídrico severo, maior capacidade de extração de água do solo pode ser mais largamente governada pela profundidade do sistema radicular com pouco efeito de ajustes que concernem os estômatos.

Ohashi et al. (2005), trabalhando com os parâmetros fisiológicos em relação ao comportamento hídrico, concluiu que houve o murcha foliar por estresse hídrico da planta, e que a taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foram significativamente diferidas quando em estresse hídrico, enquanto a concentração intercelular de CO_2 foi apenas ligeiramente alterada no início do tratamento do estresse.

A identificação de um valor limiar de potencial hídrico, em que o processo fotossintético começaria a declinar seria de grande relevância, pois determinaria uma escala do status hídrico do solo e da planta, que resultaria

provavelmente, em grandes reduções de produtividade biológica, (CAVATE, 2007).

Reafirmando esse conceito de relação hídrica e fisiologia, Machado et al. (1993) acrescentam ainda que os fatores climáticos são como interventores na fotossíntese em consequência do estresse hídrico, os referidos autores concluem que a taxa de fotossíntese aumenta com a irradiância, cujos valores mais elevados ocorreram em horários próximos às 13 horas do que em outros períodos, quando as temperaturas foram mais elevadas e a umidade relativa do ar menor, tendo como consequência, maior demanda transpiratória das plantas, porém, sob deficiência hídrica, a demanda transpiratória não é atendida e conseqüentemente, ocorre o fechamento dos estômatos e queda da fotossíntese.

Sala e Tenhunen (1996) estudaram a condutância estomática e observaram que em períodos de déficit hídrico que levaram ao fechamento estomático promoveram limitação na fotossíntese. A condutância foliar é o indicador fisiológico que melhor se correlaciona com a fotossíntese em diferentes condições de disponibilidade hídrica. Ainda em seus estudos, os autores avaliaram que a fotossíntese foi superior nas plantas que não foram submetidas à restrição hídrica nos três dias analisados. No primeiro dia, observaram que não houve diferença entre o tratamento intermediário com os demais tratamentos, podendo-se atribuir ao fato de que a diferenciação dos níveis de irrigação aplicados às plantas ocorreu somente três dias antes daquela data, portanto, sem limitação hídrica acentuada. No terceiro dia, como a quantidade de água repostada foi diminuindo gradativamente, devido à redução na água perdida por transpiração, a limitação hídrica tornou-se mais acentuada e as taxas fotossintéticas, nas plantas sob restrição hídrica, foram reduzidas para valores próximos de zero ou, até mesmo, a taxas negativas de fotossíntese líquida (predominância de respiração). A partir desse dia, as plantas sob limitação hídrica passaram a receber uma maior quantidade de água e, assim, observaram que a fotossíntese aumentou. Verificaram, então, que o efeito do fator água sobre a resposta fotossintética foi menor quando houve restrição hídrica maior do que nos demais dias analisados.

Ainda no referido trabalho, os autores analisaram a relação entre o potencial hídrico e a fotossíntese. Observaram que nos três dias de medições houve uma tendência geral de diminuição da fotossíntese à medida que decresce o estado hídrico da planta, sendo que com potenciais abaixo de -1500 kPa a fotossíntese diminui a valores próximos de zero.

O estresse hídrico geralmente afeta a condutância estomática, através da atividade fotossintética na folha. No início do estabelecimento da seca, a eficiência fotossintética do uso da água - WUE (Water Use Efficiency - CO₂ absorvido na fotossíntese por vapor de água perdido na transpiração) pode aumentar porque o fechamento parcial dos estômatos vai afetar mais a transpiração que a absorção do CO₂. No entanto, à medida que o estresse se torna mais severo, a WUE vai diminuindo e a inibição do metabolismo da folha vai diminuindo (TAIZ & ZEIGER, 1998).

Quando o estresse decorre mais rapidamente ou quando a planta desenvolve a sua área foliar antes do início do estresse ocorrem outras respostas para protegerem a planta contra a murcha, como por exemplo, o fechamento estomático, (TAIZ & ZEIGER, 1998).

As respostas estomáticas à murcha foliar variam gradativamente dentro de uma mesma espécie e entre elas. Os estômatos de algumas espécies “precoces” de murcha (“dehydration-postponing”), como o grão de bico (*Vigna unguiculata*) e a mandioca, (*Manihot esculenta*) são particularmente sensíveis ao decréscimo da disponibilidade em água. A sua condutância estomática e a sua transpiração diminuem de tal forma que o seu potencial hídrico permanece pouco alterado durante a seca (TAIZ & ZEIGER, 1998).

Patakas et al. (2002) verificaram que quando o ambiente apresenta déficit hídrico, as plantas podem utilizar mecanismos de tolerância como o ajuste osmótico, para que a célula absorva água e mantenha o potencial de pressão em níveis adequados. Com o déficit hídrico, os solutos da célula ficam concentrados, tornando mais negativo o seu potencial osmótico.

Uma das primeiras tentativas de manter o nível hídrico no interior da planta é o fechamento dos estômatos, porém, a consequência desse evento

fisiológico é a restrição das trocas gasosas entre o interior da folha e a atmosfera, causando redução na assimilação de CO₂, utilizado no processo fotossintético (KRIEG, 1993; LARCHER, 2000).

O processo de abertura e fechamento dos estômatos está relacionado principalmente com a intensidade de luz e o estado de hidratação da folha. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produtividade do vegetal, primeiro porque controlam a absorção de CO₂ e segundo porque determinam a interceptação de luz, (COSTA e MARRENCO, 2007).

A fotossíntese constitui a base da produção de uma cultura. A absorção e uso da energia luminosa pelos vegetais podem ser estimados através da análise da fluorescência da clorofila. De acordo com Baker & Rosenqvist (2004), mudanças na emissão da fluorescência da clorofila são indicativos de alterações na atividade fotossintética.

Demonstrações de que a fluorescência da clorofila pode ser usada para estimar a assimilação de CO₂ têm levado à utilização de parâmetros da fluorescência da clorofila para examinar o desempenho fotossintético de plantas sob condições de laboratório, em condições controladas de regimes hídricos e em campo (FALQUETO et al., 2007).

Longui (2007), trabalhando com a fotossíntese submetida a diferentes regimes hídricos em eucaliptos, verificou que houve uma menor variação da fluorescência nas plantas que tiveram um regime hídrico sem estresse comparado às espécies sob deficiência hídrica e que os efeitos das deficiências hídricas sobre as trocas gasosas e a fluorescência, reforçam as observações de que a eficiência fotoquímica da fluorescência seria menos sensível à falta de água do que a fixação do CO₂.

A produtividade das plantas está diretamente relacionada com a capacidade de manter elevada atividade fotossintética das folhas e com a intensidade de crescimento dos grãos durante o período reprodutivo (MACHADO et al., 1990).

Contudo, a fisiologia do vegetal no qual se pretende quantificar o PMP, deve ser estudada, para que se entenda a relação do ponto de murcha permanente com o solo, planta e atmosfera. Nesse contexto, se intensifica o conhecimento do vegetal para o referente trabalho, neste caso, o feijão IPR Colibri.

O IPR Colibri é um cultivar de feijão do grupo carioca, de ciclo precoce e porte ereto, desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, registrada no serviço Nacional de Cultivares – SNPC em 2004.

A cultivar foi obtida a partir de seleções de plantas precoces da variedade crioula “Carioca Pitoco”, do banco de germoplasma de feijão do IAPAR, em 1995. As progênies das plantas selecionadas foram cultivadas e avaliadas individualmente por quatro gerações, eliminando-se as segregantes e as de ciclo superior a 65 dias. As progênies homogêneas, precoces e semelhantes foram reunidas e passaram a constituir a linhagem denominada Lollatauro. Essa linhagem foi avaliada em ensaios de competição de cultivares, em diferentes regiões do Paraná, nas safras das águas e secas. Avaliações em áreas comerciais foram conduzidas nas entressafras, precedendo a cultura da soja ou sucedendo as culturas de milho ou da soja, para determinar o potencial de produção deste material precoce sem que seu cultivo interfira significativamente no rendimento das demais culturas. Os resultados mostraram ampla adaptação da linhagem para o cultivo em todas as regiões e safras no estado do Paraná (IAPAR, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em condições externas médias (temperatura do ar mínima, máxima e umidade relativa de 3,7, 34,8 °C e 68 %, respectivamente, verificada durante o período de execução do experimento). Conduzido no Centro Tecnológico de Irrigação (CTI), pertencente ao Departamento de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Estadual de Maringá, localizado no Município de Maringá, PR, no período de março a julho de 2009. O local do ensaio encontra-se nas coordenadas 23°25'31'' de latitude Sul, 51°56'19'' de longitude a Oeste de Greenwich e 542m de altitude.

Os solos que foram utilizados para instalar o experimento em vasos são o da classe Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho. Para a caracterização química e física dos solos foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 cm, determinando-se macronutrientes (P, H+Al, K, Ca, Mg) e a composição granulométrica, apresentadas nos Quadros 1, 2 para o NITOSSOLO, nos Quadros 3 e 4 para o Latossolo. As análises foram realizadas no laboratório de solos do Departamento de Agronomia da UEM.

Quadro 1 Resultado da análise química do Nitossolo Vermelho.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Cmolc dm ⁻³							mg dm ⁻³		g dm ⁻³	V%
		Al	H + Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C		
0-20	6,1	0,2	3,68	6,49	2,95	3,81	13,25	16,93	78,0	14,44	78,2	

Quadro 2 Granulometria do Nitossolo Vermelho das camadas de 0 a 20 cm.

Identificação da Amostra	%			
	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA
0-20	08	15	06	71

Quadro 3 Resultado da análise química do Latossolo Vermelho.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	cmolc/dm ³						mg dm ⁻³		g dm ⁻³ C	V%
		Al	H + Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P		
0-20	5,2	0,0	3,97	2,65	1,01	0,44	4,10	8,07	78,5	6,08	50,81

Quadro 4 Granulometria do Latossolo Vermelho das camadas de 0 a 20 cm.

Identificação da Amostra	%			
	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA
0-20	36	36	03	25

3.2 Características climáticas

O clima predominante é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, com chuvas abundantes no verão e inverno seco, com precipitação média anual de 1500 mm. Nos meses de dezembro e janeiro concentram-se os maiores índices de precipitação e nos meses de julho e agosto os menores. A temperatura média anual é de 16,7⁰ C, sendo que a média das mínimas alcança 10,3⁰ e a média das máximas atinge 33,6⁰C. O valor médio da umidade relativa do ar é igual a 66%.

3.3 Características da cultura

O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água no solo. Nestas condições, o desenvolvimento vegetativo e o rendimento são bastante prejudicados. O efeito na planta depende, entre outros, do solo, do estágio de desenvolvimento, da cultivar, da temperatura e da duração da precipitação. A respiração é um dos aspectos mais sensíveis da atividade da planta, e a redução respiratória tem efeito limitante no desenvolvimento da cultura. O aumento da resistência ao movimento de água por meio das raízes, a diminuição da absorção de nutrientes, o aumento da concentração de substâncias tóxicas na planta, a diminuição do crescimento e do potencial de água na folha

são outros aspectos negativos que ocorrem quando há excesso de água (GUIMARÃES, 2007), além da sensibilidade da cultura ao excesso de água, são perceptíveis os mesmo aspectos negativos com a restrição de regime hídrico.

3.3.1 Cultivar

Foram utilizadas, neste trabalho, plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) cultivar IPR Colibri.

A semeadura foi realizada no dia 25 em março de 2009, utilizando vasos espaçados (3,0 x 4,5) com quatro linhas de comprimento médio de 40 metros, totalizando 320 plantas; após o plantio, os vasos foram irrigados, em todas as linhas de cultivo, através de irrigador manual, alguns até o início e diferenciação dos regimes hídricos em maio de 2009. Em alguns vasos que não houve germinação foram transplantadas mudas.

3.4 Manejo da cultura

Durante o período de condução do experimento, procederam-se tratamentos culturais e controle fitossanitário, sempre que necessário, seguindo as recomendações sugeridas por IAPAR (2008).

O controle de pragas e doenças não foi necessário durante o período experimental.

3.5 Esquema experimental para avaliação da fotossíntese e evapotranspiração da cultura.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em fatorial, com duas condições hídricas (com estresse e sem estresse), combinado com dois

solos (Nitossolo e Latossolo) e cinco dias de avaliação com 4 repetições, totalizando 80 unidades experimentais, no qual cada unidade experimental foi composta por 1 planta por vaso.

Os regimes hídricos estudados foram assim identificados:

S1 – Nitossolo

S2 – Latossolo

C – Sem estresse hídrico

E – Com estresse hídrico

P – Dias de avaliação

- S1CP1: Nitossolo, sem estresse, 1º dia;
- S1CP2: Nitossolo, sem estresse, 2º dia;
- S1CP3: Nitossolo, sem estresse, 3º dia;
- S1CP4: Nitossolo, sem estresse, 4º dia;
- S1CP5: Nitossolo, sem estresse, 5º dia;
- S1EP1: Nitossolo, com estresse, 1º dia;
- S1EP2: Nitossolo, com estresse, 2º dia;
- S1EP3: Nitossolo, com estresse, 3º dia;
- S1EP4: Nitossolo, com estresse, 4º dia;
- S1EP5: Nitossolo, com estresse, 5º dia;
- S2CP1: Latossolo, sem estresse, 1º dia;
- S2CP2: Latossolo, sem estresse, 2º dia;
- S2CP3: Latossolo, sem estresse, 3º dia;
- S2CP4: Latossolo, sem estresse, 4º dia;
- S2CP5: Latossolo, sem estresse, 5º dia;
- S2EP1: Latossolo, com estresse, 1º dia;
- S2EP2: Latossolo, com estresse, 2º dia;
- S2EP3: Latossolo, com estresse, 3º dia;
- S2EP4: Latossolo, com estresse, 4º dia;
- S2EP5: Latossolo, com estresse, 5º dia.

O croqui com a distribuição dos regimes hídricos está apresentado a seguir.

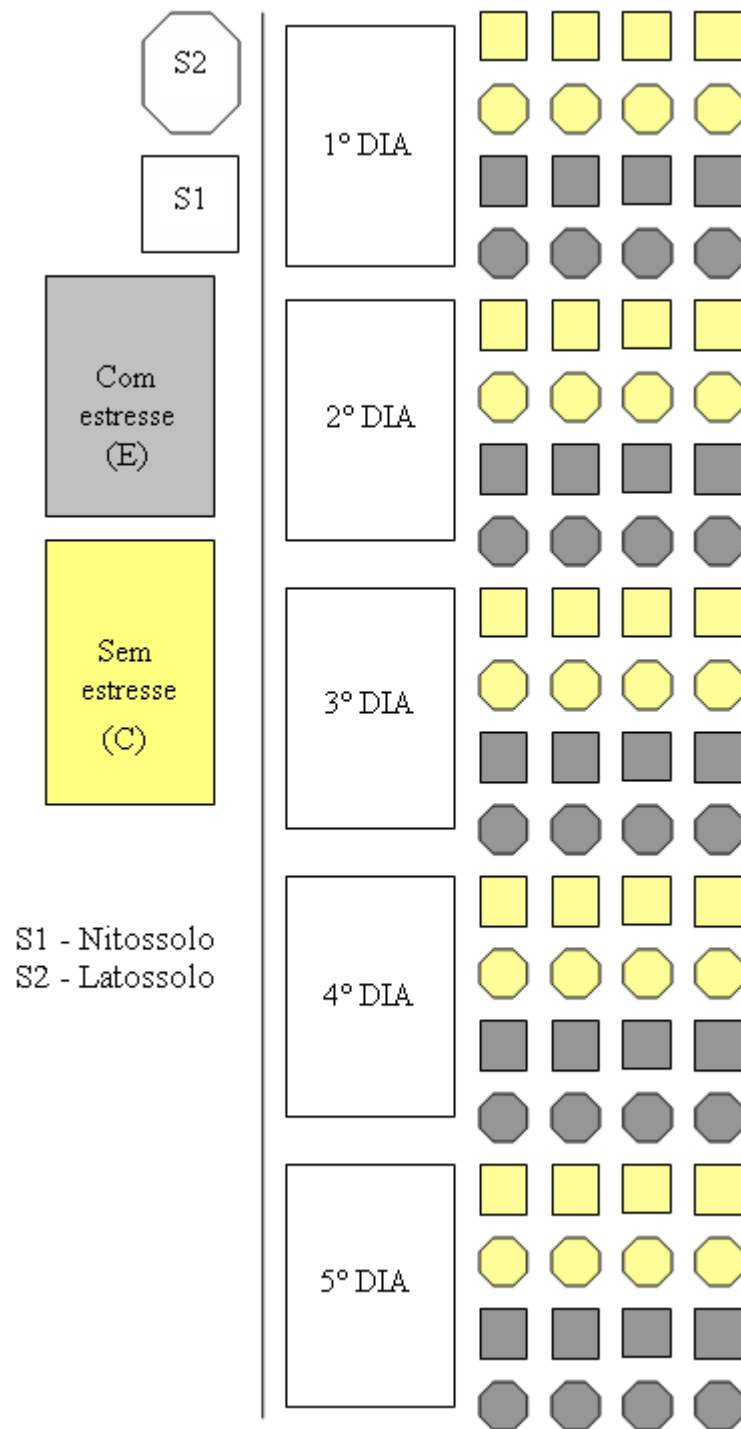


Figura 1 - Croqui da área experimental com a distribuição dos regimes hídricos.

3.6 Unidade Experimental

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos, com volume de 5,5 litros de solo, tanto para o Nitossolo Vermelho quanto para o Latossolo Vermelho. A amostra de solo foi destorroada, homogeneizada, secada ao ar e passada em peneira de malha de 2 mm. Foi realizada a caracterização física e química do solo utilizado, com base na metodologia descrita pela Embrapa (1997). Antes do preenchimento dos vasos, se procedeu a adubação dos solos, adicionou-se formulado 04-14-08, e a correção da acidez com calcário dolomítico, ambos respeitando as exigências de cada tipo de solo para sua correção. Em cada vaso foram colocadas cinco sementes da cultura. Quando as plantas alcançaram dois pares de folhas completas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso.

3.7 Determinação do ponto de murcha permanente

Os solos contidos nos vasos foram mantidos próximos a 80% da capacidade de campo. A capacidade de campo foi encontrada após o tempo em que a drenagem dos referentes solos em vasos tornou-se insignificante. As plantas foram irrigadas duas vezes por dia, até as épocas predeterminadas para o início do estresse hídrico na fase de pré-florescimento, ao dia 2 de junho de 2009. A partir desta etapa, ao primeiro sinal de murcha das plantas, no final do dia, os respectivos vasos foram transferidos para câmara escura com umidade relativa do ar próxima a 100%. Ao amanhecer foi observado o retorno ou não da turgidez de cada planta, adotando-se o critério de que, se pelo menos uma folha se recuperasse, o vaso retornaria à casa de vegetação e continuaria sendo mantido sem irrigação, e assim sucessivamente, até o não-retorno definitivo da turgidez ponto de murcha permanente (PMP). Nesse ponto, foi coletada uma amostra do solo (sem raízes), pesada em balança de precisão (CASSEL & NIELSEN, 1986) e imediatamente levada para estufa, a 105°C, por 24 horas. A seguir, foi

novamente pesada, para determinação da umidade da amostra em base gravimétrica. A partir dos teores de água nas amostras do solo para cada vaso avaliado, determinou-se, a umidade correspondente desta no PMP.

3.8 Determinação da fotossíntese

Nos dias claros e com poucas nuvens, foram realizadas medidas das taxas de assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática, com um sistema portátil de medidas de fotossíntese (IRGA, Infra-red Gas Analyzer). Tais variáveis foram medidas durante o período entre 10h e 12h em todas as plantas.

Nas medidas foram utilizadas folhas completamente expandidas, expostas ao sol durante todo período de medidas, segundo Machado et al. (1994).

3.8.1 Determinação da fluorescência

Medidas de fluorescência foram efetuadas concomitantemente com as da fotossíntese nas plantas avaliadas, com a utilização de um fluorômetro modulado (PAM – 2000, Walz). As medidas descritas foram realizadas uma por planta avaliada.

3.9 Determinação da evapotranspiração

Durante a avaliação da fotossíntese, nos cinco dias, foram realizadas medidas de massa dos vasos utilizando balança gravimétrica, e utilizados dados da estação climatológica do local, determinando a evapotranspiração da cultura.

Quantificou-se a evaporação da água dos solos na cultura do feijão por meio das pesagens dos vasos, realizadas diariamente, utilizando uma balança de precisão com carga máxima de 8 kg e precisão de 0,1g.

Obteve-se a massa de água evaporada pela diferença das massas dividida pela área do vaso na altura em que estava o solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação do Ponto de Murcha Permanente

Foram encontradas diferenças de umidade no ponto de murcha permanente entre os solos dos diferentes vasos estudados para a cultura do feijão. Essa diferença já era esperada devido às classes texturais e a outros fatores pertinentes a cada tipo de solo. Bezzera et al. (2005), trabalhando com ponto de murcha permanente em um Neossolo Flúvico, ressaltaram a diferença da umidade do ponto de murcha, devido à variabilidade espacial das classes texturais de um solo existente em uma mesma área, como fator que diferencia o PMP.

Os valores de umidade do ponto de murcha permanente no Nitossolo variaram de 0,182 a 0,189 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e a média foi de 0,186 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e desvio padrão de 0,0075 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto o Latossolo variou de 0,077 a 0,092 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), com valor médio de 0,083 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e o desvio padrão de 0,0089 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ assim, verifica-se a coerência dos conceitos estudados, onde o ponto de murcha permanente é fortemente afetado pelo aumento dos espaços internos do solo.

Os resultados obtidos estão de acordo com encontrados por Balland et al. (2008) que trabalharam com três tipos de solos com texturas diferentes e encontraram para cada solo um valor diferente do PMP, solos esses diferenciados basicamente pelo teor de argila e areia.

Ghanbarian, et al. (2009), com o objetivo de investigar a relação entre a densidade do solo e a umidade no ponto de murcha permanente, utilizaram bases de dados de vários autores que encontram o PMP para vários tipos de solos, com respectivas diferenças texturais, trabalhos esses que resultaram numa margem próxima ao encontrado para Nitossolo e o Latossolo de acordo com suas respectivas classes texturais.

4.1.1 LATOSSOLO

No caso do Latossolo, de acordo com a Figura 2, o ponto de murcha permanente dos vasos analisados para o Latossolo encontram-se na variação de 0,052 a 0,066 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na profundidade de 3 cm, a 0,077 a 0,092 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na profundidade de 15 cm.

Os valores encontrados corroboram com os valores para solos com textura arenosa, de acordo com Huang et al. (2006), Fooladmand (2007), Puckett et al. (1985), citados por Ghanbarian, et al. (2009). Os valores encontrados para a referente classe textural do solo, foram 0,023 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 0,089 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 0,062 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente.

Na Figura 2, pode-se observar uma pequena variação do PMP de acordo com a profundidade, todas as amostras na profundidade de 3 cm estão na faixa de 0,052 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0,066 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, observa-se ainda que quanto maior a profundidade, há uma variação menor dessa margem, como por exemplo, aos 15 cm, onde o PMP varia de 0,075 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0,079 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

Esta pequena variação do ponto de murcha permanente de acordo com a profundidade é citada por Al-rumikhani (2001), que quantificou a umidade de um solo franco arenoso de 0,0666 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0-15 cm, 0,0618 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 15-30 cm, 0,0608 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 30-60 cm e 0,0516 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 60-90 cm, não sendo significativas, mas perceptíveis.

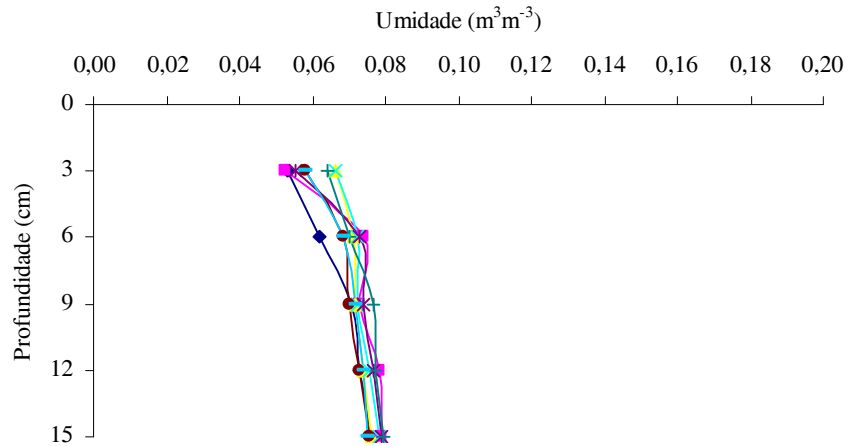


Figura 2 – Umidade do Latossolo no ponto de murcha permanente para diferentes vasos.

A média calculada, para o ponto de murcha permanente dos vasos de acordo com a profundidade, para o Latossolo resultou em uma umidade de $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 3 cm, $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 6 cm, $0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a 9 e 12 cm e $0,088 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para 3 e 15 cm de profundidade respectivamente, com uma média geral de $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para os vasos estudados, conforme Figura 3.

A média encontrada de $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ está coerente com valores obtidos em vários trabalhos que estudaram o ponto de murcha permanente para o tipo de solo com classe textural arenosa, como o caso do Latossolo, Fooladmand citado por Ghabarian et al. (2009), que, também em uso de um banco de dados denominado Unsoda, trabalharam com solos de granulometria similar ao solo em estudo, e encontraram os valores de umidade para o PMP de $0,089 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,062 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente.

Ainda nessa conjuntura de valores do PMP, Rao (1998), trabalhou com três tipos de solos, dos quais dois são de classes texturais arenosas e encontrou os valores de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, similares a algumas profundidades resultadas pelo Latossolo e próximo da média geral resultante dos vasos analisados.

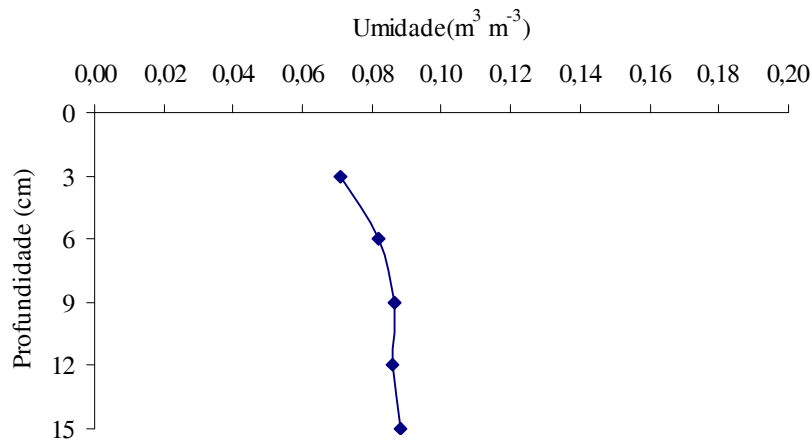


Figura 3 - Umidade média das unidades experimentais do Latossolo.

4.1.2 NITOSSOLO

Para o Nitossolo foram encontrados valores de umidade superior ao Latossolo, fator esse esperado devido às altas taxas de argila que compõem o referido solo. Conforme a Figura 4, a umidade do solo no ponto de murcha foi de $0,167 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade de 3 cm e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade de 9 cm.

Na Figura 4, verifica-se que apesar da variabilidade dos valores do PMP entre os vasos, na profundidade de 15 cm, encontram-se valores em uma média de $0,183 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, tais valores estão de acordo com os valores encontrados por Ghanbarian, et al. (2009), que utilizaram uma base de dados de quantificação do PMP, denominada Unsoda, demonstrando a variação de retenção mínima e máxima no PMP, condizendo com os valores de $0,163 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para retenção inferior e $0,215 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para limite superior.

Também Rao (1998), encontrou uma variação de 3% para mais ou para menos no valor de $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no PMP, para um solo com textura argilosa, já Procópio et al. (2004), também trabalhando com um solo argiloso, encontraram o valor de $0,156 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o ponto de murcha permanente da cultura do feijão na época do pré-florescimento e $0,166 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para início do enchimento de grãos. Assim, tais variações para o PMP para solos argilosos são observadas como mais

divergentes em solos com textura argilosa do que arenosa e mais sensível à variação da cultura e desenvolvimento da planta quando em solos argilosos, fatos estes encontrados nos referentes estudos que quantificam a umidade no ponto de murcha para os solos em questão.

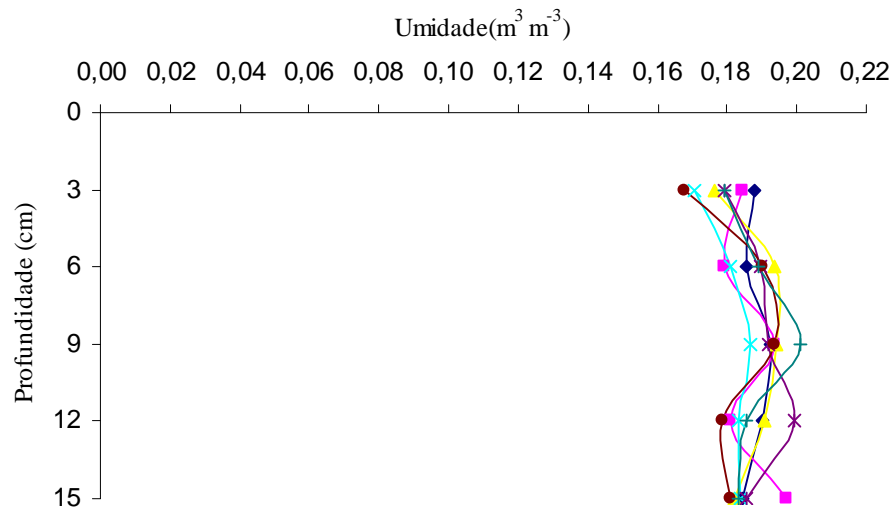


Figura 4 – Umidade do Nitossolo no ponto de murcha permanente para diferentes vasos.

Conforme Figura 5, a média calculada para o ponto de murcha permanente dos vasos selecionados para o Nitossolo, resultaram uma umidade de $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para 3 e 15 cm de profundidade, e uma média geral de $0,187 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, constando similaridade com estudos referidos ao PMP para solos com classe textural argilosa.

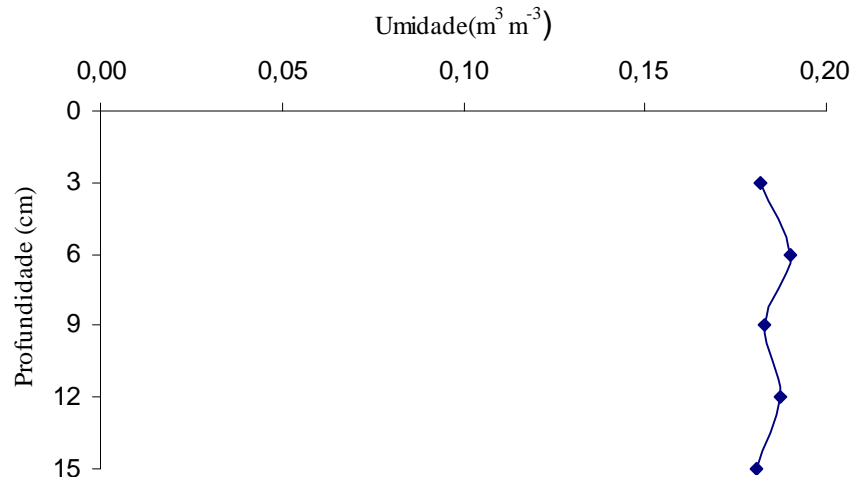


Figura 5 – Umidade média das unidades experimentais do Nitossolo.

4.2 Determinação de trocas gasosas

Para a avaliação das trocas gasosas do feijão em relação à umidade no ponto de murcha permanente, foi avaliada a fotossíntese através da indução ou não da planta ao estresse hídrico, durante quatro dias na fase do pré-florescimento da cultura.

As medidas encontradas no Latossolo e o Nitossolo, para condições de déficit hídrico, apesar de serem solos com classes texturais diferentes e, conseqüentemente, uma umidade no PMP diferente, apresentaram valores similares, com uma queda repentina do primeiro ao segundo dia e uma queda amena nos dias conseguintes com estresse hídrico.

De acordo com a Figura 6A, a variação encontrada para o Latossolo foi de $2,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do primeiro dia de déficit hídrico para $0,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no segundo dia e posteriormente $0,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o último dia, alcançando o limite zero de assimilação de CO_2 da planta, antes do ponto de murcha permanente médio de $0,082 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o referente solo.

Para o Nitossolo, com a mesma restrição hídrica, de acordo com a Figura 7A, observa-se uma variação de $2,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do primeiro dia de déficit

hídrico para $0,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no segundo dia e, posteriormente, $0,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os dias seguintes, alcançando o limite zero de assimilação de CO_2 da planta, na média de $0,187 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, umidade em que se encontra o ponto de murcha permanente para o Nitossolo.

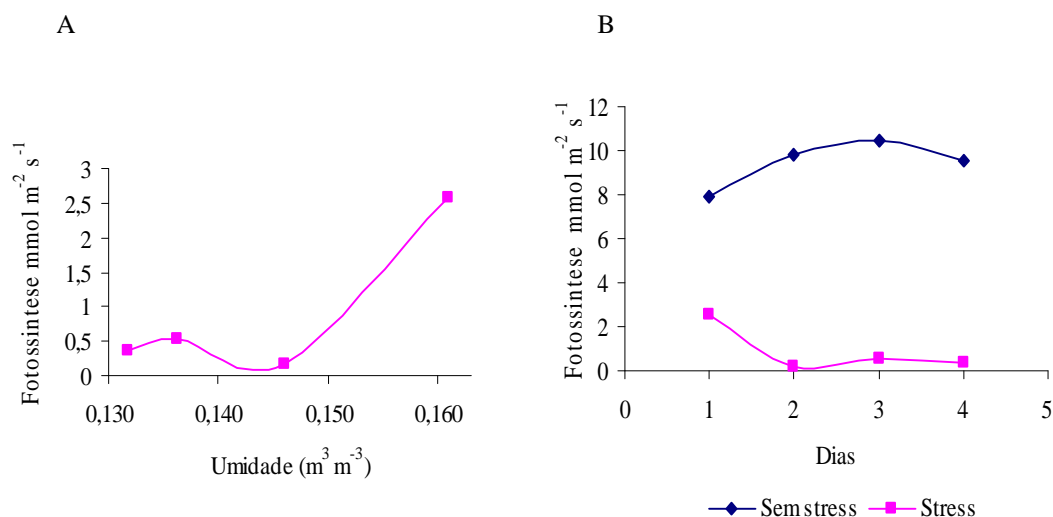


Figura 6 – Fotossíntese do feijão em função da umidade para Latossolo.

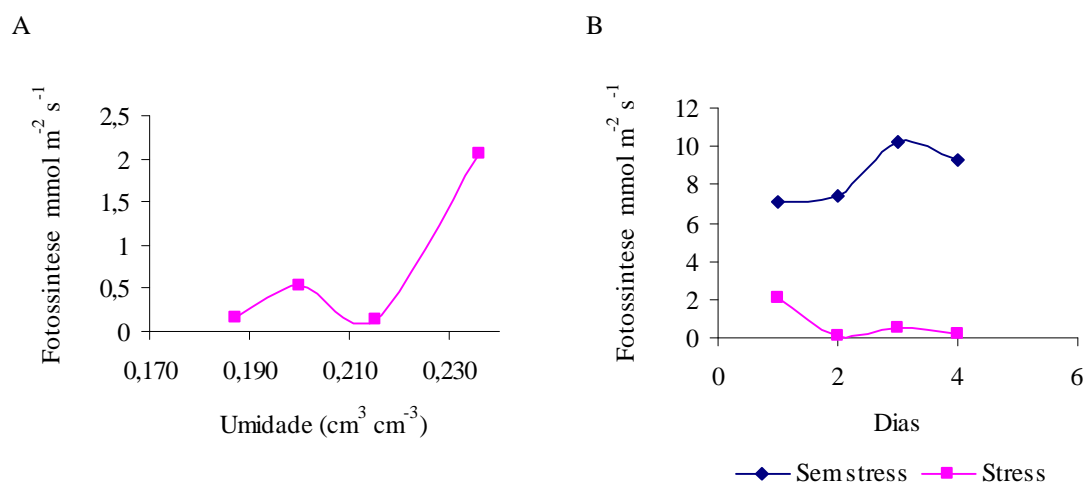


Figura 7 – Fotossíntese do feijão em função da umidade para Nitossolo.

Nesse contexto, Girona et al. (2002), apresentaram valores para um solo arenoso em regime de estresse hídrico para pessegueiros, uma variação abrupta de $10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o primeiro dia de estresse hídrico a $2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o terceiro dia e logo após uma queda amena para $0,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Observa-se nas citações que, em sua maioria, há uma queda abrupta de assimilação de CO_2 já no primeiro e segundo dia de estresse hídrico e posteriormente uma variação menor na respectiva taxa.

4.2.1 LATOSSOLO

Conforme Figura 6A, observa-se a diminuição da assimilação de CO_2 de acordo com o déficit hídrico, reduzido de $2,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $0,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até o último dia de estresse, observa-se que o comportamento da fotossíntese aumenta e diminui de acordo com a restrição ou não de água.

No caso do Latossolo, a assimilação de CO_2 com regime de estresse hídrico resultou uma proximidade de zero antes de a planta alcançar o ponto de murcha permanente, cerca de 27 % até o limite mínimo de água (PMP), Küppers et al. (1998), citados por Girona et al. (2002), encontraram esse declínio da fotossíntese a 20 % antes da umidade do ponto de murcha permanente para solo com textura arenosa na cultura do pessegueiro, ressaltando que para esse solo a assimilação de CO_2 diminui com o estresse hídrico e alcança patamares próximos ao limite zero antes de ocorrer o ponto de murcha permanente.

Nesta vertente, Girona et al. (2002) contextualizam que, para esse solo, quanto mais abrupta ou rápida for a indução do estresse hídrico menor é a adaptação do sistema fotossintético ao déficit hídrico.

Com o propósito de se avaliar melhor a assimilação de acordo com os regimes hídricos, observa-se na figura 6B, a variação da fotossíntese em relação aos dias analisados, resultando para o primeiro dia com o regime de estresse hídrico $2,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até $0,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o último dia, já para o regime

hídrico de controle, resultou uma variação para o primeiro dia, de $7,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até $9,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o último dia de análise.

4.2.2 NITOSSOLO

Conforme Figura 7A, observa-se a diminuição da assimilação de CO_2 de acordo com o estresse hídrico, reduzido de $2,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $0,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até o último dia de estresse, validando, conforme ressaltado para o Latossolo, que o comportamento da fotossíntese aumenta e diminui de acordo com a restrição ou não de água.

No caso do Nitossolo, a assimilação de CO_2 com regime de estresse hídrico resultou uma proximidade de zero quando a planta alcançou o ponto de murcha permanente, em uma média geral de umidade de $0,187 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que contrariou os resultado para o Latossolo, que alcançou a proximidade do limite de fotossíntese cerca de 27 % antes do PMP. Dentro da pequena gama de estudos nesse sentido, Sadras e Milroy (1996), citados por Girona et al. (2002), mostram que a assimilação fotossintética em relação à disponibilidade de água no solo varia de acordo com o solo e com o secamento do solo, quanto mais rápido for o processo de secagem mais rápido será o alcance do limite próximo a zero da assimilação de CO_2 , contudo, o Nitossolo por possuir uma estrutura argilosa, retém mais água e possui uma velocidade menor de secagem.

Com o mesmo propósito para o Latossolo, de se avaliar melhor a assimilação de acordo com os regimes hídricos, observa-se na figura 7B, a variação da fotossíntese em relação aos dias analisados para o Nitossolo, resultando para o primeiro dia com o regime de estresse hídrico $2,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até $0,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o último dia, já para o regime hídrico de controle resultou uma variação para o primeiro dia, de $7,13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até $9,26 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o último dia de análise.

4.3 Determinação da fluorescência

De acordo com FALQUETO et al.(2007), algumas demonstrações de que a fluorescência da clorofila pode ser usada para estimar a assimilação de CO₂ têm levado à utilização de parâmetros da fluorescência da clorofila para examinar o desempenho fotossintético de plantas sob condições de laboratório, em condições controladas de regimes hídricos e em campo.

Nesse contexto, nas Figuras 8A e 8B, observa-se para ambos os solos que comportamento da fluorescência, apesar de sofrer uma redução de 0,78 a 0,76 mmol m⁻²s⁻¹ para o Nitossolo, e 0,776 a 0,77 mmol m⁻²s⁻¹ para o Latossolo, de acordo com a umidade, é menos perceptível que para a assimilação de CO₂ sob restrição hídrica.

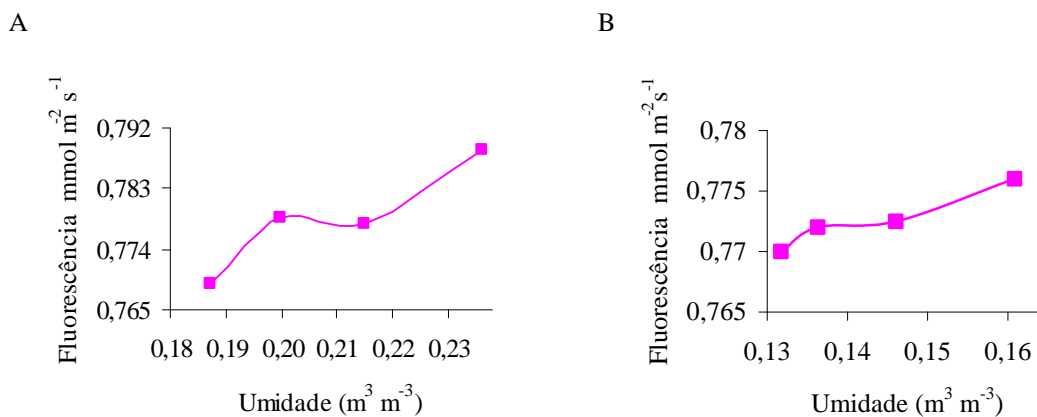


Figura 8 – Fluorescência do feijão em função da umidade. (A) Nitossolo e (B) Latossolo.

4.4 Determinação da evapotranspiração em função da umidade do solo.

A determinação da evapotranspiração em função da umidade do solo demonstra o comportamento da evapotranspiração no ciclo do pré-florescimento de acordo com a reposição ou não de água.

Nas Figuras 9 e 10, apresenta-se o comportamento das taxas de evapotranspiração da cultura do feijão em relação à umidade para o Latossolo e o Nitossolo respectivamente. É importante destacar que no início do monitoramento, há diferença considerável entre os valores, entretanto essa situação não é verificada a partir da segunda leitura, na qual os dados praticamente se sobrepõem de acordo com a reposição ou não de água. É nessa segunda leitura que a umidade do solo começa a diminuir de acordo com o estresse hídrico, logo após há uma ligeira reposição de água, o que demonstra o comportamento de aumento da evapotranspiração em relação à umidade e, posteriormente, com o novo estresse, há a diminuição da Etc.

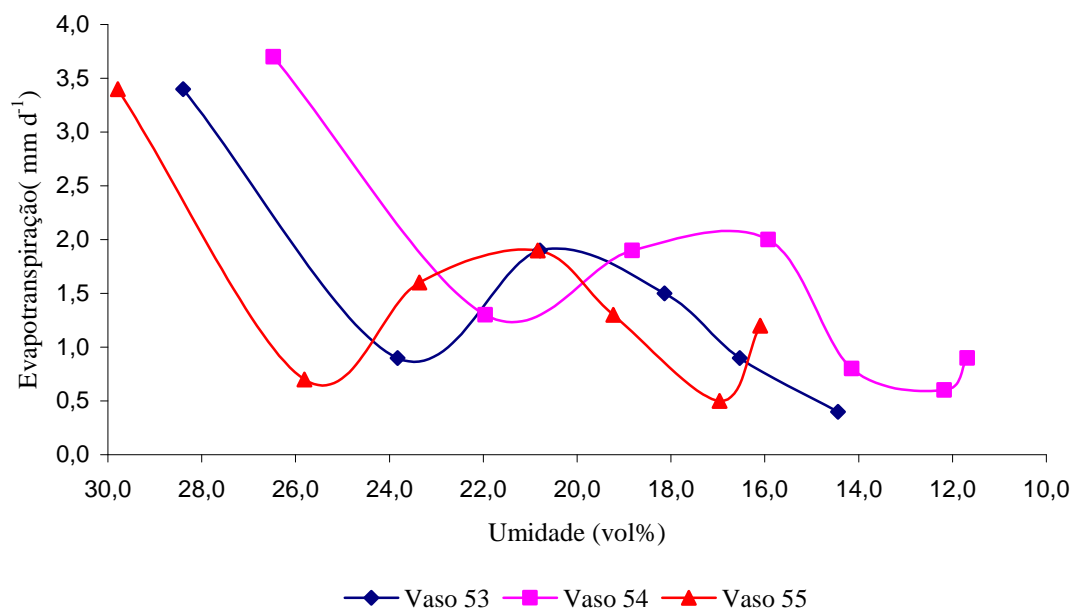


Figura 9 - Evapotranspiração da cultura do feijão em Latossolo.

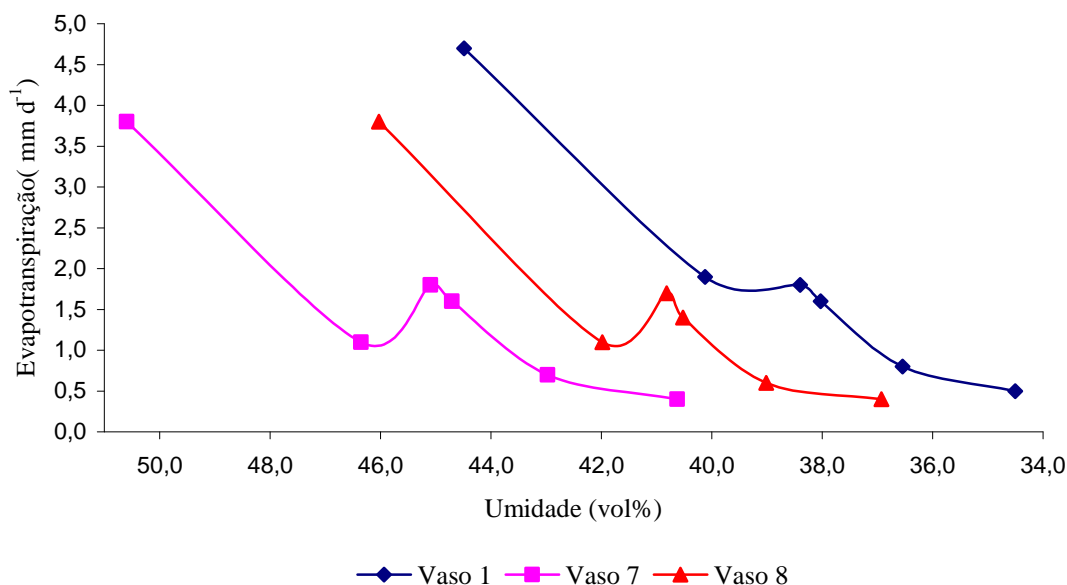


Figura 10 - Evapotranspiração da cultura do feijão em Nitossolo.

A variação de umidade encontrada entre os vasos dos respectivos solos, de acordo com os gráficos, pode ser explicada através da densidade do solo em cada vaso, a qual resultou de uma variação no processo de montagem dos mesmos.

Bleuter et. al. (2002), trabalhando com densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade da soja, encontraram uma variação, mesmo que pequena, mas significativa, da umidade de acordo com a densidade do solo. Seu trabalho também foi conduzido em casa de vegetação com o mesmo princípio de montagem dos vasos adotados no referente trabalho que se discute.

Nesse caso, analisando-se a evapotranspiração em relação à umidade dos solos, pode-se ressaltar que independente da densidade dos solos, a evapotranspiração concerne o mesmo comportamento para ambos os vasos, dos respectivos solos, de acordo com a reposição de água ou não no processo.

Existem controvérsias quanto ao efeito da umidade do solo no decréscimo dessa relação, alguns autores afirmaram que a evapotranspiração ocorre na razão potencial quando a umidade do solo está acima do ponto de murcha permanente, caindo abruptamente quando se aproxima desse valor; outros verificaram um decréscimo linear dessa relação com o decréscimo da

umidade do solo, todavia, Pierce, citado por Bernardo et al. (2008), concluiu em seu trabalho que essa relação seguirá constante até que a umidade do solo se estabeleça a um terço da água disponível e depois cairá mais rapidamente, na forma exponencial, até a umidade do solo no ponto de murcha permanente, (BERNARDO et al., 2008).

Nesse contexto, de acordo com as Figuras 11 e 12, tem-se o comportamento da relação ET_c/ET_o em função da umidade dos vasos selecionados respectivamente para o Latossolo e o Nitossolo.

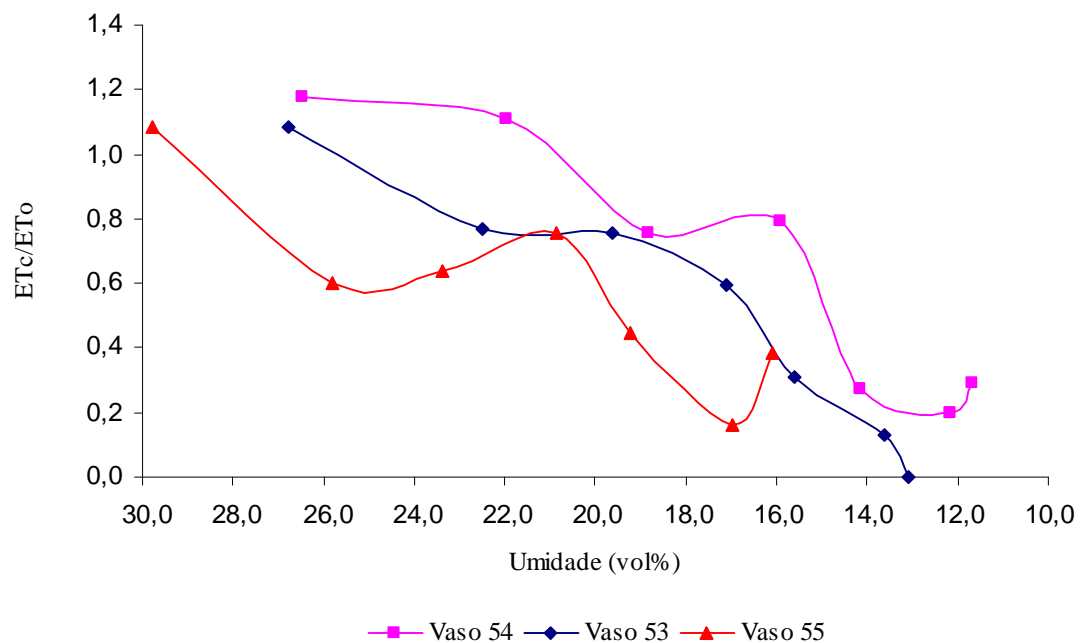


Figura 11 - Relação entre evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência em função da umidade do Latossolo.

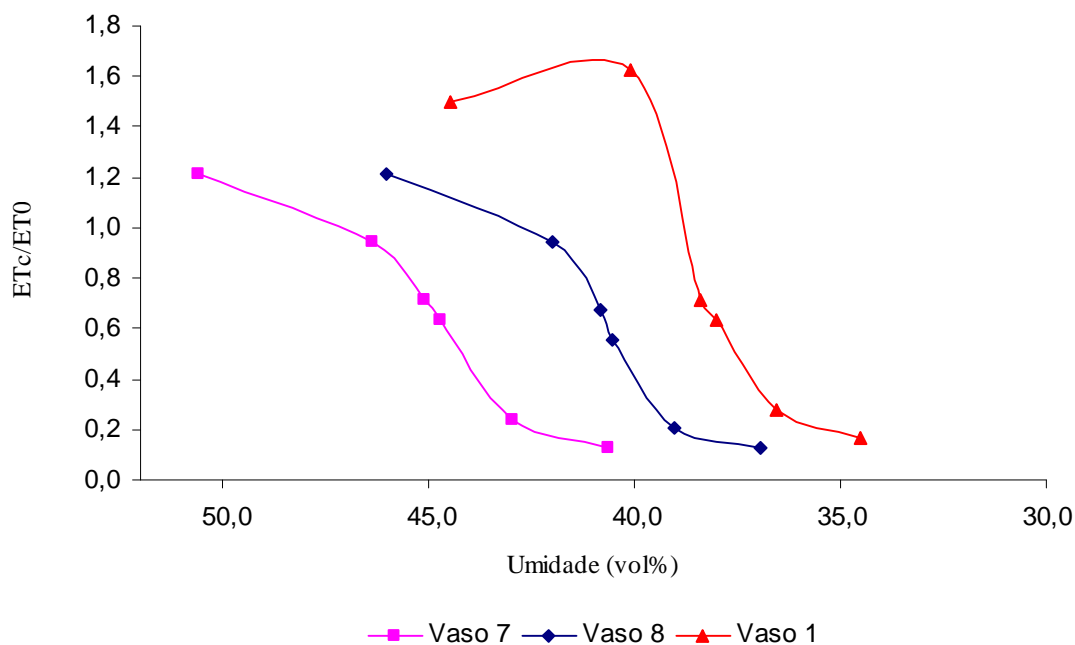


Figura 12 - Relação entre evapotranspiração de cultura e evapotranspiração de referência em função da umidade do Nitossolo.

De acordo com as relações entre a evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência, verifica-se a adequação do comportamento da relação descrita por Pierce, citado por Bernardo et al. (2008), observado principalmente nos vasos 54 e 1 para o Latossolo e Nitossolo respectivamente, a interação feita pelo autor de que essa relação permanecerá constante quando a umidade do solo se estabelecer a um terço da água disponível, fato que pode explicar o comportamento desses vasos, e depois segue uma queda na forma exponencial, até alcançar o PMP.

Contudo, com as correlações citadas, verifica-se através das Figuras 13 e 14 onde se tem a relação da evapotranspiração da cultura e dias para o Latossolo e o Nitossolo de 32 vasos e o comportamento da ET_0 (evapotranspiração de referência), durante o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro, que existe coerência em virtude do decréscimo da relação da ET_c/ET_0 , de acordo com a disponibilidade de água, principalmente quando se eleva a um terço de água disponível e posteriormente se reduz limitando ao PMP, para ambos os solos.

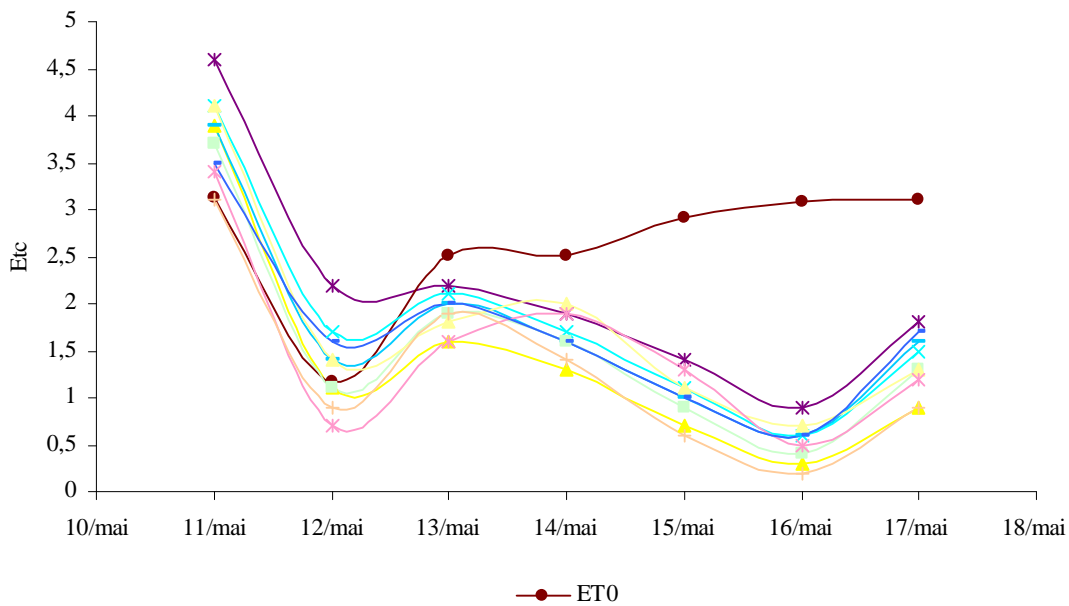


Figura 13 – Evapotranspiração da cultura de diferentes vasos e evapotranspiração de referência em relação à semana inicial do processo de secamento do Latossolo.

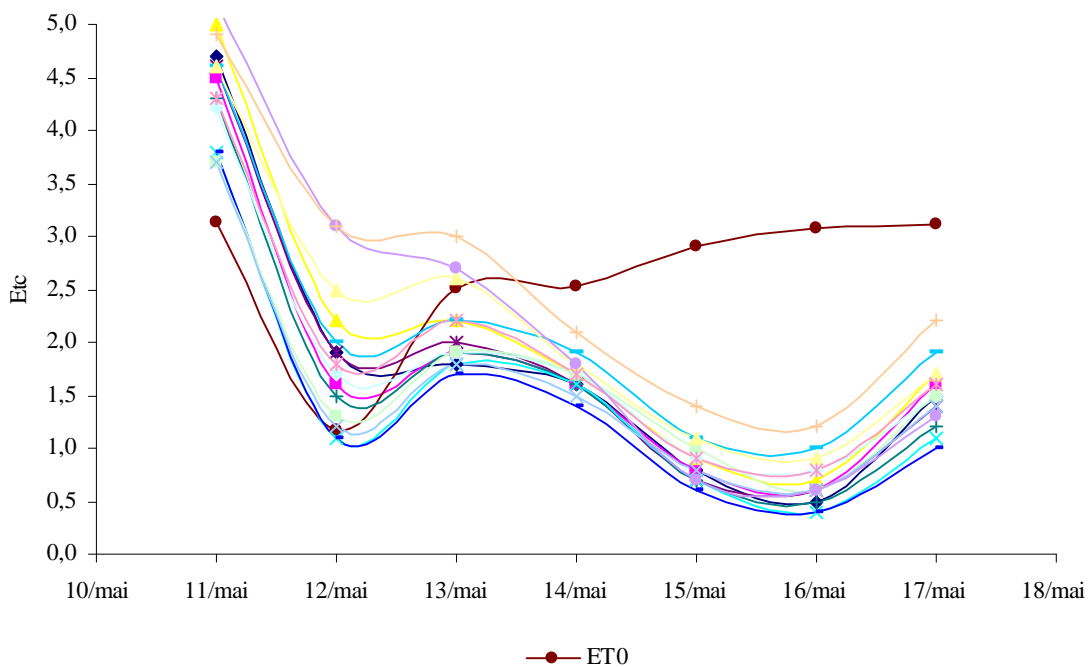


Figura 14 - Evapotranspiração da cultura de diferentes vasos e evapotranspiração de referência em relação à semana inicial do processo de secamento do Nitossolo.

5. CONCLUSÕES

Considerando as condições experimentais e a resposta das variáveis estudadas:

O ponto de murcha permanente para o feijoeiro cultivado em Nitossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho foi de 0,186 e 0,083 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente, na camada de 0-15 cm

Para o Nitossolo, a taxa fotossintética, alcançou o limite zero de assimilação de CO_2 da planta, na umidade media de 0,187 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), umidade em que se encontra o ponto de murcha permanente para o respectivo solo.

Para o Latossolo, a taxa fotossintética alcançou o limite zero de assimilação de CO_2 da planta, antes do ponto de murcha permanente médio de 0,082 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

O comportamento da fluorescência, para o Nitossolo e o Latossolo, de acordo com a umidade, é menos perceptível que para a assimilação de CO_2 sob restrição hídrica.

A evapotranspiração da cultura do feijoeiro reduziu com o decréscimo da umidade para os dois solos.

A relação entre a evapotranspiração da cultura do feijoeiro (Etc) e evapotranspiração da cultura de referência (ETo) decresce com umidade do solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se que a quantificação do ponto de murcha permanente é variada de acordo com a metodologia empregada para o mesmo, bem como o tipo de solo, cultivar, estado fenológico, clima, entre outros fatores ligados a tais variáveis, e que essa quantificação é de suma importância para o aspecto de produção com fins de irrigação, o que enfatiza um consumo racional de água e níveis adequados de necessidade hídrica pela planta para sua produção.

Sugere-se que tal pesquisa seja minuciosamente detalhada com outras cultivares e tipos de solos, a fim de possibilitar um estudo aperfeiçoado da interação dos regimes hídricos, solos e plantas, como também, viabilizar em um cenário regional características que viabilizam uma irrigação contundente e a real necessidade hídrica da planta de acordo com o respectivo solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-RUMIKHANI, Yousef A. **Effect of crop sequence, soil sample location and depth on soil water holding capacity under center pivot irrigation.**

Agricultural Water Management, 55 ed., p. 93-104, 2002.

BALLAND, Vicent.; POLLACCO, Joseph A.P.; ARP, Paulo A. **Modeling soil hydraulic properties for a wide range of soil conditions.** *Ecological*

Modelling, 219 ed., p. 300-316, 2008.

BAKER, Neil R.; ROSENQVIST, Eva. **Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities.** *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.

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

BEZERRA, J.R.C.; AMORIM NETO, M. da S.; LUZ, M.J.S.; BARRETO, A.N.; SILVA, L.C. **Irrigação do algodoeiro herbáceo.** *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, v.1, p.619-682, 1999.

BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA J.R.; M. da S.; PAIXÃO, F.J.R.; ALENCAR, S.B.; SANTOS, J.W. **Ponto de Murcha Permanente de um Neossolo Flúvico Usando Novas Plantas Indicadoras.** *Comunicado técnico 241. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento*. Campina Grande - PB, junho de 2005.

BIGELOW, C. A.; BOWMAN, D. C.; CASSEL, D. K. **Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials or sphagnum peat moss for putting green root zones.** *Crop Science*, v.44, p.900-906, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. **Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos.** *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.26, p.829-834, 2002.

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. 83p.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. **Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. imbabello.** *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 55, n. 3, 1998.

CARLESSO, Reimar. **Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 25, n. 1, 1995.

CASSEL, D.K. & NIELSEN, D.R. **Field capacity and available water capacity.** *Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of Agronomy, p.901-926, 1986.

CAVATE, Paulo C. **Morfologia, relações hídricas em fotossíntese em duas cultivares de Coffea canephora submetidas ao déficit hídrico.** 2007. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CIRINO, C.G.; GUERRA, H.O.C. **Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 12, p.1973-1978, 1994.

COSTA, Cícero S. et al. **Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.5, p.524-530, 2009.

COSTA, G, F.; MARENCO, R. A. **Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*).** *Acta Amazônica*, v. 37, p. 229 – 234, 2007.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Rio de Janeiro, 2.ed., 1997. 212p.

FALQUETO, A. R. et al. **Características da Fluorescência da Clorofila em Cultivares de Arroz Com Ciclo Precoce, Médio e Tardio.** *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 579-581, 2007.

FEREIRRA, R. S.; CARLESSO, R., **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

GHANBARIAN, Alavijeh; MILLÁN, H. **The relationship between surface fractal dimension and soil water content at permanent wilting point.** *Geoderma*, 151 ed., p.224-232, 2009.

GIRONA, J. et al. **Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water deficits.** *Agricultural Water Management*, v.54, p.107- 122, 2002.

GUIMARÃES, R. M. L. ***Distribuição espacial de propriedades físico-hídricas em um Nitossolo vermelho e correlação com o desenvolvimento do feijoeiro.*** 2007. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. ***Cultivar do feijão IPR-COLIBRI, grupo carioca, ciclo precoce, porte ereto.*** Informativo técnico Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 2008.

KLEIN, Vilson Antonio; LIBARDI, Paulo Leonel. **Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 6, Dec. 2000.

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*, Campina Grande, v. 10, n.3, 2006.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. ***Water relations of plants and soils.*** San Diego: Academic, 1995. 495p.

KRIEG, D. R. **Stress tolerance mechanisms in aboveground organs.** *Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress.* INTSORMIL, Nebraska, p. 65-79. 1993.

LARCHER, W. ***Ecofisiologia Vegetal.*** RIMA, São Carlos, 2000.

LONGUI, B. M. **Fotossíntese e relações hídricas de espécies de *eucalyptus sp.* submetidas a diferentes regimes hídricos.** 2007. Dissertação (Mestrado em

Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, 2007.

MACHADO, Eduardo C. et al. **Relações fonte-dreno em trigo submetido a deficiência hídrica no estágio reprodutivo.** *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 5, p.145-150, 1993.

MACHADO, et al. **Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeiras com clorose variegada dos citrus.** *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 6, p.53-57, 1994.

MACHADO, Eduardo Caruso; SCHMIDT, Patrícia Tambelli; MEDINA, Camilo Lázaro e RIBEIRO, Rafael Vasconcelos. **Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais.** *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v.40, n.12, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; BASTOS, C. R. **Trocas de CO₂, acúmulo de fitomassa e remobilização de reservas durante o crescimento de panículas de duas cultivares de arroz.** *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v. 2, p. 63-70, 1990.

MAIA, C E.; MORAIS, E. R. C. de; MEDEIROS, J. F. **Capacidade de Campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas em função de vermicompostos.** *Caatinga*, Mossoró, v.18, n.3, p.195-199, 2005.

NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos solos. Ensaios de Laboratório.** São Carlos, EESC-USP, 1998. 248p.

NORTON, E.R.; SILVERTOOTH, J.C. **Field determination of permanent wilting point.** *Tuckson*. The University of Arizona, Arizona, 1998.

OHASHI, M. et al. **Nighttime CO₂ flux over a Bornean tropical rainforest.** *J. Japan Soc. Hydrol & Water Resour*, v. 18, n. 1, p.64-72, 2005.

PATAKAS, A.; NIKOLAOU, N.; ZIOZIOIU, E.; RADOGLU, K.; NOITSAKIS, B. **The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines.** *Plant Science*, v.163, p.361-367, 2002.

PERAZA, J. E. S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; SANTI, G.; SEQUINATTO, L; **Equações de pedotransferência para estimativa do ponto de murcha permanente (PMP), em solos do Rio Grande do Sul.** http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reuni%20Brasileira_Cuiab%2009.pdf. 2002.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas.** *Planta Daninha*, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004.

RAO, N.H. **Grouping water storage properties of Indian soils for soil water balance model applications.** *Agricultural Water Management*, v. 36, p. 99- 109, 1998.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. *Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações.* São Paulo: Editora Manole, 2004. 478p.

RICHARDS, L. A. **Pressure-membrane apparatus, construction and use.** *Agronomy Engineering*, Madison, n. 28, p. 451-454, 1947.

ROMANO, I.; SANTINI, A. *Water retention and storage: Field. Methods of soil analysis*, Part 4, Editora Madison, Soil Science Society of America, 2002. 721-738p.

SALA, A., TENHUNEN, J.D. **Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 78, p. 203-222. 1996.

SANTOS, Reginaldo Ferreira, CARLESSO, Reimar. **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p 287 – 294, 1998.

SOUZA, Carlos Cleide; OLIVEIRA, Francisco Assis; SILVA, Ivandro de França; Amorin Neto e Malaquias da Silva. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2002.

SOUZA, Carlos Cleide, OLIVEIRA, Francisco Assis, SILVA, Ivandro de França; Amorin Neto e Malaquias da Silva. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 3, p. 337-341, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. ***Plant physiology***. 2.ed. Sunderland:Sinauer Associates, 1998. 792p.

TORMENA, C. A. et al. **Intervalo ótimo de potencial de água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3, n.3, p.286-292, 1999.