

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GUILHERME FERNANDO CAPRISTO SILVA

Resposta espectral da cultura do feijão em condição de déficit hídrico

MARINGÁ – PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO 2015

GUILHERME FERNANDO CAPRISTO SILVA

Resposta espectral da cultura do feijão em condição de déficit hídrico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Andrade Gonçalves.

MARINGÁ – PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S586r Silva, Guilherme Capristo
Resposta espectral da cultura do feijão em
condição de déficit hídrico / Guilherme Fernando
Capristo Silva. -- Maringá, 2015.
70 f. : il., color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Andrade
Gonçalves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento
de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia
- Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas,
2015.

1. Manejo de água. 2. Componentes de produção. 3.
Câmera digital. 4. Índices de vegetação. I.
Gonçalves, Antonio Carlos Andrade, orient. II.
Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências
Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de
Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 21.ed. 635.653

AHS-002804

FOLHA DE APROVAÇÃO

GUILHERME FERNANDO CAPRISTO SILVA

Resposta espectral da cultura do feijão em condição de déficit hídrico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Andrade Gonçalves
(Presidente – Orientador)
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Departamento de Agronomia

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Departamento de Agronomia

Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)
Departamento de Engenharia Ambiental

Aprovada em: 27 de Fevereiro de 2015.

Local de defesa: Sala de reuniões, Bloco J-45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Carlos e Vera
pelo exemplo e dedicação na
criação dos filhos.

Ao meu irmão Carlos Jr por
ser meu ídolo acadêmico.

A minha namorada Cassiele
pelo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente;

À toda minha família, especialmente ao meu pai (Carlos Antonio da Silva), minha mãe (Vera Lucia Capristo Silva) e ao meu irmão (Carlos Antonio da Silva Junior) pelo apoio, amor, amizade, confiança e incentivo, fatores categóricos para o fechamento de mais esta etapa;

Ao meu orientador e amigo Dr. Antonio Carlos Andrade Gonçalves, pela oportunidade de aperfeiçoamento dos conhecimentos, orientação, compreensão, amizade, liberdade necessária para encontrar quais caminhos trilhar;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado;

À Universidade Estadual de Maringá – UEM e todos os alunos, funcionários e professores que compõe o Centro Técnico em Irrigação (CTI) que possibilitaram a minha formação;

Aos professores da UEM, os Drs. Willian Mário de Carvalho Nunes, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, pela paciência e conhecimento transmitido;

Ao professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Dr. Laércio Alves de Carvalho e ao professor da Universidade Estadual de Maringá – UEM, Dr. Marcos Rafael Nanni, pelos ensinamentos, amizade e companheirismo nas minhas etapas acadêmicas;

À minha especial grande amiga e companheira namorada Cassiele Uliana Facco pela ajuda, apoio, amor e carinho de todas as horas.

Ao pessoal do PGA, Érika e Reinaldo, que nunca buscaram medir esforços para a minha formação e de todos que passam por esse programa de excelência;

Aos amigos da UEM, Ânderson Takashi Hara, Heraldo Takao Hashiguti, Jhonatan Monteiro de Oliveira, André Maller, Paulo Vinicius Demeneck Vieira, Fernando André Silva Santos, Ana Paola, Mariana Gomes Brescansin, Luiz Henrique da Silva Lima e José Alcides Remolli pelas ajudas, sugestões, discussões e harmonioso convívio, pois mesmos nas conversas ou na hora do café sempre tinham algo a me ensinar. Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução desse trabalho e minha formação, seja pela ajuda constante ou por uma palavra de amizade!

Muito Obrigado!!!

“Tudo posso naquele que me fortalece.”
(Filipenses, 4:13)

Resposta espectral da cultura do feijão em condição de déficit hídrico

RESUMO

O uso e manejo das técnicas de irrigação têm como finalidade assegurar um abastecimento hídrico adequado às plantas, sendo técnicas que, além de incrementar a produtividade, tendem a promover uma melhora na qualidade do produto final. Toda cobertura vegetal com elevado estado de deficiência hídrica tende absorver menos radiação solar, ocasionando um aumento da reflectância no espectro visível e absorver mais no infravermelho próximo. Com isso, o objetivo deste trabalho é estudar os efeitos do estresse hídrico no feijoeiro decorrente das variações no manejo da água, e detectar o estresse mediante uso de máquina digital e índices de vegetação. O trabalho foi conduzido em ambiente protegido utilizando-se de vasos de material plástico para compor as parcelas experimentais semeadas com a cultivar de feijão IPR Tangará. A umidade das parcelas experimentais foi monitorada utilizando-se o aparelho TDR e foram mantidas próximas à capacidade de campo (CC), porém quando chegadas as fases fenológicas pré-determinadas eram mantidas próximas ao ponto de murcha (PMP), e passado cada estágio fenológico, retornava-se a irrigação para manter a umidade do solo próxima à CC até ao final do ciclo. A aquisição e processamento das imagens foram realizados mediante o uso de uma câmera fotográfica digital Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR, e o programa computacional IDRISI Selva[®] com os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI. Os tratamentos consistiram em T1: estresse hídrico no estágio V4; T2: estresse hídrico no estágio R6; T3: estresse hídrico no estágio R7; T4: estresse hídrico no estágio R8; T5: estresse hídrico no estágio R9; T6: sem estresse em todo ciclo; T7: com estresse em todo ciclo. Para a análise estatística das variáveis NVP, NGP, MSPA, ALT, MCG e PROD foi realizada a ANOVA e comparação de médias pelo teste de t (LSD) com nível de 5% de significância, mediante o programa computacional SISVAR[®]. Da mesma maneira, foi realizada para a comparação entre as condições hídricas com e sem estresse em cada estágio fenológico dentre os índices de vegetação utilizados. Na comparação entre os índices de vegetação e as condições hídricas com e sem estresse ao longo do ciclo, e estresse em um estágio fenológico ao longo do ciclo foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk e de Hartley que verifica a normalidade e homogeneidade de variâncias. Quando essas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de regressão a 0,05 de significância pelo teste F. As diferentes condições de manejo da água no solo influenciaram diretamente nos componentes de produção avaliados, exceto para a massa de cem grãos.

Identificar as condições hídricas com e sem estresse em cada estágio fenológico na cultura do feijão foi possível ao utilizar imagens fotográficas digitais processadas com os índices de vegetação GNDVI e NDVI. Em relação à identificação das condições hídricas com e sem estresse ao longo do ciclo, e estresse hídrico em apenas um estágio fenológico na cultura do feijão foi possível ao utilizar os índices de vegetação EVI e NDVI respectivamente.

Palavras-chave: Manejo da água. Componentes de produção. Câmera digital. Índices de vegetação.

Spectral response of the bean crop in drought condition

ABSTRACT

The use and management of irrigation techniques are intended to ensure an adequate water supply to plants, and techniques that in addition to increasing productivity, tend to promote an improvement in the quality of the final product. All vegetation with high state of water stress tends to absorb less solar radiation, causing an increase in reflectance in the visible spectrum and absorbing more near infrared. Thus, the objective of this work is to study the effects of water stress in bean arising from changes in water management, and detect stress by using digital camera and vegetation indices. The work was conducted in greenhouse using of plastic vessels to compose experimental plots sown with the bean cultivar IPR Tangara. The humidity of experimental plots was monitored using TDR unit and were maintained close to field capacity (FC), but when arrivals phenological phases predetermined were kept close to the wilting point (PMP), and past each phenological stage, irrigation is returning to try and keep the soil moisture close to DC by the end of the cycle. The acquisition and processing of images were performed by using a digital camera Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR, and the computer program IDRISI Selva[®] with CTVI vegetation indices, EVI, GNDVI and NDVI. The treatments consisted of T1: water stress in V4 stage; T2: water stress in the R6 stage; T3: water stress at R7 stage; T4: water stress in the stadium R8; T5: water stress in R9 stadium; T6: no stress around cycle; T7: with stress in every cycle. For the statistical analysis of variables NVP, NGP, MSPA, ALT, MCG, PROD was carried out ANOVA and comparison of means by t test (LSD) at 5% level of significance by the computer program SISVAR[®]. Likewise, it was conducted for comparison between the water with and without stress conditions in each phenological stage among the vegetation indices used. Comparing the vegetation index and water conditions with and without stress throughout the cycle, and stress in a developmental stage during the cycle the Shapiro-Wilk and Hartley tests that checks the normality and homogeneity of variance were used. When these assumptions are met, it was applied to regression analysis to test at 0,05 significance F. different water management conditions in the soil directly influenced components in the production evaluated, except for the mass hundredfold. Identify water conditions with and without stress at each developmental stage in bean crop was possible to use digital photographic images processed with GNDVI and NDVI. Regarding the identification of water conditions with and without

stress over the cycle and water stress in one phenological stage in the bean crop it was possible to use the EVI vegetation indices and NDVI respectively.

Keywords: Water management. Yield components. Digital camera. Vegetation indices.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estádios fenológicos da cultura do feijão e suas respectivas simbologias. Fonte: Fernádes et al., (1985) adaptado por Fancelli (1994).....	06
Tabela 2	Análise química do solo utilizado nas parcelas experimentais.....	19
Tabela 3	Significância para as variáveis: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) da cultivar IPR Tangará, obtidas no experimento.....	28
Tabela 4	Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) nos diferentes tratamentos (T).....	29
Tabela 5	Índices de vegetação CTVI, NDVI, EVI e GNDVI para as condições de manejo da água no solo com estresse (C.E.) e sem estresse (S.E.) nos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 do feijoeiro, cultivar IPR Tangará.....	37
Tabela 6	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição com estresse (C.E.) em todos os estádios fenológicos estudados e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.....	38
Tabela 7	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição sem estresse (S.E.) em todos os estádios fenológicos estudados e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI...	40
Tabela 8	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico V4 e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.....	41
Tabela 9	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a	

	condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R6 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI...	42
Tabela 10	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R7 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI...	43
Tabela 11	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R8 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI...	45
Tabela 12	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R9 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI...	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais hábitos de crescimento das cultivares de feijão comum. (Fonte: Vieira et al., 2008).....	5
Figura 2	Espectro eletromagnético (Fonte: Moreira, 2001).....	15
Figura 3	Mudança na reflectância do feijão de acordo com o conteúdo de água foliar (Fonte: Moreira, 2001).....	16
Figura 4	Leitura da constante dielétrica com aparelho TDR.....	21
Figura 5	Câmera Fujifilm IS PRO e seu esquema do sensor super CCD SR PRO. (Fonte: Joinson, et al., 2007).....	24
Figura 6	Curvas espectrais a partir da reflectância da placa padrão de spectralon com a presença dos filtros para infravermelho nos comprimentos de 720 e 850 nm e para o visível UV-IR cut. (Fonte: Gasparotto, 2004).....	24
Figura 7	Equipamento utilizado para captura das imagens em infravermelho.....	25
Figura 8	Número de vagens por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.....	31
Figura 9	Número de grãos por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.....	32
Figura 10	Massa seca da parte aérea em gramas por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.....	33
Figura 11	Altura de plantas nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.....	34
Figura 12	Produtividade de grãos nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.....	35
Figura 13	Valores de EVI médios em função do estresse hídrico nos 28, 41, 47, 54 e 80 DAS nos respectivos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 da cultura do feijão.....	39
Figura 14	Valores de NDVI médios em função da ausência de estresse hídrico	40

	nos 28, 41, 47, 54 e 80 DAS nos respectivos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 da cultura do feijão.....	
Figura 15	Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio V4 (28 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão.....	42
Figura 16	Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio R6 (41 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão.....	43
Figura 17	Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio R7 (47 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão.....	44
Figura 18	Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio R8 (54 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão.....	45
Figura 19	Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio R9 (80 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão.....	46
Figura 20	Imagens obtidas pela câmera fotográfica digital processada para o índice de vegetação EVI na condição com estresse (CE) nos estádios fenológicos do feijoeiro V4 (A), R6 (B), R7 (C), R8 (D) e R9 (E).....	47
Figura 21	Imagens obtidas pela câmera fotográfica digital processada para o índice de vegetação NDVI na condição sem estresse (SE) nos estádios fenológicos do feijoeiro V4 (A), R6 (B), R7 (C), R8 (D) e R9 (E).....	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	Objetivo Geral.....	3
2.2.	Objetivos Específicos.....	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1.	Aspectos Gerais do Feijoeiro.....	4
3.2.	Hábitos de Crescimento e Fenologia do Feijoeiro.....	5
3.3.	Manejo da Água no Solo.....	8
3.3.1.	Reflectometria no domínio do tempo.....	9
3.4.	Estresse Hídrico no Feijão.....	11
3.5.	Sensoriamento Remoto na Agricultura.....	13
3.5.1.	Interação da REM com a vegetação.....	14
3.5.2.	Índices de vegetação.....	17
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1.	Localização.....	19
4.2.	Preparo da Unidade Experimental.....	19
4.3.	Adubação.....	19
4.4.	Semeadura.....	20
4.5.	Manejo da Água no Solo.....	20
4.6.	Tratos Culturais.....	22
4.7.	Componentes de Produção do Feijoeiro.....	22
4.8.	Aquisição de Imagens Espectrais.....	23
4.9.	Cálculo de Índices de Vegetação.....	25
4.10.	Tratamentos e Delineamento Estatístico.....	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1.	Avaliação dos componentes de produção da cultura do feijão em condição de estresse hídrico.....	28
5.2.	Identificação das condições hídricas com e sem estresse em cada estágio fenológico do feijoeiro.....	36
5.3.	Identificação das condições hídricas com e sem estresse nos estádios	

	fenológicos ao longo do ciclo do feijoeiro.....	38
5.4.	Identificação da condição de estresse hídrico em apenas um estágio fenológico ao longo do ciclo do feijoeiro.....	41
6.	CONCLUSÕES.....	49
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) faz parte da alimentação básica do brasileiro, por ser uma das fontes acessíveis de carboidratos, proteína, vitaminas e minerais, tornando assim muito importante o cultivo dessa leguminosa (TEÓFILO et al, 2008; GUZMÁN-MALDONADO et al, 1996).

O estado do Paraná se destacou na safra 2012/2013 com 23,5% da produção nacional, em seguida Minas Gerais com 18,98% e Goiás com 9,86%. O Brasil chegou a ser o maior produtor mundial de feijão em 2006, porém, em 2012 e 2013 houve queda de produção, ficando na terceira posição, com 2,8 milhões de toneladas, devido aos problemas fitossanitários, perdendo para Myanmar e Índia com 3,7 e 3,6 milhões de toneladas respectivamente (WANDER, 2013; CONAB, 2014).

Embora o feijoeiro possua ampla adaptação e distribuição geográfica de cultivo, é pouco tolerante às condições extremas de ambiente, sendo exigente em relação às condições edafoclimáticas. No que diz respeito à necessidade hídrica, a água constitui um dos fatores que limitam o rendimento da cultura do feijoeiro interferindo na absorção e translocação de nutrientes, fotossíntese, translocação de assimilados, transpiração, respiração, crescimento e produção de grãos (VIEIRA et al., 2008; GUIMARÃES, 1988).

Durante o ciclo do feijoeiro, as fases fenológicas em que este é mais prejudicado com o déficit hídrico são: vegetativa, tendo efeito no rendimento de grãos devido à redução da área foliar; floração, ocasionando abortamento e abscisão de flores reduzindo número de vagens, e a fase de enchimento de grãos prejudicando a formação de sementes, ou redução de seu peso (CALVACHE et al., 1997; GUIMARÃES, 1988).

O uso e manejo das técnicas de irrigação têm como finalidade assegurar um abastecimento hídrico adequado às plantas, sendo técnicas que, além de incrementar a produtividade, tendem a promover uma melhora na qualidade do produto final. Entretanto, esta perspectiva promissora demanda uma análise detalhada de planejamento, dimensionamento, manejo e desenvolvimento da cultura (MORAIS et al., 2008; SILVA et al. 2007).

Por sua vez, as técnicas do sensoriamento remoto podem, inclusive, complementar e respaldar a tomada de decisão no que se refere à escolha do momento adequado da aplicação da lâmina de água. O momento adequado para se irrigar é usualmente baseado no potencial de água no solo e este estará relacionado com o potencial de água na planta. Assim, estudos como o de O'Shaughnessy et al., (2011), monitorando o estresse hídrico no espaço e no

tempo nas culturas da soja e algodão em pivô central, procuram estabelecer bases para decisão sobre irrigação a partir destas variáveis.

Nesse sentido, a arquitetura do dossel (ângulo de inserção, distribuição, orientação e espaçamento das folhas), teor de pigmentos, o conteúdo de água, o grau de senescência e os estresses ambientais ou nutricionais aos quais as plantas estão submetidas, são os principais fatores que definem a reflectância de um dossel. Esta variável é definida como a razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (Radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (Irradiância), medida no mesmo instante de tempo (GOEL, 1988; MENESES et al., 2012).

Toda cobertura vegetal com elevado estado de deficiência hídrica tende absorver menos radiação solar, ocasionando um aumento da reflectância no espectro visível e absorver mais no infravermelho próximo. Assim, a diferença entre esses comprimentos de onda tende a decrescer de acordo com o nível de estresse hídrico da cultura vegetal (POELKING et al., 2007).

Dentre as diversas maneiras de se estudar a reflectância das vegetações são utilizados os “índices de vegetação” para que se possa mensurar alguns parâmetros de interesse, como indicadores de crescimento e vigor da vegetação, além da possibilidade de concatenar diagnósticos de alguns parâmetros biofísicos, como por exemplo: índice de área foliar, biomassa, estresse hídrico, atividade fotossintética ativa, uso do solo e previsão de produtividade (PONZONI, 2001; JENSEN, 2009).

Atualmente, com a sofisticação das máquinas digitais disponíveis no mercado, algumas câmeras fotográficas digitais possuem a capacidade de capturar imagens na faixa do visível e do infravermelho próximo entre 350 a 1100 nanômetros. Todavia, é escassa a pesquisa sobre a eficiência deste sistema imageador relacionada à deficiência hídrica das culturas.

Dessa maneira, torna-se necessário estudo sobre a influência do manejo da água no solo sobre os componentes produtivos na cultura do feijoeiro, e avaliar a possibilidade de identificação do déficit hídrico mediante uso de câmera fotográfica digital.

Neste contexto, a hipótese a ser testada é de que os componentes de produção sejam influenciados diretamente pelo manejo da água no solo adotado nos diferentes estádios fenológicos da cultura do feijão. E que haja forte correlação entre os estádios fenológicos e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar os efeitos do estresse hídrico no feijoeiro decorrente das variações no manejo da água, e detectar o estresse mediante uso de máquina digital e índices de vegetação.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os componentes de produção da cultivar de feijão IPR Tangará sob estresse hídrico em cinco fases fenológicas em estufa agrícola;
- Detectar as condições hídricas com e sem estresse em cada estágio fenológico, em todos os estágios ao longo do ciclo e estresse em apenas um estágio ao longo do ciclo na cultura do feijão mediante o uso de imagens fotográficas digitais e índices de vegetação;
- Verificar se há significância na correlação entre os estágios fenológicos e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aspectos Gerais do Feijoeiro

O feijão comum está inserido na classe *Dicotyledoneae*, ordem *Rosales*, família *Leguminosae*, gênero *Phaseolus* e espécie *vulgaris* L. O gênero *Phaseolus* é originário das Américas, possuindo cerca de 55 espécies, dentre estas, apenas cinco são cultivadas sendo elas: *P. vulgaris* L.; *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. Freeman e *P. polyanthus* Greenman. Porém, o *Phaseolus vulgaris* L. é a espécie mais antiga cultivada nos cinco continentes (DEBOUCK, 1993).

Cerca de 70% dos brasileiros consomem o feijão comum do tipo carioca, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010). O consumo anual por habitante chega a aproximadamente 17 quilos (WANDER e CHAVES, 2011).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o rendimento médio estimado em área plantada de feijão no Brasil foi de 913 kg/ha na safra 2012/2013, com destaque para região Centro-Sul de 1.476 kg/ha e o Estado de Goiás com 2.184 kg/ha (CONAB, 2014).

A temperatura média ótima durante o ciclo da cultura varia de 18 a 21°C, possuindo um conforto térmico quando em 21°C, porém na América Latina a temperatura varia entre 17,5 a 25°C e normalmente tenta-se na época de semeadura coincidir que a floração esteja a 21±2°C (VIEIRA, 1967; MARIOT, 1989).

A necessidade hídrica ideal para se obter a produção máxima, é dependente de alguns aspectos: a localização geográfica e sua condição edafoclimática, a época de semeadura, a cultivar e o manejo da cultura. Em geral é mais bem sucedida quando as precipitações ocorrem geralmente entre 300 e 400 mm quando bem distribuídas durante o ciclo (SILVEIRA E STONE, 2001; KAY, 1979).

O cultivo de feijão no Brasil pode ser realizado em três épocas ou safras, devido à sua diversidade climática, sendo que em qualquer mês do ano haverá produção em algum ponto do país contribuindo para o abastecimento interno (BARBOSA e GONZAGA, 2012).

Devido à sazonalidade característica do Brasil, as três safras podem ser assim definidas: Primeira safra, ou “safra das águas”, com semeadura realizada entre o mês de Agosto a Outubro, podendo estender-se até Novembro e Dezembro com colheita nos meses de Novembro até Março; Segunda safra, ou “safra da seca”, com semeadura entre Janeiro a

Abril e colheita entre Abril-Maio a Junho-Julho; Terceira safra, ou “safra de inverno”, com semeadura realizada de Maio a Julho e colheita de Agosto a Outubro (BARBOSA e GONZAGA, 2012).

3.2. Hábitos de Crescimento e Fenologia do Feijoeiro

A planta do feijoeiro comum é classificada em hábitos de crescimento determinado e indeterminado, de forma a considerar o número de nós e o comprimento dos internódios ao longo da haste principal, a intensidade da ramificação lateral e a habilidade trepadora da planta. Dessa forma, são classificados em tipos Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIb, IVa e IVb como na Figura 1 (SING, 1982; DEBOUCK e HIDALGO, 1985; VOYSEST e DESSERT, 1993).

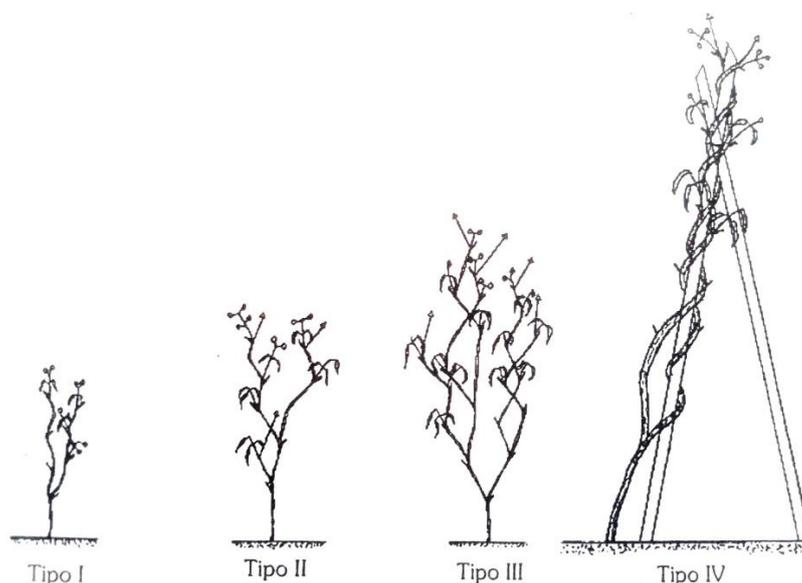


Figura 1. Principais hábitos de crescimento das cultivares de feijão comum.

O tipo Ia engloba as cultivares de crescimento arbustivo porque possuem menores números de internódios e por serem curtos dentre as demais cultivares; o tipo Ib maior número de internódios longos com tendência ao acamamento; o tipo IIa são de plantas eretas e arbustivas e o IIb são trepadoras possuindo cerca de 12 nós na haste principal chamados de “guia”; o tipo IIIa são prostradas ou semitrepadoras; o tipo IIIb são prostradas e trepadoras; o tipo IV são plantas com elevada capacidade trepadora chegando a 2 metros de comprimento e são diferenciadas em IVa e IVb distribuindo as vagens por toda planta, ou apenas na parte superior.

Dentre as etapas de crescimento e desenvolvimento do feijão, são diferenciadas principalmente as fases fenológicas vegetativas e reprodutivas, sendo a fase vegetativa

determinada pelo início da germinação até o aparecimento dos botões florais e a fase reprodutiva expressada desde a emissão dos botões florais até o enchimento e amadurecimento das sementes nas vagens.

De acordo com Fernádes et al., (1985) os estádios fenológicos são divididos em V0, V1, V2, V3, V4, R5, R6, R7, R8 e R9 de acordo com suas características morfológicas de desenvolvimento conforme a Tabela 1.

Tabela1. Estádios fenológicos da cultura do feijão e suas respectivas simbologias

Fase	Estádio	Descrição do início de cada estágio
Vegetativa	V0	Instante em que a germinação é iniciada em mais de 50% das sementes
	V1	Instante em que os cotilédones de 50% das plantas estão no nível do solo
	V2	Instante em que as folhas primárias de 50% das plantas estão completamente desenvolvidas
	V3	Instante em que o primeiro trifólio de 50% das plantas estão completamente desenvolvidos
Reprodutiva	V4	Instante em que o terceiro trifólio de 50% das plantas estão completamente desenvolvidos
	R5	Instante em que os primeiros botões florais são observados em 50% das plantas
	R6	Instante em que está aberta a primeira flor em 50% das plantas
	R7	Instante em que são observadas as primeiras vagens em 50% das plantas
	R8	Instante em que são observadas as primeiras vagens cheias em 50% das plantas
	R9	Instante em que houver modificação da cor das vagens em 50% das plantas (maturação fisiológica)

Fonte: Fernádes et al., (1985) adaptado por Fancelli (1994).

A fase vegetativa V0 é caracterizada pela germinação na data de semeadura em solo úmido, e quando em solo seco é considerada a primeira chuva ou irrigação para que se inicie o processo germinativo, em seguida ocorre a absorção de água pela semente, o que resulta na emissão da radícula, através da micrópila, a qual cresce no interior do solo. Esta etapa é terminada no momento que os cotilédones atingem a superfície do solo, geralmente ocorre em torno de cinco dias.

A etapa V1 é distinguida pela emergência da plântula com a presença do hipocótilo curvado na superfície do solo juntamente com os cotilédones. Após a abertura dos cotilédones o hipocótilo perde sua curvatura e cresce ao máximo até a separação dos cotilédones, conseqüentemente resulta na abertura e afastamento das folhas primárias.

Com a abertura das folhas primárias ocorrida no final da fase V1 se inicia a fase V2, em que as mesmas encontram-se na posição horizontal com os cotilédones murchos e com

isso surge a primeira folha trifoliada localizada no terceiro nó da planta, esta etapa termina cerca de 4 dias com a expansão total deste trifólio.

A etapa V3 é iniciada quando cinquenta por cento das plantas possui o primeiro trifólio totalmente expandido abaixo das folhas primárias, assim com o crescimento total do trifólio, ocorre a queda dos cotilédones e surge o segundo trifólio. Esta etapa termina quando a segunda folha trifoliada se encontra em pleno desenvolvimento e simultaneamente o terceiro trifólio se abre posicionando sobre a primeira. Este período possui duração em torno de cinco a nove dias.

Após o final do estágio V3 ocorre a expansão total do terceiro trifólio iniciando o estágio V4 em que também há o desenvolvimento das primeiras hastes secundárias oriundas das gemas axilares dos nós inferiores exibindo em sua haste a primeira folha trifoliada. A quantidade de hastes secundárias e suas dimensões variam com a ambiência e a cultivar, esta etapa pode durar até 15 dias e completada pelo aparecimento do primeiro botão floral em cultivares de hábito determinado ou da primeira inflorescência em cultivares com hábito indeterminado.

A fase R5, ou fase de pré-floração é marcada pelo aparecimento de cinquenta por cento de botões florais nas plantas prolongando-se até a abertura da primeira flor com duração em torno de dez dias. Dessa maneira, é iniciada a fase reprodutiva que se estende até a maturação. A fase de floração, ou estágio R6 é o período em que a primeira flor é aberta e prolonga-se até a queda da corola de forma a expor a vagem em início de desenvolvimento com duração média de cinco dias.

A etapa R7 é entendida como a fase de formação das vagens, tendo início desde a exposição da primeira vagem com posterior queda da corola oriunda da primeira flor fecundada. Nesta fase há um crescimento da vagem de forma a atingir seu comprimento máximo e pode ter duração em torno de oito dias. Logo, a cultura é considerada na fase R7 possuindo cinquenta por cento das plantas com a primeira vagem exposta.

Posteriormente há o enchimento das vagens (fase R8) que ocorre desde o aparecimento da primeira vagem até atingir o seu comprimento máximo e de forma simultânea o crescimento interno do grão na vagem até alcançar seu tamanho final. O término desta fase é determinado pela coloração dos grãos, pois apresenta-se pela transição da cor verde para a cor característica da cultivar e por fim a última fase fenológica do feijoeiro é a maturação (fase R9) em que considera-se desde a descoloração das vagens, amarelecimento, queda das folhas e a seca total da planta.

Portanto, torna-se necessário o estudo quantitativo constante das influências edafoclimáticas de cada local de produção sobre o desenvolvimento da cultura do feijoeiro, em razão do surgimento de novas cultivares disponíveis no mercado.

3.3. Manejo da Água no Solo

A água constitui-se de uma das mais importantes substâncias da crosta terrestre, participando nos processos vitais e físico-químicos. Além disso, ela pode alcançar em até 95% do protoplasma celular das plantas e ainda participar de importantes reações metabólicas como a fotossíntese e fosforilação oxidativa, sendo assim responsável por manter o turgor celular no crescimento vegetal (REICHARDT e TIMM, 2012).

O solo funciona com um reservatório de água para as plantas mas, nem sempre, em quantidades suficientes para que a água esteja prontamente disponível para as plantas (REICHARDT, 1988). De acordo com Veihmeyer e Hendrickson(1949) a água que pode ser utilizada pelas plantas está situada entre os limites dos potenciais de água no solo, os quais são denominados capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), caracterizando a chamada “água disponível”.

Para Veihmeyer e Hendrickson (1949) a capacidade de campo refere-se à quantidade de água que permanece no solo após o excesso ter sido drenado e a taxa de movimento ascendente tenha decrescido de forma acentuada. Em solos de textura uniforme este fenômeno ocorre entre dois a três dias após a chuva ou irrigação.

Caracterizando o extremo oposto, o conceito do ponto de murcha permanente expressa o teor de água no solo quando as plantas perdem sua turgescência nas folhas e não se recuperam quando expostas a um ambiente escuro e saturado, ou seja, o teor de água em que prejudica o desenvolvimento das plantas (BRIGGS e SHANTZ, 1912). A capacidade de campo é considerada um fenômeno dinâmico no solo e de característica oposta, o ponto de murcha é considerado estática (SOUZA e REICHARDT, 1996).

A capacidade de campo tem sido usualmente relacionada com a umidade em potenciais entre -60 hPa e -100 hPa para solos em geral e o ponto de murcha permanente (PMP) que chega a -15000 hPa. Valores estes são aceitos por pesquisadores como Silva et al., (1994), Tormena et al., (1998), Araújo et al., (2004), Leão et al., (2004) e Reichardt e Timm (2004).

Portanto, a quantificação da água disponível às plantas tem sido imprescindível para o manejo da água no solo em agricultura irrigada, o que interfere diretamente nos cálculos das lâminas de irrigação, pois a água quando em déficit ocasiona prejuízos no rendimento das culturas sendo dependente da duração, intensidade, frequência e do estágio fenológico da planta (REICHARDT, 1988 Apud KLEIN 2006; GUIMARÃES, 1988).

3.3.1 Reflectometria no domínio do tempo

Dentre as técnicas indiretas de monitoramento de água no solo, a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) possui a capacidade de relacionar a velocidade de propagação de um pulso de voltagem com a constante dielétrica do solo, como observado em estudo realizado por Davis e Annan (1977). Com base nisso, é realizado cálculo da constante dielétrica, sendo considerado o tempo que um pulso eletromagnético leva para percorrer hastes metálicas da sonda introduzida ao solo (FELLNER-FELDEGG, 1969).

Assim, o solo pode ser considerado um material dielétrico constituindo-se de três elementos, sendo eles de partículas sólidas, poros ocupados por ar e o conteúdo de água que apresenta constante dielétrica de $k'' = 3$ a 5 , $k'' = 1$ e $k'' = 81$ respectivamente. Dessa forma, torna possível o monitoramento da umidade volumétrica do solo, visto que a constante dielétrica da água é maior que os demais componentes (NOBORIO, 2001; JOAQUIM JÚNIOR, 2003; CICHOTA e VAN LIER, 2004). Portanto, a velocidade do pulso emitido pelo aparelho levará em conta os três constituintes e sendo única a constante dielétrica aparente admitindo-se as velocidades da luz e do pulso eletromagnético.

Contudo, a reflectometria de microondas ocorre no domínio do tempo, sendo este advindo pelo tráfego momentâneo do pulso eletromagnético no comprimento (L) das hastes de metal inseridas ao solo conforme a equação de Fellner-Feldegg (1969):

$$K_a = (c t / 2 L)^2$$

Em que:

K_a : constante dielétrica aparente (adimensional);

c : velocidade da luz (30 cm/ns);

t : tempo de deslocamento (ns);

L : comprimento da haste (20 cm).

Posteriormente, experimento realizado por Topp et al., (1980) afirmam que a reflectometria de microondas possui várias aplicabilidades, porém quando utilizada para fins agronômicos é de maior utilidade no que se refere a determinação do conteúdo de água no solo, pois a constante dielétrica dos solos como visto anteriormente é fortemente afetada pelo seu conteúdo de água.

Segundo Gomide (1998), as vantagens da técnica TDR são: não ser destrutiva ao solo, não utilizar radiação, ser de manuseio fácil e portátil, apresentar exatidão relativamente elevada e realizar leituras mediante sondas instaladas tanto nos sentidos vertical e horizontal.

As sondas de TDR podem possuir diversos formatos e características, sendo estas desenvolvidas por pesquisadores a fim de otimizar ou torná-las de baixo custo mediante o uso de componentes alternativos disponíveis. Alguns pesquisadores utilizando sondas coaxiais como as de Topp et al., (1980), podem possuir duas, três ou quatro hastes como as de Zegelin e White (1989) e Trintinalha (2000), espirais de Nissen et al., (1999) e Vas e Hopmans (2001), as segmentadas de Frueh e Hopmans (1997), dentre outras como de Inoue et al., (2001) e Selker et al., (1993).

Entretanto, cabe ressaltar que as sondas necessitam de uma calibração para as condições de solos locais, pois podem influenciar na leitura realizada pelo aparelho de acordo com o tipo de solo e sua composição por materiais magnéticos. Devido ao comprimento variado das hastes em torno de quinze a trinta centímetros comprometendo a sensibilidade na leitura em solos com baixa umidade em sondas menores, uma vez que há um pequeno tempo de trânsito do pulso. Já em sondas de comprimentos maiores, pode ocorrer alta atenuação da radiação eletromagnética em solos muito umedecidos (TRINTINALHA et al., 2001; MALICKI et al., 1992; AMATO e RITCHIE, 1995; KELLY et al., 1995; COELHO e ARRUDA, 2001).

Experimento realizado por Trintinalha (2005) estudando a distribuição espaço-temporal do armazenamento de água no solo em área sob cultivo de feijoeiro, se fez necessária a construção e posterior calibração de sondas TDR para o solo local. O mesmo observou que foi possível utilizar apenas um modelo matemático para todas as sondas em um Nitossolo Vermelho distroférico de textura argilosa. Além deste, outros experimentos semelhantes utilizando o TDR na geoestatística foram utilizados para o monitoramento da umidade do solo correlacionado aos componentes produtivos, ou até mesmo para avaliar as propriedades físico-hídricas do solo no desenvolvimento do feijoeiro (JÁCOME, 2006; BLAINSKI, 2007; GUIMARÃES, 2007).

Dentre os diversos trabalhos adotando-se a técnica TDR para o manejo da água no solo, têm sido empregada para estudos de estresse hídrico de Barros Junior et al., (2008), em que foi testada duas cultivares de mamona em vasos sob ambiente protegido em quatro níveis de água no solo, e de Vellini et al., (2008) que avaliou genótipos de *Eucalyptus spp.* em vasos com diferentes regimes hídricos em casa de vegetação e também de girassol cultivado em vasos realizado por Bertino et al., (2014) que estudou os componentes de produção em conjunto da fertilização orgânica e disponibilidade de água em dois solos e Neves (2011) que avaliou a tolerância à seca de duas variedades de porta-enxertos de citros cultivado em vasos sob ambiente protegido.

3.4. Estresse Hídrico no Feijão

A importância da água do ponto de vista ecológico está ligada aos processos fisiológicos das plantas que são direta ou indiretamente influenciados pelo suprimento hídrico (KRAMER e BOYER, 1995). Assim, a água atua primordialmente como solvente para os nutrientes, reagente em processos metabólicos, realiza manutenção da turgescência e equilíbrio térmico dos tecidos (ANGELOCCI, 2002).

Todavia, quando ocorre redução significativa de água e conseqüentemente desidratação das células, afetam diretamente os processos fisiológicos e os componentes de crescimento (PÁEZ et al., 1995).

Dessa maneira, quando “todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está situado abaixo do conteúdo de água mais alto exigido no estado de maior hidratação é chamado de déficit hídrico” (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Segundo Guimarães (1988), o efeito do déficit hídrico influencia na fotossíntese das plantas, pois o decréscimo do potencial hídrico no solo resulta em decréscimo linear da fotossíntese aparente (GHORASHY et al., 1971). A fotossíntese líquida e a transpiração são reduzidas quando o potencial hídrico das folhas do feijoeiro atingem a faixa de -0,3 e -0,5 MPa e são praticamente nulas quando entre -0,9 a -1,0 MPa (OTOOLE et al., 1977 Apud GUIMARÃES, 1988).

Os principais mecanismos utilizados pelas plantas em resposta ao déficit hídrico consistem na diminuição da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência, da baixa turgescência, da baixa taxa fotossintética e abscisão das folhas (PIMENTEL, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2009).

O déficit hídrico ocorre de forma demasiada em várias culturas, que resulta em impacto negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR e SINCLAIR, 1996).

A planta do feijoeiro é altamente sensível ao déficit hídrico, isto se deve provavelmente à sua baixa capacidade de recuperação à seca e também pelo seu sistema radicular ser pouco desenvolvido (GUIMARÃES, 1988). Sendo assim, um dos fatores limitantes para as altas produtividades (REZENDE et al., 2004).

A deficiência hídrica em qualquer estágio fenológico do feijoeiro pode afetar o seu rendimento em diferentes proporções (SILVEIRA e STONE, 1994). Reduções significativas de produtividade foram observadas por Dubetz e Mahalle (1969) com 53, 71 e 53% nas fases de pré-floração, floração e pós-floração respectivamente. Diversos pesquisadores obtiveram resultados semelhantes quanto aos estádios fenológicos críticos no feijoeiro, tendo em comum os períodos de pré-floração, floração, início da formação de vagens e a fase de enchimento dos grãos, sendo estas fases as mais prejudicadas pela deficiência hídrica quando comparadas com o crescimento vegetativo, assim foram observados por Shouse et al. (1981), Ferreira et al., (1991), Fiegenbaum et al. (1991), Brito (1993), Amorim Neto et al., (1995), Guimarães et al., (1996) e Andrade et al., (1999).

Alguns trabalhos como o de Miranda e Belmar (1977), Stone et al., (1988), Nascimento et al., (2004) e Guimarães et al., (2008), demonstraram que o número de vagens por planta foi o principal componente de produção mais afetado em estudos de estresse hídrico. Já para Manjeru et al., (2007), além do número de vagens por planta, o número de grãos por vagem também foi afetado quando o estresse hídrico foi aplicado na fase de floração e pós-floração, isto se deve à abscisão de flores e a ocorrência de vagens pequenas, ou ter sido provocado pela falha na fertilização de pólenes inviáveis (LAING et al, 1984).

Estudos realizados por Nascimento et al., (2004) demonstraram que a altura de plantas foi reduzida em 50% para o tratamento que recebia apenas 40% de água disponível no solo. Porém, Aguiar et al., (2008) estudando linhagens de feijão resistentes ao estresse hídrico para o estado do Paraná, observaram que para o grupo carioca houve aumento na altura de plantas em tratamentos com estresse hídrico, o mesmo relata este efeito devido ao estiolamento para as linhagens LP99-79, LP 99-55, LP 99-63 e Iapar 81.

Segundo Ritchie (1981), a deficiência hídrica além de causar limitações a expansão foliar pode também ocasionar o enrolamento, abscisão, morte parcial das folhas, diminuição da brotação, diminuição da polinização e baixo rendimento de grãos por abortamento de

vagens. Para Bascur et al., (1985), todas estas consequências advindas do baixo teor de água no solo resultam também em maior acúmulo de matéria seca em caules e ramos em cultivares de feijão.

Portanto, percebe-se que o período de maior sensibilidade é o da floração, por ocorrer aborto e abscisão de flores e o chochamento dos grãos devido a insuficiência de fotossintetização (GUIMARÃES 1988). Para Doorenbos e Kassam (1994), além das fases reprodutivas apresentadas, são considerados também os estádios de germinação e emergência das plântulas.

3.5. Sensoriamento Remoto na Agricultura

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia na qual se adquire informações sobre objetos sem que haja contato físico com os mesmos (LILLESAND e KIEFER, 1994). Além disso, utiliza-se de sensores de forma conjunta, e equipamentos para o processamento de dados com a finalidade de estudar de forma analítica as interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas vegetais que compõe o globo terrestre (NOVO, 1989).

Segundo Mather (1999), o estudo das relações entre a energia eletromagnética e as culturas agrícolas, aliado às técnicas de sensoriamento remoto, permite múltiplas utilizações dessa metodologia relacionadas à agricultura. Além disso, fornece um conjunto de técnicas úteis na caracterização dinâmica dos fenômenos que ocorrem nas áreas agrícolas (PORTILLO et al., 2003).

O diferencial do sensoriamento remoto é a sua aquisição de informações para as diversas áreas de conhecimento, entre elas as ciências agrárias, sendo uma técnica rápida e menos onerosa, não somente para uso agrícola, mas também para os estudos ambientais. (GENÚ, 2006).

Dentre a vasta utilização do sensoriamento remoto na agricultura e meio ambiente, são exemplos, os estudos relacionados à caracterização e discriminação dos solos realizado por Demattê et al., (2004), estimativa da umidade do solo aliada a técnica da linha de solo (DEMATTE et al., 2006), estimativa do teor de água na vegetação agrícola e da silvicultura (GAO, 1996; GAO e GOETZ, 1995; PEÑUELAS et al., 1997; USTIN et al., 2004; ZARCO-TEJADA et al., 2003) avaliação de seca (PEÑUELAS et al., 1993), previsão de susceptibilidade ao fogo (CHUVIECO et al., 2004; RIAÑO et al., 2005; USTIN et al., 1998),

estimativa de área plantada (SILVA JUNIOR, 2014; SANTOS et al., 2014), estimativa da produtividade (RUDORFF e BATISTA, 1990) entre outros.

A aquisição de dados do sensoriamento remoto pode ser em nível terrestre, suborbital e orbital. Por meio terrestre, utiliza-se de torres e de sistemas radiométricos à campo, sendo importante para o entendimento do comportamento espectral dos alvos com medidas a curta distância, obtendo assim resultados que retratam com maior fidelidade ao que se investiga. Em nível suborbital, a coleta de dados tem como plataforma as aeronaves tripuladas ou não, tendo como captura de imagens as câmeras fotográficas, os imageadores (*scanners*) e os radares. O orbital possui como característica a obtenção de dados a bordo de satélites, o qual possui imageadores instantâneos do terreno possuindo variados sistemas de sensores (MOREIRA, 2001).

Com a atual sofisticação de câmeras fotográficas digitais no mercado, tem sido estudada sua aplicação à campo em estudos de sensoriamento remoto, como no estudo do crescimento do feijão e banana (OBERTHÜR et al., 2007), em doses de nitrogênio na cultura do milho (GASPAROTTO, 2014), nas respostas espectrais em diferentes fases de um pomar de laranja (PARISE e VETTORAZZI, 2005), na reflectância em grama bermuda sob diferentes doses de nitrogênio (LIMA et al., 2012), no estudo da vegetação com máquinas convencionais (DISPERATI et al., 2009), na cobertura dos solos (VELÁZQUEZ-GARCÍA et al., 2010), na identificação de plantas daninhas em tempo real (BURGOS-ARTIZZU et al., 2011), na estimativa de crescimento e estado nutricional de nitrogênio do arroz (LEE e LEE, 2013) e no índice de área foliar em Eucalipto (MACFARLANE et al., 2007).

3.5.1. Interação da REM com a vegetação

O Sol possui primordial importância para estudos do sensoriamento remoto, principalmente para os sensores passivos dependentes da luz solar, sendo uma principal fonte de energia e/ou radiação eletromagnética (REM) em abundância na Terra, no qual propaga-se por todo o espaço mediante ondas eletromagnéticas na forma de radiação.

De acordo com Steffen et al., (1996), a radiação eletromagnética possui diversas denominações, as quais variam de acordo com a frequência e o comprimento de onda. Assim, o espectro eletromagnético é dividido em: radiação gama, raios X, radiação ultravioleta (UV), radiação visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio, conforme a Figura 2 a seguir:

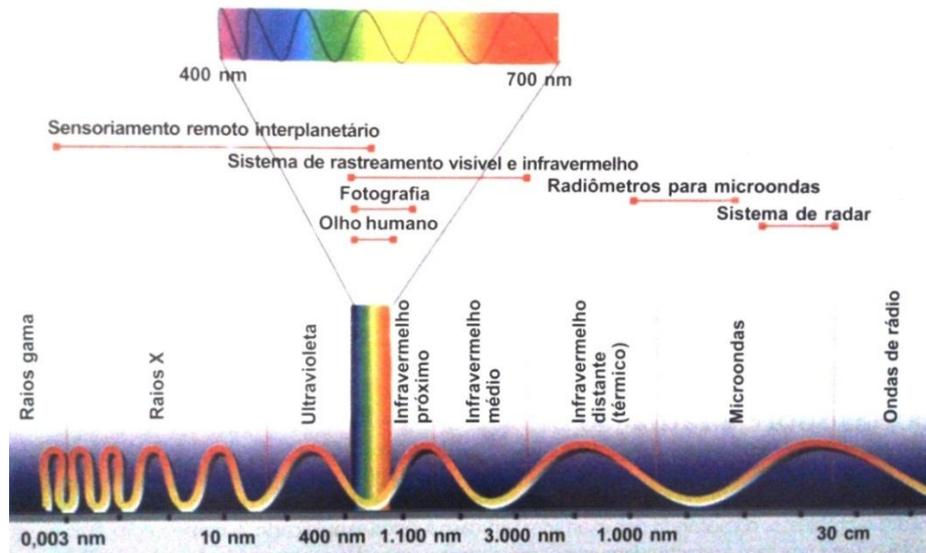


Figura 2. Espectro eletromagnético.

A radiação do visível compreende a faixa espectral entre 400 a 700 nm, visto que a maior parte dessa radiação é absorvida por pigmentos responsáveis pela fotossíntese, chamados de clorofilas “a” e “b” contida no mesófilo foliar. Já a região do infravermelho, constitui-se de radiações nos comprimentos de onda entre 700 nm e 1 mm, e destaca-se por ter absorção quase nula ao passo que sua reflectância e a transmitância são altíssimas, sendo: infravermelho próximo (700 a 1.300 nm), infravermelho médio (1.300 a 2.500) e o infravermelho distante (2.500 a 1 mm) (MOREIRA, 2005).

A maneira como a planta é observada, seja por sensores ou pelo olho humano, é fundamental a interação da energia eletromagnética com a mesma. Logo, a interação da planta com a radiação resulta-se em três frações, sendo a absorptância, reflectância e transmitância. A absorptância constitui-se da porção em que a planta absorve (cerca de 50% da radiação incidente) mediante os pigmentos contidos na folha, e participa na síntese de compostos ricos em energia ocorrendo a fotossíntese, altera estruturas moleculares, acelera reações, ou ainda, a destruição de estruturas de uma molécula. A reflectância, a parte da radiação em que é refletida pela planta principalmente pelas folhas, chamado fenômeno de reflexão. Por fim a transmitância, sendo a porção da radiação que sofre o processo de transmissão, através das camadas das folhas que compõe a copa. Portanto, as quantidades de energias absorvidas, refletidas, ou transmitidas pelas folhas das plantas, podem variar dentre ou entre as espécies (MOREIRA, 2005).

Inquestionavelmente, dentre os componentes resultantes do fracionamento da radiação solar incidente citado anteriormente, é percebida que a de maior importância sob o ponto de vista fisiológico e bioquímico, é a absorção. Porém, para medir esta parte da radiação é

impossível, a não ser mediante inferências baseadas no comportamento das quantidades refletidas e/ou emitidas pela vegetação. Contudo, a parte da energia em que é refletida pela vegetação, ou seja, a reflectância tem sido a mais utilizada para os estudos, porque é nesta faixa do espectro eletromagnético em que há maiores quantidades de sensores orbitais e suborbitais capazes de registrar informações da superfície terrestre (MOREIRA, 2005).

Os principais mecanismos que interferem para mensurar a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas, conforme afirmado por Gates et al, (1965), são os pigmentos, espaços ocupados por água e ar, e estruturas dos grãos compostas de amido, mitocôndrias, ribossomos, núcleo e outros plastídios que contenham dimensões similares ao comprimento de onda da radiação incidente. Gausman (1985) vai além, citando que também existam outros fatores influentes, sendo eles: o conteúdo de água, maturação ou idade da planta, posição nodal, condição de iluminação, pubescência e senescência.

Segundo Knippling (1970), estudando as bases físicas e fisiológicas para reflectância do visível e infravermelho próximo na radiação da vegetação, demonstrou que a água quando enche as cavidades de ar formando um meio líquido na folha, provocam mudanças expressivas na reflectância da folha do feijão a partir de 700 nm, como visto na Figura 03. Na região do infravermelho evidencia-se o mecanismo de reflexão interna das folhas, pois há uma drástica redução da reflectância de uma folha infiltrada por água.

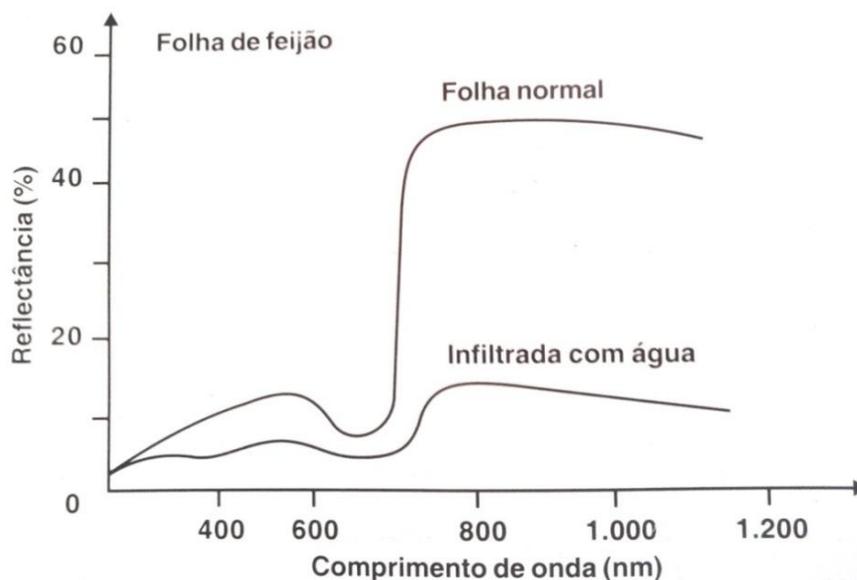


Figura 03. Mudança na reflectância do feijão de acordo com o conteúdo de água foliar.

As observações que se referem apenas a uma folha são indispensáveis para o entendimento do comportamento espectral das diferentes coberturas vegetais, entretanto, este padrão não pode ser generalizado para uma planta ou uma formação vegetal embora sejam semelhantes, devida à atenuação da radiação dos ângulos de incidência da radiação e de visada causada pela arquitetura do dossel (KNIPLING, 1970).

Portanto, entre os fatores que influenciam a resposta espectral dos dosséis vegetativos de culturas agrícolas estão o solo; a estrutura dos dosséis como a densidade de plantio e arquitetura das plantas, ou também chamados de fatores morfológicos; aspectos de geometria, iluminação e de visada de cena (JACKSON e PINTER, 1986; JACKSON et al., 1990; FORMAGGIO et al., 1995), como também os fatores fisiológicos como idade da planta, tipo e espessura das folhas, conteúdo de água e nutrientes nas folhas (BERNARDES, 1987).

De acordo com Castro Junior et al., (2001), fatores externos a folha, em especial disponibilidade de água, pode causar alterações água-ar no mesófilo afetando a reflectância da folha, ou seja, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e com isso dar-se á maior reflectância.

Neste contexto, o comportamento espectral da radiação refletida e/ou emitida está intrínseco a espécie vegetal, variando conforme seu estado fitossanitário, ou de estresse por meio de anomalias, desequilíbrio nutricional ou ambiental, etc. Sendo assim, possível mediante as técnicas de sensoriamento remoto, identificar áreas da mesma espécie que estejam sob as mesmas condições já estudadas.

3.5.2. Índices de vegetação

O sensoriamento remoto e suas aplicações na agricultura têm sido utilizados índices de vegetação em avaliações da reflectância do dossel de culturas, com vistas à detecção de estresses bióticos e abióticos do ambiente, como por exemplo, avaliar o estado nutricional, estimar o crescimento e monitorar as condições da planta, bem como para prever a produtividade das culturas (OSBORNE et al., 2002; ZHAO et al., 2003; MA et al., 2001; ZHAO et al., 2005).

Os índices de vegetação são combinações, entre bandas espectrais, que visam o realce das feições vegetativas minimizando os efeitos do solo, angulares e atmosféricos (EPIPHANIO et al., 1996).

Segundo Ponzoni e Shimabokuro (2007), há vários índices de vegetação com a finalidade de explorar as atividades espectrais da vegetação nas regiões do visível e infravermelho próximo. Entretanto, cabe ressaltar que na premissa da espectrometria óptica os pigmentos de clorofila absorvem mais a radiação no espectro do visível (V) e refletem a radiação no infravermelho próximo (IVP) (MINOLTA, 1989).

Atualmente, existem diversos índices de vegetação aos quais se baseiam nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Dessa maneira, o Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) desenvolvido por Rouse et al., (1974), tem sido comumente utilizado para caracterizar a vegetação relacionada ao seu estado fitossanitário e de produtividade (ROSATTI, 2006).

Richardson e Wiegand (1977) confeccionaram um índice de vegetação chamado PVI (Índice de Vegetação Perpendicular), que representa num plano cartesiano o vermelho (V) vs infravermelho próximo (IVP) a distância perpendicular entre a reflectância de um dossel e a linha do solo. Estudos de Nanni e Demattê (2006), avaliando o comportamento espectral da linha do solo, observaram que cada tipo de solo possui sua “linha de solo” individual e característica, sendo assim, mostrou ser uma ferramenta com potencial à discriminação das classes de solos.

Posteriormente, Huete (1988) observou que a reflectância de um dossel com seus respectivos solos de fundo não são corretamente descritos pelos índices NDVI e PVI. Assim, este autor propôs o índice SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), gerado a partir do NDVI, fazendo um deslocamento da origem do par ordenado V vs IVP para o ponto de encontro da linha do solo com a linha de vegetação.

Segundo Epiphâneo et al. (1996), estudando o melhor índice de vegetação para o feijoeiro em diferentes estádios de desenvolvimento, observou que os índices SAVI e PVI tiveram alta correlação em todas as fases fenológicas estudadas, indicando também alta sensibilidade do PVI ao infravermelho.

De acordo com Huete (1997), o mapeamento da vegetação tornou-se ainda melhor com o advento de seu novo índice chamado EVI, tendo como propósito atenuar os efeitos do solo e da atmosfera a partir do SAVI e do ARVI respectivamente.

Portanto, os critérios para validar um índice de vegetação incluem maximizar a sensibilidade dos parâmetros biofísicos, minimizar o ângulo de elevação solar, ângulo de iluminação e atmosfera, minimizar as variações de fundo, permitir a comparação temporal e espacial das condições do vegetal (HUETE, 1994).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização

O trabalho foi conduzido em ambiente protegido situado na unidade de pesquisa em agricultura irrigada, Centro Técnico em Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), situado na Latitude de 23° 25' ao Sul e Longitude de 51° 57' a Oeste de Greenwich. O experimento foi realizado a partir do dia 13 de Março até o dia 11 de Junho com duração total de 90 dias.

4.2. Preparo da Unidade Experimental

O solo utilizado foi um NITOSSOLO VERMELHO distroférico possuindo em sua composição granulométrica 175 g kg⁻¹ de areia, 90 g kg⁻¹ de silte e 735 g kg⁻¹ de argila. O solo para a construção das parcelas experimentais foi coletado a uma profundidade de 0,20 m e peneirado utilizando uma malha de 0,004 m, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). As parcelas experimentais foram constituídas por vasos de material plástico com volume total de 0,008 m³, possuindo um volume de solo útil de 0,006 m³.

4.3. Adubação

A adubação química para a semeadura foi realizada de acordo com a recomendação técnica para a cultura do feijoeiro (IAPAR, 2003), em que é recomendada a massa de adubo por unidade de área. Para o cálculo da necessidade de adubo foi considerado uma planta por parcela experimental e adotou-se uma densidade de semeadura de 200000 plantas por hectare com espaçamento de 0,5 m entre linhas e de 10 plantas por metro, correspondente à população recomendada para a cultivar IPR Tangará. A análise química do solo realizada em laboratório é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do solo utilizado nas parcelas experimentais.

Variável	Unidade	Quantidade
Fósforo (P)	mg dm ⁻³	4,53
Potássio (K)	cmol _c dm ⁻³	0,27

Cálcio (Ca^{+2})	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	3,83
Magnésio (Mg^{+2})	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	1,23
Hidrogênio + Alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$)	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	3,55
Alumínio (Al^{+3})	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,00
Cobre (Cu)	mg dm^{-3}	13,5
Zinco (Zn)	mg dm^{-3}	2,7
Ferro (Fe)	mg dm^{-3}	35,8
Manganês (Mn)	mg dm^{-3}	59,4
pH em CaCl_2		5,1
pH em H_2O		5,8
K%		3,04
Ca%		43,09
Mg%		13,88
Al%		0,00
H%		39,99

4.4. Semeadura

A semente utilizada neste experimento foi a cultivar IPR Tangará, tendo como características principais ser do grupo carioca, apresentar hábito de crescimento indeterminado, possuir o porte ereto com guias longas (tipo IIB) e ciclo médio de 87 dias da emergência a colheita, com potencial produtivo médio de $3.326 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

As sementes foram tratadas com fungicida Vitavax[®] e inseticida Tiodicarbe[®] 350 SE nas dosagens de 0,3 e 1,5 L/100kg de sementes. A semeadura foi realizada com cinco sementes por parcela, com posterior desbaste aos 15 dias após a semeadura, permanecendo apenas uma planta por parcela.

4.5. Manejo da Água no Solo

Os potenciais limítrofes de água no solo empregados neste trabalho foram associados aos valores correspondentes de umidade do solo com base no modelo apresentado na Equação 1, o qual descreve a curva de retenção de água no solo e foi ajustado por Blainski (2007),

conforme modelo de Ross et al. (1991). O solo da área experimental, conforme descrito, havia sido submetido ao preparo convencional por 3 anos consecutivos. Sendo assim, para a densidade do solo deste experimento ($1,08 \text{ Mg m}^{-3}$), o potencial de -60 hPa corresponde ao valor de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para umidade do solo na capacidade de campo e de $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a umidade no ponto de murcha permanente, adotada como correspondente ao potencial de -15000 hPa . Em relação ao momento adequado de reposição de água foi assumido o valor de $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ correspondente ao potencial de -300 hPa , considerada como a umidade limite.

$$\theta = -0,0257 \text{ Ln}(\psi) + 0,5751 \quad (1)$$
$$R^2 = 0,996$$

A umidade das parcelas experimentais foi monitorada duas vezes ao dia, sendo no início da manhã e no fim da tarde, utilizando-se o aparelho TDR (*Time Domain Reflectometry*) modelo 6050X1 TRASE SYSTEM 1. Em cada tratamento continham 4 parcelas experimentais com sondas artesanais com hastes de $0,20 \text{ m}$ de comprimento fixadas após a realização da saturação com água conforme a metodologia descrita por Trintinalha et al. (2001). As medidas da constante dielétrica aparente (K_a) obtidas diariamente (Figura 4) e a densidade do solo das parcelas foram inseridas no modelo apresentado na Equação 2, proposta por Trintinalha (2005), para obter o valor da umidade do solo. Este valor permitiu realizar a irrigação das parcelas, com auxílio de uma proveta graduada em mililitros.



Figura 4. Leitura da constante dielétrica com aparelho TDR

$$\theta = (0,842538 - 0,725175 * ds) + (-0,049601 + 0,060353 * ds) * ka + (0,001044 - 0,001061 * ds) * Ka^2 \quad (2)$$

Durante o experimento foi monitorada a umidade das parcelas experimentais, as quais eram mantidas próximas à capacidade de campo (CC), porém quando chegada a fase fenológica V4 (28 dias após a semeadura-DAS) a umidade era mantida próxima ao ponto de murcha (PMP). Posteriormente, passado o estágio fenológico retornava-se a irrigação para manter a umidade do solo próxima à CC, até ao final do ciclo. Para as fases fenológicas R6 (41 DAS), R7 (47 DAS), R8 (54 DAS) e R9 (80 DAS) o manejo da água foi realizado desta mesma maneira, consistindo em aplicar o estresse hídrico em apenas uma fase fenológica durante o desenvolvimento da cultura. Para melhor comparação dos resultados, foram considerados dois tratamentos testemunhas, em que um deles permanecia em todo ciclo com a irrigação próxima à CC e outro com a umidade próxima ao PMP em todo o ciclo.

4.6. Tratos Culturais

Durante a execução do experimento foi aplicado inseticida Abamectina[®] na dosagem de 1,8 mL.L⁻¹ contra a incidência de ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*). A inserção de um tutor foi necessária conforme o avanço do ciclo da cultura para o melhor desenvolvimento das plantas.

4.7. Componentes de Produção do Feijoeiro

A análise de produção realizada em cada vaso levou em consideração as seguintes variáveis:

- a) Número de vagens por planta (NVP): determinou-se o número de vagens por vaso mediante contagem;
- b) Número de grãos por planta (NGP): determinou-se a o número de grãos por vaso mediante contagem;
- c) Massa seca da parte aérea (MSPA): o material vegetal da parte aérea da planta foi seco em estufa à temperatura de 70°C até seu peso constante, em seguida medida a massa em balança de 0,01 g de precisão;

- d) Altura de plantas (ALT): foi medida a distância vertical entre a superfície do solo até o último nó da haste principal das plantas conforme descrito por Rubin et al. (2002);
- e) Massa de cem grãos (MCG): foi determinada utilizando-se uma balança de 0,01 g de precisão conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992);
- f) Produtividade (PROD): foi determinada a produção em cada vaso em gramas (g) após o material ter sido seco em estufa à temperatura de 70°C até o peso constante. A correção da produtividade foi realizada para a umidade de 13%, conforme Bezerra (1992) (Equação 3).

$$PC = 100 - U/87 \quad (3)$$

em que:

PC - produtividade corrigida para a umidade de 13%, em kg ha⁻¹;

P - produtividade avaliada após a colheita, em kg ha⁻¹;

U - teor de água dos grãos, determinado após a avaliação de P, em %.

4.8. Aquisição de Imagens Espectrais

A aquisição das imagens e sua transformação para reflectância (ρ) foi realizada conforme a metodologia proposta por Gasparotto (2014) mediante o uso de uma câmera fotográfica digital Fujifilm IS Pro[®] 5 UVIR (12.1 megapixels), a qual não possui filtro interno bloqueador da luz infravermelha. A câmera constitui-se de um sensor Super CCD SR PRO (16 bits) (Figura 5) com sensibilidade para captar a luz da radiação ultravioleta (UV) ao infravermelho (IV) do espectro (380nm - 1000nm), tendo assim uma gama muito maior de captação dos comprimentos de onda que as câmeras digitais convencionais. Este sensor possui os pixels “S” com sensibilidade normal, captando a mesma gama de luz como um *photosite* CCD convencional, porém os pixels “R” presentes são ainda menores, projetado para capturar detalhes acima do ponto de saturação do pixel “S”. As informações do “S” e “R” pixels são combinadas para produzir uma gama dinâmica alargada, bem como evitar a perda de detalhes devido ao excesso de exposição (JOINSON et al., 2007).



Figura 5. Câmera Fujifilm IS PRO e seu esquema do sensor super CCD SR PRO. Fonte: JOINSON, et al., 2007.

Para a captura das imagens em infravermelho foi utilizado o filtro de 720nm que permitiu o registro de imagens a partir da reflectância dos alvos numa faixa espectral acima de 720 nm. A eficiência deste filtro foi estudada por Gasparotto (2014), realizando leituras espectrais em placa de espectralon por meio do espectrorradiômetro, conforme a Figura 6.

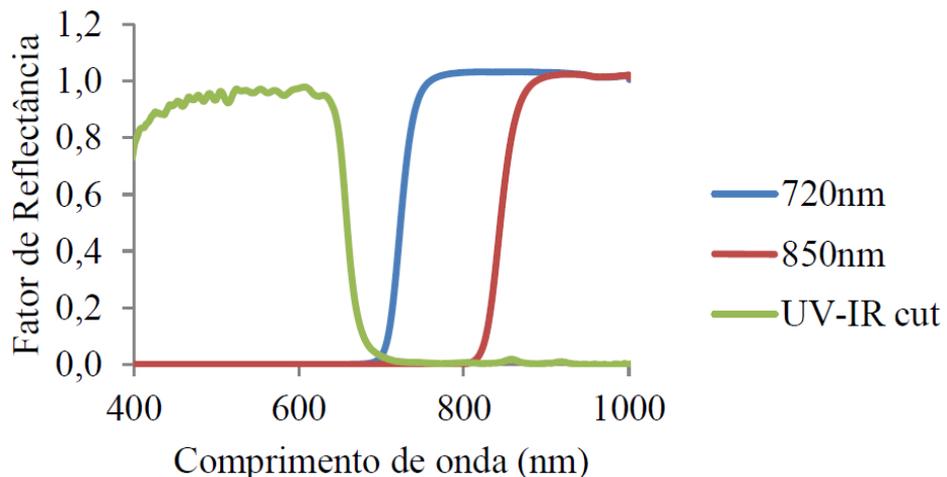


Figura 6. Curvas espectrais a partir da reflectância da placa padrão de espectralon com a presença dos filtros para infravermelho nos comprimentos de 720 e 850 nm e para o visível UV-IR cut. (Fonte: Gasparotto, 2004).

O balanço de branco (WB) foi realizado para que houvesse padronização na qualidade das imagens de acordo com a luminosidade presente ao ambiente, sendo assim personalizado e pré-definido para cada filtro utilizado e também juntamente ao uso do índice de sensibilidade ISO 100 garantido menos ruído à imagem (MONTANARI, 2011).

Para fins de cálculos dos índices de vegetação, foram capturadas imagens na luz visível com as bandas vermelha e verde (filtro UV-IR cut) de forma a impedir o registro dos comprimentos de ondas menores que 350nm e maiores que 700nm.

Portanto, todos os registros fotográficos foram realizados com dois filtros (IR 720nm e UV-IR cut) em todos os tratamentos com suas respectivas fases fenológicas estudadas. O equipamento foi montado sempre no mesmo local entre 12:00 às 14:00 horas para fins de padronização de iluminação solar, e utilizando-se um tripé com distância de 0,5 m da planta com inclinação de 45° (Figura 7), os quais foram escolhidas e adaptadas de acordo com Souza et al. (2009) e Crimmins et al. (2008).



Figura 7. Equipamento utilizado para captura das imagens em infravermelho.

4.9. Cálculos de Índices de Vegetação

Um dos primeiros aspectos a serem considerados no mapeamento remotamente das plantas é o fato de que sua fenologia é um processo progressivo. Portanto, a análise de cultivo do feijão envolve o uso de uma série-temporal de imagens da câmera digital. Para tanto, foram utilizados e analisados os valores de EVI (*Enhanced Vegetation Index*, Equação 4) (Huete, 1997).

$$EVI = g \cdot \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + (c_1 \cdot \rho_V) - (c_2 \cdot \rho_A) + 1} \quad (4)$$

sendo: ρ_{IVP} , ρ_V e ρ_A - reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente;

g - fator de ganho (2,5);

c_1 e c_2 são os coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho ($c_1 = 6$) e azul ($c_2 = 7,5$);

l - fator de correção para interferência do solo.

O EVI é um índice que foi desenvolvido para atenuar os efeitos do solo (ajustado pelo SAVI) e da atmosfera (ajustado pelo ARVI) no mapeamento de vegetação. Além do EVI, foi utilizado o NDVI (Equação 5).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (5)$$

em que: ρ_{IVP} e ρ_V - reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

O CTVI, elaborado por Perry e Lautenschlager (1984), foi calculado por meio da fórmula expressa na Equação 6. Para o índice GNDVI proposto por Gitelson et al. (1996) foi calculado pela Equação 7.

$$CTVI = \frac{NDVI + 0,5}{\sqrt{|NDVI + 0,5| \cdot \sqrt{|NDVI + 0,5|}}} \quad (6)$$

$$GNDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{verde}}{\rho_{IVP} + \rho_{verde}} \quad (7)$$

em que: NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), ρ_{IVP} e ρ_{verde} - reflectâncias na faixa espectral do infravermelho próximo e do verde, respectivamente.

Os valores dos índices podem variar entre -1 e 1, o que possibilitará verificar grandes diferenças positivas entre o máximo e o mínimo, em que será observado ao longo dos estádios fenológicos. Altos valores indicam que o *pixel* apresenta quantidade expressiva de vegetação.

Todos os processos referentes aos índices de vegetação e transformação de níveis de cinza para reflectância foram executados na plataforma IDRISI Selva, desenvolvido pela *Graduate School of Geography* da Universidade de Clark. A plataforma apresenta recursos

para gerenciamento ambiental de recursos naturais. Para o módulo de índices de vegetação foi utilizado o *plugin VegIndex* e para os demais cálculos fez-se o uso do *MacroModeler*, uma calculadora por meio de fluxograma.

4.10. Tratamentos e Delineamento Estatístico

Adotou-se o delineamento inteiramente ao acaso, dispondo-se de 7 tratamentos com 8 repetições, totalizando 56 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em T1: estresse hídrico no estádio V4; T2: estresse hídrico no estádio R6; T3: estresse hídrico no estádio R7; T4: estresse hídrico no estádio R8; T5: estresse hídrico no estádio R9; T6: sem estresse em todo ciclo; T7: com estresse em todo ciclo.

Para a análise estatística das variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) foi realizada a análise de variância e comparação de médias pelo teste de t (LSD) com nível de 5% de significância, mediante o programa computacional SISVAR[®]. Da mesma maneira, foi realizada para a comparação entre os manejos de água no solo (com e sem estresse hídrico nos estádios fenológicos) dentre os índices de vegetação utilizados.

Na comparação entre os índices de vegetação e as condições hídricas com e sem estresse ao longo do ciclo, e estresse em um estádio fenológico ao longo do ciclo foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk para verificar se os dados possuem distribuição normal e de Hartley que verifica a homogeneidade de variâncias. Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de regressão a 0,05 de significância pelo teste F. Foi utilizado o software SISVAR[®] para o ajuste de modelos lineares de primeiro e segundo grau.

Quando o teste F não foi significativo para a regressão no modelo linear de primeiro grau, procedeu-se o ajuste de um modelo linear de segundo grau. A escolha dos modelos foi feita com base no critério de não significância do teste F para falta de ajustamento, significância do teste F para regressão e significância do teste t das estimativas dos coeficientes de regressão, todas ao nível de 5% de probabilidade. No caso das regressões de primeiro e segundo grau serem significativas, utilizou-se a de maior grau. O coeficiente de determinação R^2 foi determinado pelo quociente entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados de tratamentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO FEIJÃO EM CONDIÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO

A análise estatística dos dados obtidos para o manejo da água nos diferentes estádios fenológicos do feijoeiro para a cultivar IPR Tangará é apresentada na Tabela 3.

Os resultados deste experimento revelaram significância para a maioria das variáveis analisadas, sendo elas: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT) e produtividade (PROD).

Contudo, não houve diferença significativa para a variável massa de cem grãos (MCG), resultado este também obtido por Bezerra et al. (2003) que estudaram o déficit hídrico em diferentes fases fenológicas do feijão Caupi e também por Ferreira et al. (1992), que testaram cinco cultivares de feijão Caupi submetidas a cinco níveis de irrigação e não encontraram alterações significativas na massa de cem grãos relacionada ao estresse hídrico.

De acordo com Ramalho et al. (1993), dentre os caracteres de produção avaliados no feijoeiro, a massa de cem grãos é possivelmente um caráter de herança qualitativa, pouco influenciado pelo ambiente e controlado por poucos genes.

Tabela 3. Significância para as variáveis: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) da cultivar IPR Tangará, obtidas no experimento.

FV	GL	NVP	NGP	MSPA (g)	ALT (cm)	MCG (g)	PROD (Kg.ha ⁻¹)
Tratamentos	6	*	*	*	*	ns	*
Resíduo	49	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	-	14,8	14,27	10,54	7,68	8,08	15,58
Média Geral	-	14,52	88,43	44,57	138,55	31,26	2748,67

* e ^{ns}: Significativo e não significativo respectivamente, à 5% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4, são apresentadas as médias das variáveis avaliadas nos diferentes tratamentos, as quais foram comparadas entre si pelo teste “t”, com nível de significância de 5%.

O tratamento 6 resultou em maiores valores para as variáveis analisadas devido a ausência de déficit hídrico durante o ciclo do feijoeiro. Entretanto, o tratamento 7 (supressão

hídrica em todo ciclo) resultou em baixos valores para a maioria das variáveis em questão como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de plantas (ALT), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) nos diferentes tratamentos (T).

T	NVP	NGP	MSPA (g)	ALT (cm)	MCG (g)	PROD (Kg ha ⁻¹)
1	15,75 b	95,62 b	45,14 bc	143,62 ab	31,05 a	2962,55 b
2	12,87 c	78,87 c	39,76 d	131,50 cd	30,99 a	2436,85 c
3	13,37 c	80,50 c	38,17 d	128,12 d	30,56 a	2419,10 c
4	13,87 bc	80,00 c	42,19 cd	139,62 bc	30,84 a	2466,20 c
5	15,75 b	95,75 b	48,52 b	147,50 ab	31,44 a	2991,00 b
6	18,12 a	112,75 a	59,25 a	152,87 a	32,46 a	3530,75 a
7	11,87 c	75,50 c	38,96 d	126,62 d	30,32 a	2434,25 c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. T1: Estresse hídrico no estádio V4, T2: Estresse hídrico no estádio R6, T3: Estresse hídrico no estádio R7, T4: Estresse hídrico no estádio R8, T5: Estresse hídrico no estádio R9, T6: Sem estresse, T7: Com estresse.

Os tratamentos 2, 3 e 4 foram estatisticamente iguais entre si para as variáveis NVP, NGP e MSPA sendo notório o efeito irreversível do estresse hídrico aplicado nos estádios da floração, formação de vagens e enchimento de grãos, mesmo com a irrigação próxima a capacidade de campo realizada antes e depois destes estádios. Com isso, houve uma consequente influência na variável PROD (kg ha⁻¹) para estes tratamentos, tendo assim os mesmos resultados obtidos pelo tratamento 7, como observado na Tabela 4.

O efeito direto da resistência estomática à difusão de vapor de água de plantas de feijoeiro submetidas à deficiência hídrica ocorre a diminuição da fotossíntese e consequente fechamento estomático ocasionado pelo déficit hídrico, tornando escassa a disponibilidade de fotossintatos para o enchimento das vagens (BERGAMASCHI et al., 1988).

A fotossíntese desempenha importante papel na produção de uma cultura (WULLSCHLEGER & OOSTERHUIS, 1990), pois o rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (CRAFTS-BRANDNER & PONELEIT, 1992).

O déficit hídrico pode afetar a utilização de carboidratos em virtude da eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes mais novas na planta (JORDAN, 1983).

O estresse ocorrido nos tratamentos 1 e 5 obtiveram resultados estatisticamente iguais entre si, fato ocorrido por ter sido nas fases V4 e R9, ou seja, na fase inicial e final do desenvolvimento da cultura, consistindo em decréscimo dos valores para as variáveis NVP,

NGP, MSPA, ALT e PROD, obtendo assim a segunda maior produtividade. Conforme Costa et al. (1996), as reduções da parte aérea das plantas associadas ao estresse hídrico afeta vários processos fisiológicos relacionados com a assimilação do nitrato e fixação simbiótica de nitrogênio nas leguminosas. Esta alteração dos processos fisiológicos reflete no decréscimo da produtividade de grãos ou sementes.

Na Figura 8, pode ser observado que o número de vagens por planta foi maior para o tratamento 6 (sem supressão hídrica em todo ciclo), diferindo e superando todos os demais, com valor médio de 18,12 vagens por planta e o menor valor foi observado para os tratamentos 2, 3, 4 e 7 (supressão hídrica na floração, formação de vagem e supressão em todo ciclo). Resultados semelhantes foram obtidos por Françóis (2012), que estudou as relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária. Este autor observou que para a máxima e a mínima reposição de água, obteve-se aproximadamente 19 e 11 vagens por planta.

Oliveira et al. (2008), estudaram os níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, cv. Capixaba precoce) observaram que para a máxima irrigação obteve-se o maior número de vagens por planta com aproximadamente 20, e obteve-se o menor número, em torno de 10, para a menor irrigação.

Estes resultados são característicos da supressão hídrica durante os estádios de floração, início da formação de vagens e a fase de enchimento dos grãos do feijoeiro, o que é semelhante ao observado por vários pesquisadores como Shouse et al. (1981), Ferreira et al. (1991), Fiegenbaum et al. (1991), Brito (1993), Amorim Neto et al. (1995), Guimarães et al. (1996) e Andrade et al. (1999).

Desta maneira, o déficit hídrico quando ocorrido na fase reprodutiva demonstrou possuir os mesmos efeitos negativos de plantas irrigadas na condição hídrica do solo próximo ao ponto de murcha.

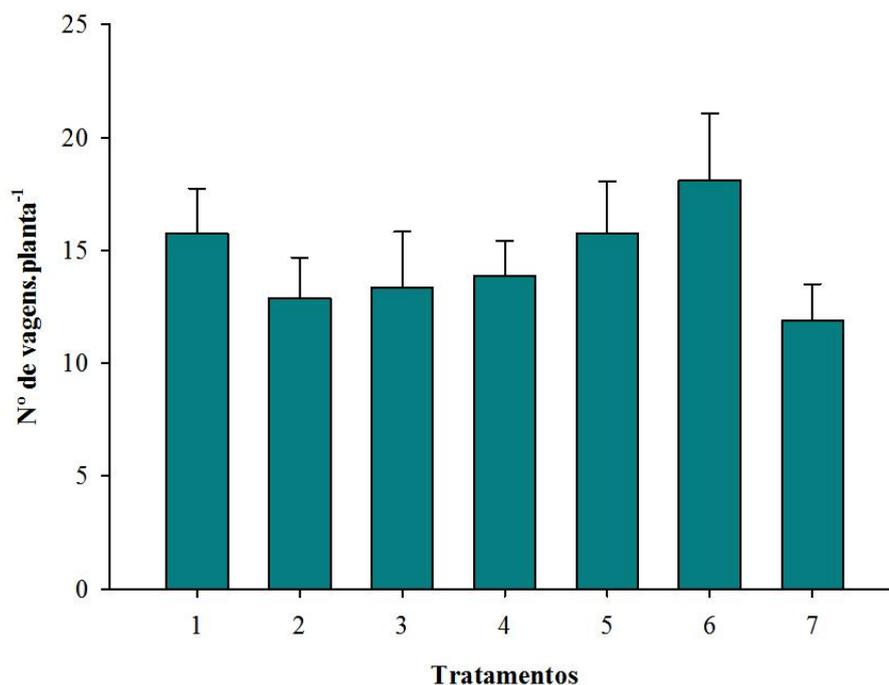


Figura 8. Número de vagens por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.

O número de grãos por planta (NGP), mostrado na Figura 9, apresentou diferenças que foram estatisticamente significativas, dentre tratamentos empregados. Para os tratamentos 2, 3, 4 e 7 esta variável foi afetada de forma negativa, apresentando os menores valores em relação aos demais tratamentos. Foi observado que os tratamentos 1 e 5 com supressão hídrica nas fases V4 e de maturação, foram estatisticamente iguais, apresentando um decréscimo em torno de 15% em relação ao maior valor, observado no tratamento 6.

Conforme os resultados obtidos, é notória a relação direta entre o número de grãos por planta e a produtividade dos grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), sendo que havendo maior ou menor valor de uma das variáveis, ambas serão influenciadas proporcionalmente.

A produção de grãos obtida por Miorini (2012) permitiu verificar que a fase da floração foi a mais afetada em relação ao déficit hídrico aplicado em apenas uma fase fenológica no feijoeiro. Entretanto, para este experimento, foi observado que a imposição de déficit hídrico em todas as fases reprodutivas (floração, formação de vagens e enchimento de grãos) promoveu a redução dos valores de produção, os quais foram estatisticamente iguais.

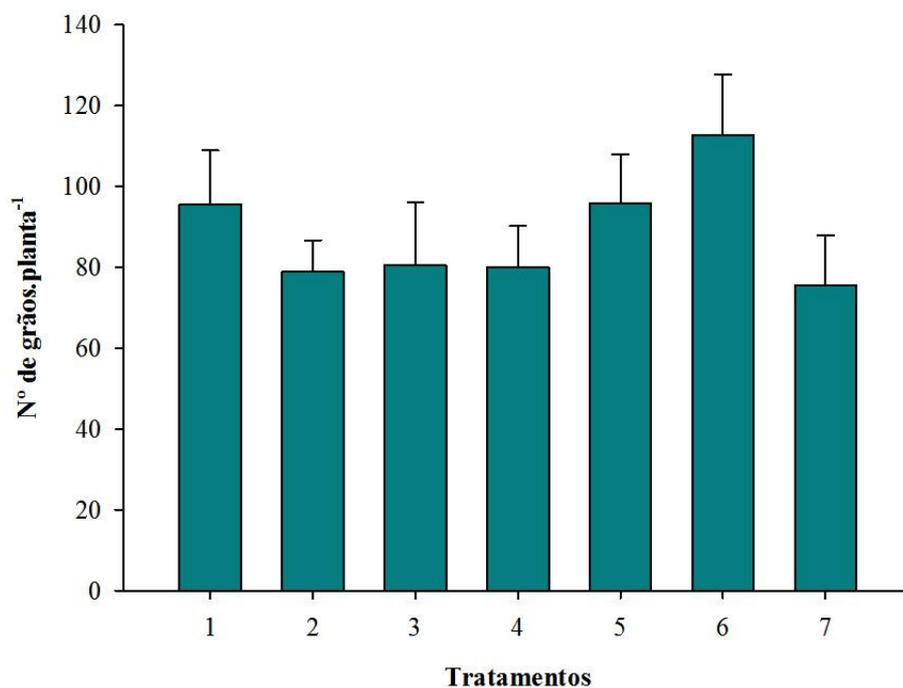


Figura 9. Número de grãos por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.

A massa seca da parte aérea (MSPA), mostrada na Figura 10, demonstra que o tratamento 5 deu origem ao segundo maior valor de massa seca da parte aérea. Possivelmente isto se deve ao fato da supressão hídrica ter ocorrido ao término do ciclo cultural do feijoeiro, em que mais de 50% das plantas apresentavam modificação da cor verde para o amarelo em toda planta.

Os tratamentos 2, 3 e 4 demonstraram menor rendimento para a variável em questão, pois a supressão hídrica ocorreu em estádios fenológicos em que a demanda de água é primordial à manutenção do turgor da planta, havendo decréscimos de massa seca da parte aérea da ordem de 19 miligramas em relação ao tratamento 6. Este baixo rendimento também foi observado para o tratamento 7, no qual a supressão hídrica foi mantida em todo ciclo.

Resultado semelhante foi obtido por Oliveira et al. (2008), em que a diferença da massa seca da parte aérea para a fase de floração foi da ordem de 15 miligramas em relação ao volume total de poros do solo ocupados com 60% e 20% de água. Moreira (1993) também verificou reduções significativas na matéria seca aérea total à medida que o nível de água no solo é diminuído.

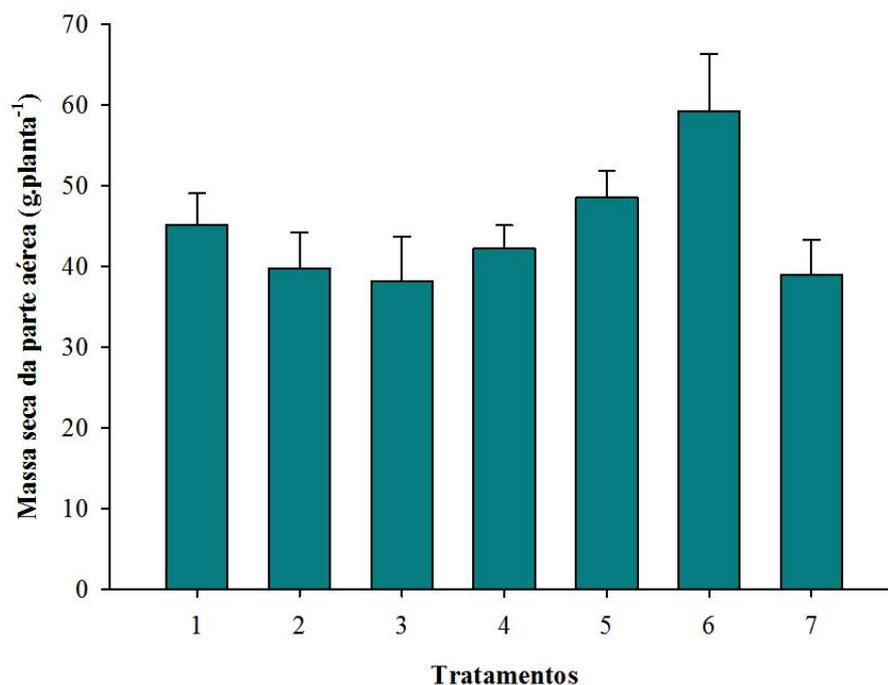


Figura 10. Massa seca da parte aérea em gramas por planta nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.

A altura de plantas (ALT), mostrada na Figura 11, obteve seu maior valor no tratamento 6 (sem supressão de irrigação), diferindo e superando os demais tratamentos, entretanto a menor foi para os tratamentos 3 e 7 (formação de vagem e supressão hídrica em todo ciclo). De maneira contrária a este experimento Françóis (2012) obteve crescimento elevado de plantas de feijoeiro que passaram a receber de 25 para 100% da irrigação aos 54, 67 e 80 dias após a emergência com alturas ao final do experimento de 125, 108 e 98 cm respectivamente, confrontando com este experimento, pois as fases reprodutivas nas quais foram aplicadas supressão hídrica resultaram em menor crescimento.

O crescimento do feijoeiro ultrapassou o patamar de 100 cm de altura, devido a presença do tutor na planta, e também pela cultivar possuir o crescimento vegetativo indeterminado da haste principal. De acordo com Freire Filho et al. (2005), plantas de crescimento indeterminado apresentam crescimento contínuo, numa sucessão de nós e entrenós, mesmo ao final do ciclo até que haja água disponível.

De acordo com Lecoer & Sinclair (1996), o déficit hídrico ocorre de forma demasiada em várias culturas, resultando em impacto negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

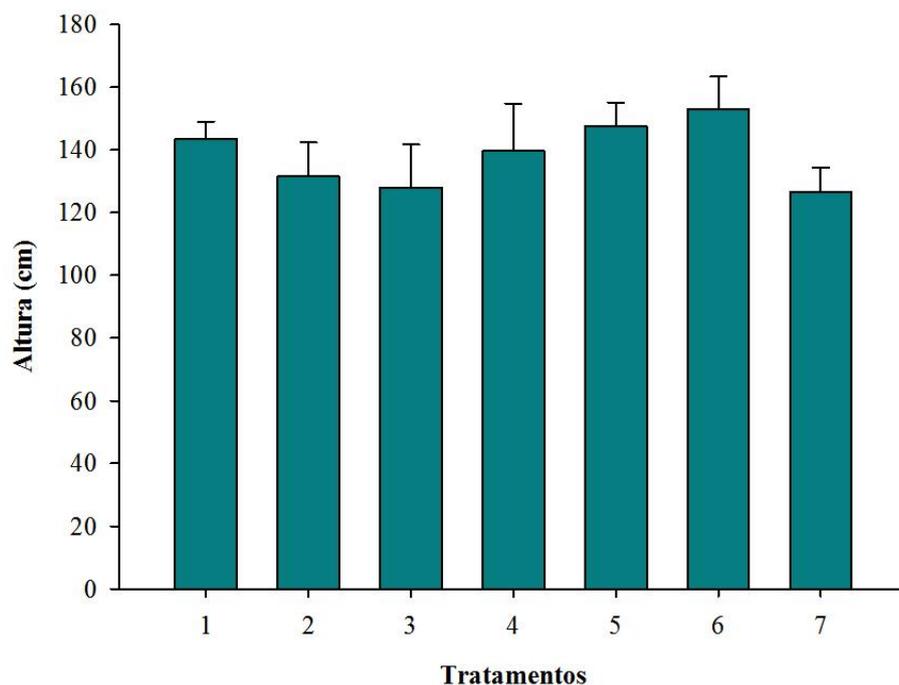


Figura 11. Altura de plantas nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.

A produtividade (PROD), mostrada na Figura 12, teve destaque para o tratamento 6 (sem supressão hídrica em todo ciclo), chegando a $3530,75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Todavia, este rendimento corrobora com Silva et al. (2006), onde produtividades acima de 3000 kg ha^{-1} podem ser alcançadas em lavouras irrigadas e com alto nível tecnológico.

Os tratamentos 2, 3, 4 e 7, nos quais a supressão hídrica foi aplicada durante as fases reprodutivas e supressão em todo ciclo, tiveram uma queda média de 31% em relação ao tratamento 6 na produtividade de grãos. Evidencia-se o fato de que as fases de floração, formação de vagem e enchimento de grãos são sensíveis ao déficit hídrico. Guimarães (1988) relata que a planta do feijoeiro é sensível ao déficit hídrico, isto se deve provavelmente à sua baixa capacidade de recuperação à seca e também pelo seu sistema radicular ser pouco desenvolvido.

Os tratamentos 1 e 5 (fases vegetativa e maturação) não diferiram entre si estatisticamente, havendo perdas médias de produtividade de 15,5% em relação ao tratamento 6 sem supressão hídrica. Conforme Silveira & Stone (1994), a deficiência hídrica em qualquer estágio fenológico do feijoeiro pode afetar negativamente o rendimento em diferentes proporções.

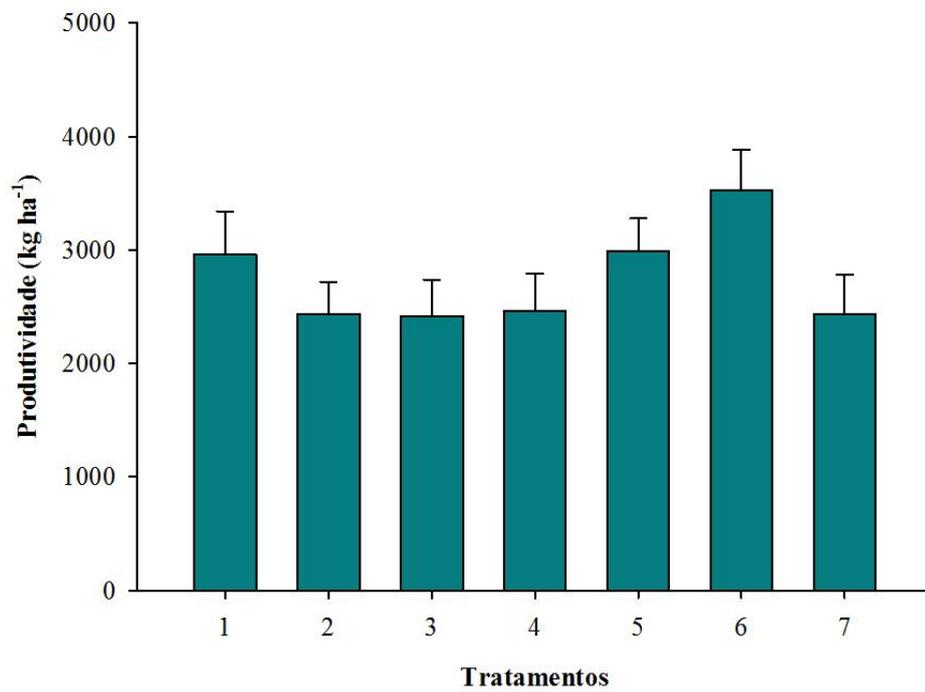


Figura 12. Produtividade nos diferentes tratamentos. Barras verticais mostram o desvio padrão das médias de 8 repetições.

5.2. IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS COM E SEM ESTRESSE EM CADA ESTÁDIO FENOLÓGICO DO FEIJOEIRO

Para realizar a identificação da condição hídrica com estresse e sem estresse de maneira específica em cada estágio fenológico na cultura do feijão, foram utilizadas imagens fotográficas digitais. Com isso, foram processadas utilizando os índices de vegetação CTVI, NDVI, EVI e GNDVI.

Na Tabela 5, são apresentadas as diferenças estatísticas entre as médias das condições com estresse (CE) e sem estresse (SE) hídrico nos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 utilizando os índices de vegetação.

De maneira geral, a maioria dos índices de vegetação mostraram-se eficientes para a detecção de plantas nas condições hídricas CE e SE em cada estágio fenológico, ou seja, os valores foram menores à medida que foi diminuída a oferta de água. Os índices de vegetação que demonstraram diferença estatística para as duas condições nos estádios fenológicos tiveram nível de significância a 1% de probabilidade pelo test t.

É possível observar que a condição CE apresentou menores valores em relação a SE para todos os estádios fenológicos. Este fenômeno conforme Jensen (2009), afirma que as plantas saudáveis refletem na banda do infravermelho próximo e possuem o mesófilo esponjoso composto por muitas células e espaços de ar intracelular, fazendo com que a folha reflita cerca de 60 % do infravermelho e o restante dos 40% dessa energia é transmitida para as folhas abaixo.

Portanto, quanto maior o número de camadas de folhas num dossel maduro e sadio maior a refletância no infravermelho próximo. Com isso, a ordem de grandeza do infravermelho próximo num dossel com folhas esparsas é menor, porque a energia que é transmitida através das camadas das folhas pode ser absorvida pela cobertura do solo. Este fato corrobora ao ocorrido neste trabalho, onde foi realizado experimento em vasos no qual foram espaçados uns dos outros (JENSEN, 2009).

Dentre os índices utilizados, o CTVI apresentou diferenças estatísticas nas condições CE e SE para a maioria dos estádios fenológicos possuindo um cv médio de 4,34, classificado como baixo. Entretanto, mesmo por conter o menor coeficiente de variação perante os demais índices estudados, observa-se que não houve diferença estatística nos estádios fenológicos R7 e R8.

Na Tabela 5, os índices NDVI, EVI e GNDVI detectaram para todos os estádios fenológicos a presença e ausência do estresse hídrico na cultura. Porém, o EVI apresentou alto

coeficiente de variação (CV) em torno de 23,2%, o NDVI com 15,6% classificado como médio e o GNDVI com 11,8% considerado como médio-baixo, conforme classificação proposta por Gomes (1985).

Dessa maneira, o GNDVI demonstrou ser o índice com maior precisão para a detecção das condições hídricas com estresse e sem estresse na cultura do feijão em todos os estádios fenológicos estudados. Este índice além de utilizar a banda do infravermelho próximo, é acrescido em seu cálculo a banda verde em que as plantas não possuem eficiência significativa dentre o espectro visível para realização da fotossíntese.

Tabela 5. Índices de vegetação CTVI, NDVI, EVI e GNDVI para as condições de manejo da água no solo com estresse (C.E.) e sem estresse (S.E.) nos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 do feijoeiro, cultivar IPR Tangará.

Tratamento		CTVI	NDVI	EVI	GNDVI
V4	C.E.	0,88000 a	0,32875 a	0,06750 a	0,22875 a
	S.E.	0,93500 b	0,63250 b	0,16375 b	0,37750 b
CV (%)		3,25	16,57	18,69	11,64
R6	C.E.	0,80125 a	0,60875 a	0,07053 a	0,20875 a
	S.E.	0,95375 b	0,74250 b	0,15272 b	0,25750 b
CV (%)		5,74	9,08	29,66	11,37
R7	C.E.	0,94250 a	0,67750 a	0,05750 a	0,21125 a
	S.E.	0,95000 a	0,80375 b	0,12000 b	0,28375 b
CV (%)		3,89	8,88	21,61	15,60
R8	C.E.	0,93625 a	0,54875 a	0,08125 a	0,24750 a
	S.E.	0,97250 a	0,76750 b	0,16625 b	0,29625 b
CV (%)		5,32	17,61	15,98	8,98
R9	C.E.	0,87000 a	0,48750 a	0,02350 a	0,21250 a
	S.E.	0,97500 b	0,61875 b	0,08750 b	0,28000 b
CV (%)		3,52	25,99	30,44	11,45

Letras minúscula iguais na mesma coluna diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

5.3. IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS COM E SEM ESTRESSE NOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS AO LONGO DO CICLO DO FEJJOEIRO

Com intuito de estudar a detecção da condição hídrica com estresse (CE) e sem estresse (SE) em todas as fases fenológicas estudadas no ciclo desenvolvimento da cultura, foi realizado análise de variância da regressão utilizando os índices CTVI, NDVI, EVI e GNDVI.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados da análise de variância da regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) em todos os estádios fenológicos estudados mediante os índices de vegetação.

Analisando a Tabela 6, somente o NDVI não apresentou normalidade invalidando a análise de variância, sendo que os demais apresentaram normalidade e homogeneidade de variância. Todas as faltas de ajuste foram não significativas validando as regressões encontradas. Porém, apenas para o índice de vegetação EVI (transformado para arco seno) houve regressão significativa com o CV de 18,44 %.

O fato do índice EVI ser o único significativo, se deve provavelmente por utilizar em sua base de cálculo a banda do azul, eliminando de maneira considerável o solo e evidenciando apenas onde há a planta de feijoeiro, como mostrado na Figura 13.

Na Figura 13, observa-se que a regressão teve um comportamento quadrático com coeficiente de determinação de 0,84, indicando uma forte correlação entre o índice EVI e os estádios fenológicos da cultura do feijão. Nota-se que há um alto índice de vegetação no estágio fenológico R8 devido ao máximo crescimento da planta e alto aporte de folhas. Porém, no estágio R9 ocorre uma queda no valor do índice explicado pela rápida queda de folhas em função do estresse hídrico.

Tabela 6. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição com estresse (C.E.) em todos os estádios fenológicos estudados e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk W _{calc}	Hartley F _{calc}	Falta de Ajuste F _{calc}	R. L. F _{calc}	R.Q. F _{calc}	C.V. %
CTVI	0,948 ^{ns}	5,779 ^{ns}	8,99 ^{ns}	4,024 ^{ns}	3,261 ^{ns}	5,79
EVI	0,951 ^{ns}	4,496 ^{ns}	7,409 ^{ns}	16,126 [*]	12,508 [*]	18,44
GNDVI	0,967 ^{ns}	2,867 ^{ns}	1,161 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,006 ^{ns}	16,45
NDVI	0,944 [*]	9,291 ^{ns}	-	-	-	-

*significativo (p<0,05) pelo teste t; ^{ns} não significativo

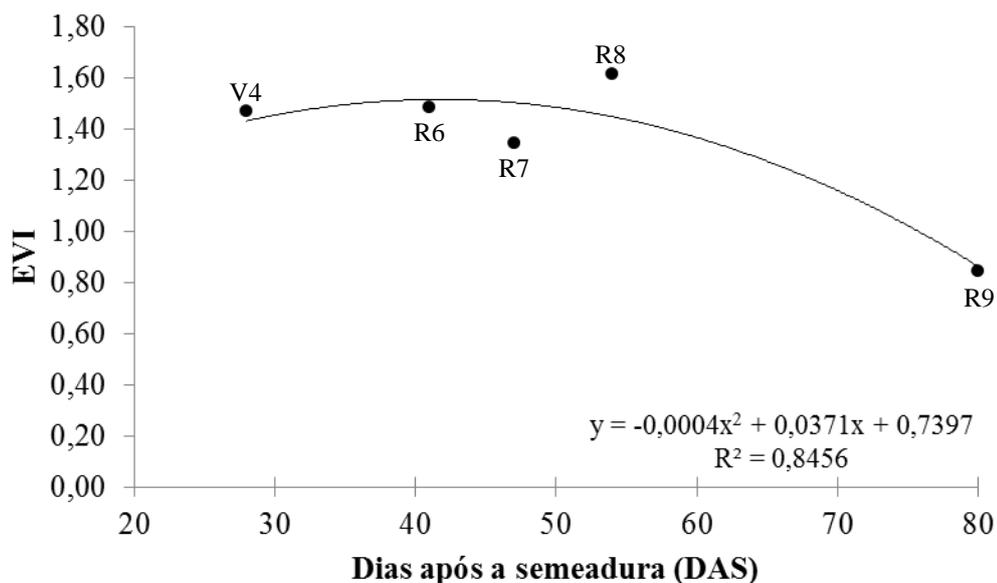


Figura 13. Valores de EVI médios em função do estresse hídrico nos 28, 41, 47, 54 e 80 DAS nos respectivos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 da cultura do feijão

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da análise de variância da regressão para a detecção da condição hídrica sem estresse (SE) em todos os estádios fenológicos estudados mediante os índices de vegetação CTVI, NDVI, EVI, GNDVI.

Dentre todos os índices, o NDVI foi o único que houve normalidade e homogeneidade de variância, obtendo significância para regressão quadrática com coeficiente de variação de 12,74 %, como mostrado na Tabela 7.

O coeficiente de determinação demonstrado na equação da Figura 14 possui uma forte correlação entre os valores do NDVI e os estádios fenológicos do feijoeiro com R^2 de 0,95. É possível observar que ocorre aumento dos valores do NDVI à medida que a planta se desenvolveu nos estádios fenológicos.

De acordo com Jensen (2009), a reflectância no infravermelho próximo é aumentada conforme o desenvolvimento das plantas, pois as plantas cada vez mais aumentam sua biomassa em função do aumento de fotossíntese.

O comportamento do NDVI ao longo dos estádios estudados são semelhantes ao encontrado por Neiverth et al. (2013), onde houve maiores valores do índice para o estágio de formação e enchimento de vagens na cultura da soja cultivado em casa de vegetação. A maior biomassa resulta em aumento da taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior absorção de CO₂ atmosférico (BELTRÃO et al., 2007). De acordo com Liu et al. (2012), o teor de clorofila na planta é o fator de maior influência no NDVI.

Em virtude da ausência de estresse hídrico até o final do ciclo da cultura, o baixo valor do índice de vegetação no estágio R9 em relação aos demais foi semelhante ao estágio V4. Pois, mesmo ao fim do ciclo com a presença de folhas amareladas e redução da área fotossinteticamente ativa e a presença vagens maduras, houve folhas verdes com alto turgor celular devido a cultivar ter hábito de crescimento indeterminado (Figura 14).

Este fato é contrário ao ocorrido na condição CE em todos os estádios, onde no R9 a maioria das folhas entrou em senescência e se desprenderam da planta em virtude do estresse (Figura 13).

Portanto, nota-se que foi possível mediante uso do índice EVI e NDVI para identificar plantas de feijão nas condições com estresse (CE) e sem estresse hídrico (SE) em todos os estádios fenológicos estudados (V4, R6, R7, R8 e R9) no ciclo de desenvolvimento da cultura.

Tabela 7. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição sem estresse (S.E.) em todos os estádios fenológicos estudados e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk W _{calc}	Hartley F _{calc}	Falta de Ajuste F _{calc}	R. L. F _{calc}	R.Q. F _{calc}	C.V. %
CTVI	0,935 *	5,910 ^{ns}	-	-	-	-
EVI	0,408 *	118,62 *	-	-	-	-
GNDVI	0,965 ^{ns}	15,845 *	-	-	-	-
NDVI	0,980 ^{ns}	6,023 ^{ns}	19,776 ^{ns}	0,143 ^{ns}	4,434 *	12,74

*significativo (p<0,05) pelo teste t; ^{ns} não significativo

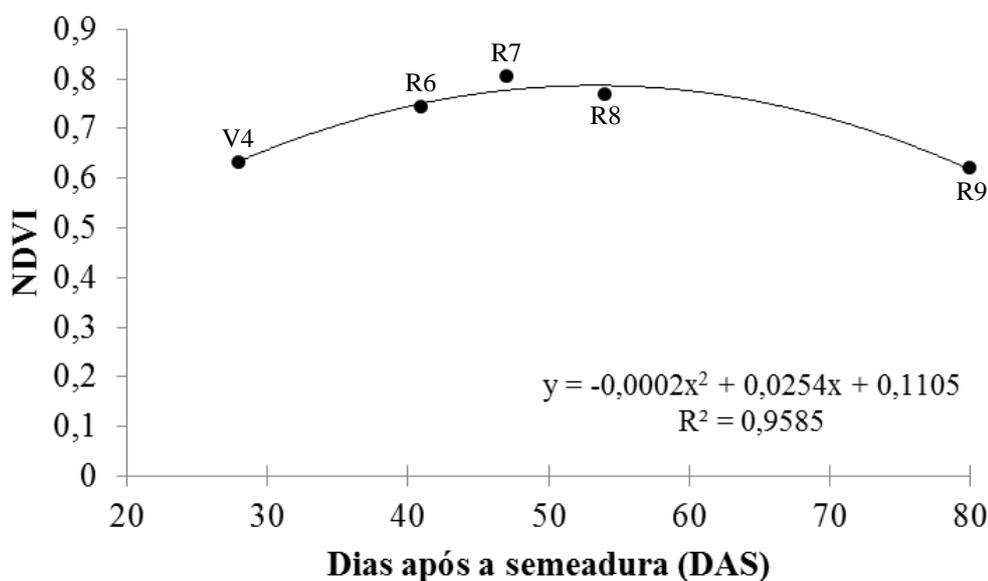


Figura 14. Valores de NDVI médios em função da ausência de estresse hídrico nos 28, 41, 47, 54 e 80 DAS nos respectivos estádios fenológicos V4, R6, R7, R8 e R9 da cultura do feijão

5.4. IDENTIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO EM APENAS UM ESTÁDIO FENOLÓGICO AO LONGO DO CICLO DO FEIJOEIRO

Com a finalidade de estudar a detecção da condição hídrica com estresse (CE) em um estágio fenológico perante os demais estádios estudados no ciclo de desenvolvimento da cultura, foi realizada análise de variância (ANOVA) da regressão utilizando os índices CTVI, NDVI, EVI e GNDVI.

O índice NDVI foi o único que apresentou normalidade, homogeneidade de variância e significância para detectar o estresse hídrico em apenas um estágio fenológico perante os estádios estudados no ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão. Este fato pode ser observado nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12.

Na Tabela 8, são apresentados os resultados da ANOVA regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) apenas no estágio fenológico V4.

O índice NDVI foi significativo para regressão quadrática obtendo normalidade e homogeneidade de variâncias consideradas válidas possuindo um CV de 14,85. Os demais índices foram significativos para os pressupostos básicos, sendo inválidos para a ANOVA da regressão, como mostrado na Tabela 8.

Na Figura 15, observa-se o valor de NDVI de 0,32 no estágio V4 sendo 19,4 % menor em relação à condição SE com 0,63 (Figura 14), apresentando uma forte correlação com coeficiente de determinação de 0,93. O baixo valor de NDVI decorrente deste estágio é resultado da condição de estresse, onde há maior absorção das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Tabela 8. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico V4 e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk W _{calc}	Hartley F _{calc}	Falta de Ajuste F _{calc}	R. L. F _{calc}	R.Q. F _{calc}	C.V. %
CTVI	0,885 *	7,428 ^{ns}	-	-	-	-
EVI	0,419 *	1184,6 *	-	-	-	-
GNDVI	0,964 ^{ns}	16,770 *	-	-	-	-
NDVI	0,953 ^{ns}	6,023 ^{ns}	9,214 ^{ns}	4,913 ^{ns}	52,208 *	14,85

*significativo (p<0,05) pelo teste t; ^{ns} não significativo

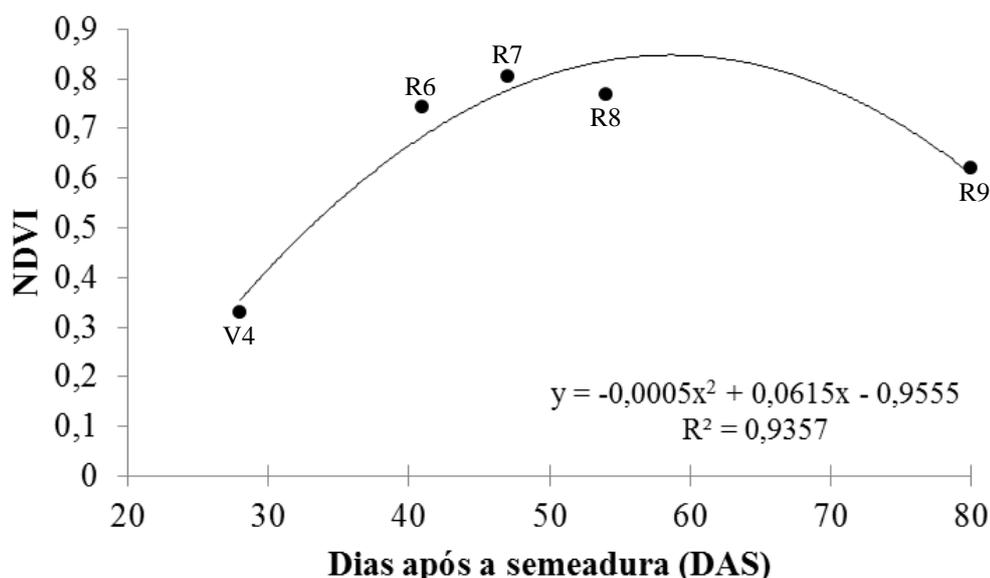


Figura 15. Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estádio V4 (28 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão

Na Tabela 9, são apresentados os resultados da ANOVA regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) apenas no estádio fenológico R6.

O índice NDVI foi significativo para regressão quadrática obtendo normalidade e homogeneidade de variâncias consideradas válidas possuindo um CV de 6,66. Os demais índices foram significativos para os pressupostos básicos, sendo inválidos para a ANOVA da regressão, como mostrado na Tabela 9.

Na Figura 16, observa-se o valor de NDVI de 0,6 no estádio R6 sendo 18 % menor em relação à condição SE com 0,74 (Figura 14), apresentando uma moderada correlação com coeficiente de determinação de 0,52. O baixo valor de NDVI decorrente deste estádio é resultado da condição de estresse, onde há maior absorção das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Tabela 9. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estádio fenológico R6 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk	Hartley	Falta de Ajuste	R. L.	R.Q.	C.V.
	W_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	%
CTVI	0,792 *	17,764*	-	-	-	-
EVI	0,939 *	4,047 ^{ns}	-	-	-	-
GNDVI	0,962 ^{ns}	15,845*	-	-	-	-
NDVI	0,979 ^{ns}	4,646 ^{ns}	20,884 ^{ns}	0,263 ^{ns}	3,182*	6,66

*significativo ($p < 0,05$) pelo teste t; ^{ns} não significativo

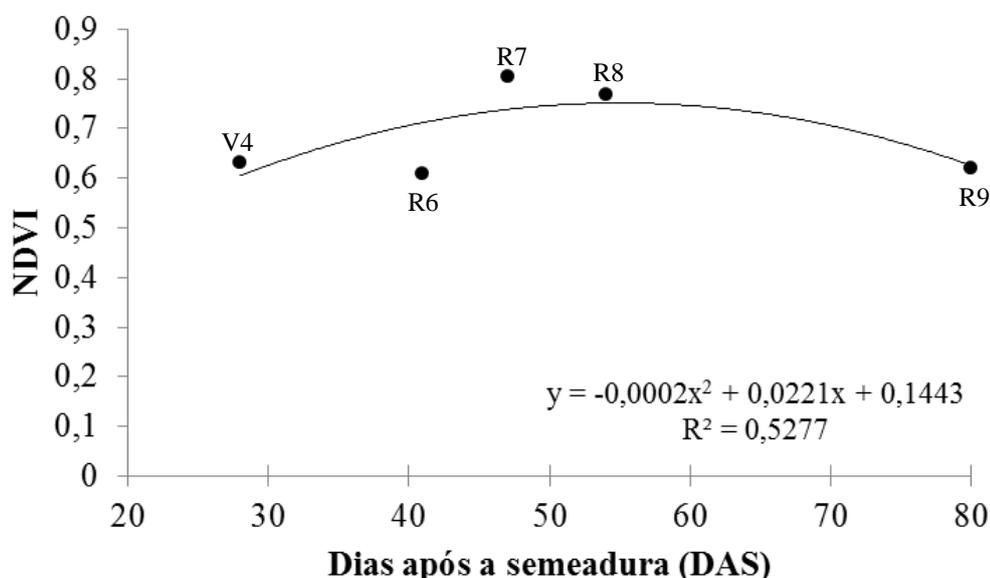


Figura 16. Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estágio R6 (41 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão

Na Tabela 10, são apresentados os resultados da ANOVA regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) apenas no estágio fenológico R7.

O índice NDVI foi significativo para regressão quadrática obtendo normalidade e homogeneidade de variâncias consideradas válidas possuindo um CV de 13,09. Os demais índices foram significativos para os pressupostos básicos, sendo inválidos para a ANOVA da regressão, como mostrado na Tabela 10.

Na Figura 17, observa-se o valor de NDVI de 0,67 no estágio R7 sendo 15,7 % menor em relação à condição SE com 0,80 (Figura 14), apresentando uma forte correlação com coeficiente de determinação de 0,73. O baixo valor de NDVI decorrente deste estágio é resultado da condição de estresse, onde há maior absorção das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Tabela 10. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R7 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk	Hartley	Falta de Ajuste	R. L.	R.Q.	C.V.
	W_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	F_{calc}	%
CTVI	0,957 ^{ns}	3,400 ^{ns}	4,241 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,082 ^{ns}	2,40
EVI	0,469*	1184,2*	-	-	-	-
GNDVI	0,970 ^{ns}	15,845*	-	-	-	-
NDVI	0,987 ^{ns}	6,023 ^{ns}	2,122 ^{ns}	0,146 ^{ns}	14,769*	13,09

*significativo ($p < 0,05$) pelo teste t; ^{ns} não significativo

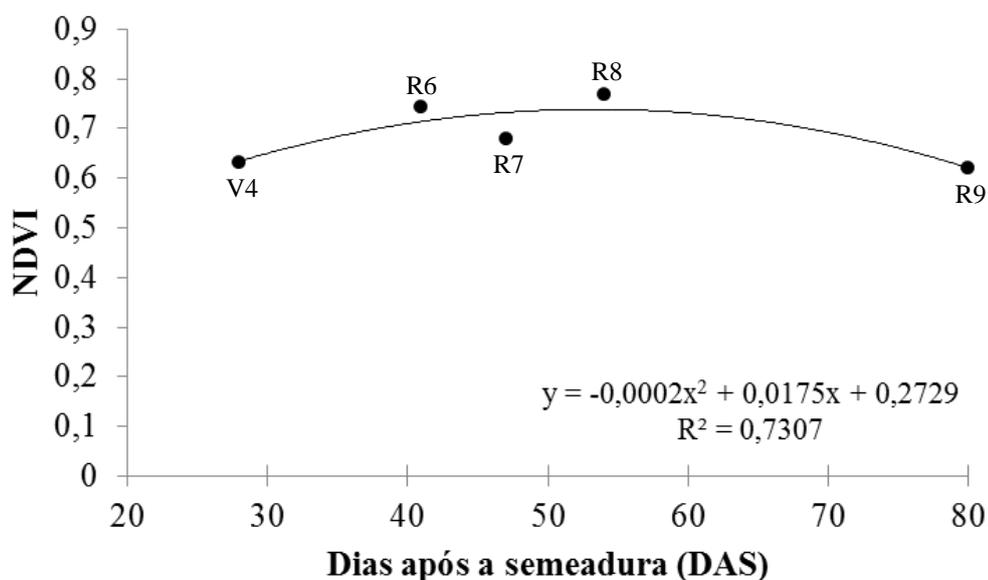


Figura 17. Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estágio R7 (47 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão

Na Tabela 11, são apresentados os resultados da ANOVA regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) apenas no estágio fenológico R8.

O índice NDVI foi significativo para regressão quadrática obtendo normalidade e homogeneidade de variâncias consideradas válidas possuindo um CV de 13,68. Os demais índices foram significativos para os pressupostos básicos, sendo inválidos para a ANOVA da regressão, como mostrado na Tabela 11.

Na Figura 18, observa-se o valor de NDVI de 0,54 no estágio R7 sendo 28,5 % menor em relação à condição SE com 0,76 (Figura 14), apresentando uma fraca correlação com coeficiente de determinação de 0,14. O baixo valor de NDVI decorrente deste estágio é resultado da condição de estresse, onde há maior absorção das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Desta maneira, o comportamento dos valores do índice NDVI não conseguiu ser ajustado pelo modelo de equação da regressão quadrática. Com isso, identificar o estresse hídrico apenas no estágio fenológico R8 perante os demais estádios estudados no ciclo de desenvolvimento da cultura, possui uma fraca relação funcional entre a variável dependente com a independente.

Tabela 11. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R8 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk W _{calc}	Hartley F _{calc}	Falta de Ajuste F _{calc}	R. L. F _{calc}	R.Q. F _{calc}	C.V. %
CTVI	0,851*	15,630*	-	-	-	-
EVI	0,404*	777,40*	-	-	-	-
GNDVI	0,944*	10,379*	-	-	-	-
NDVI	0,980 ^{ns}	6,023 ^{ns}	39,896 ^{ns}	0,923 ^{ns}	10,14*	13,68

*significativo (p<0,05) pelo teste t; ^{ns} não significativo

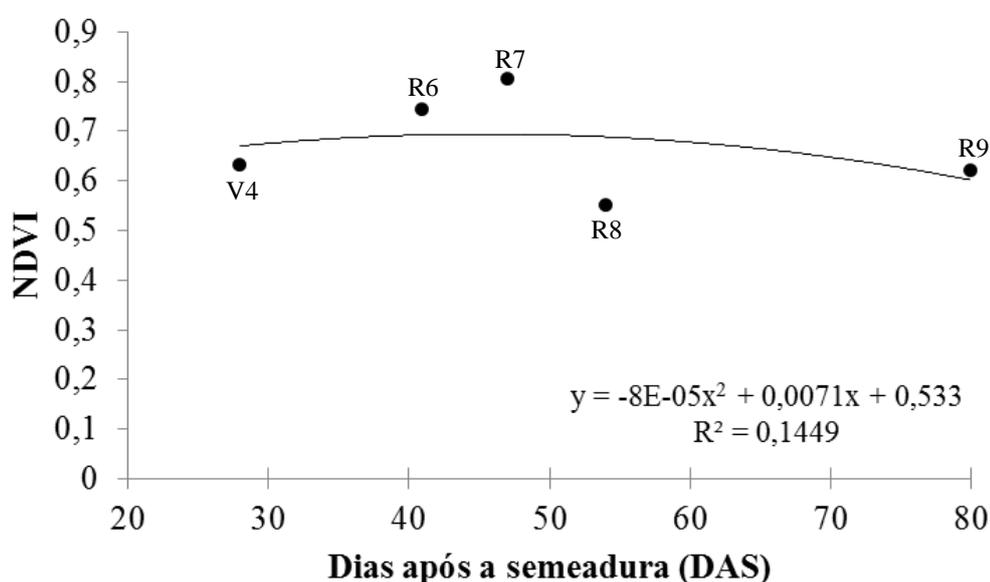


Figura 18. Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estágio R8 (54 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão

Na Tabela 12, são apresentados os resultados da ANOVA regressão para a detecção da condição hídrica com estresse (CE) apenas no estágio fenológico R9.

O índice NDVI foi significativo para regressão quadrática obtendo normalidade e homogeneidade de variâncias consideradas válidas possuindo um CV de 8,75. Os demais índices foram significativos para os pressupostos básicos, sendo inválidos para a ANOVA da regressão, como mostrado na Tabela 12.

Na Figura 19, observa-se o valor de NDVI de 0,48 no estágio R7 sendo 21,2 % menor em relação à condição SE com 0,61 (Figura 14), apresentando uma forte correlação com coeficiente de determinação de 0,98. O baixo valor de NDVI decorrente deste estágio é resultado da condição de estresse, onde há maior absorção das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

Portanto, foi possível detectar a condição hídrica com estresse (CE) em apenas um estágio fenológico perante os demais estádios estudados no ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão mediante o índice de vegetação NDVI.

Tabela 12. Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre a condição de estresse hídrico apenas no estágio fenológico R9 em todo ciclo e os índices de vegetação CTVI, EVI, GNDVI e NDVI.

I.V.	Shapiro-Wilk W _{calc}	Hartley F _{calc}	Falta de Ajuste F _{calc}	R. L. F _{calc}	R.Q. F _{calc}	C.V. %
CTVI	0,920*	7,428 ^{ns}	-	-	-	-
EVI	0,501*	1184,62*	-	-	-	-
GNDVI	0,946 ^{ns}	12,045*	-	-	-	-
NDVI	0,963 ^{ns}	2,299 ^{ns}	1,101 ^{ns}	108,8 ^{ns}	3,16*	8,75

* significativo (p<0,05) pelo teste t; ^{ns} não significativo

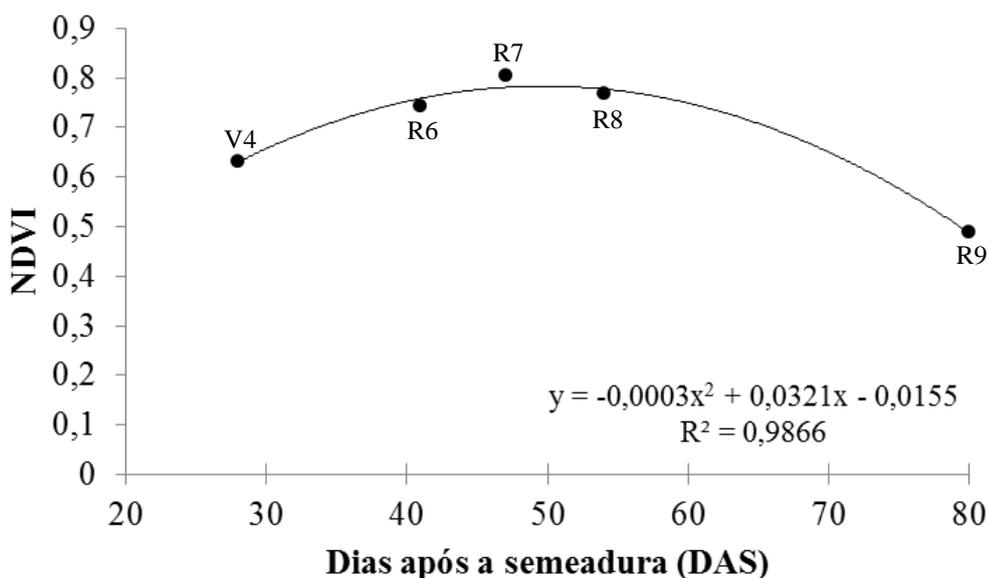


Figura 19. Valores de NDVI médios em função do estresse hídrico apenas no estágio R9 (80 DAS) ao longo dos demais estádios fenológicos da cultura do feijão

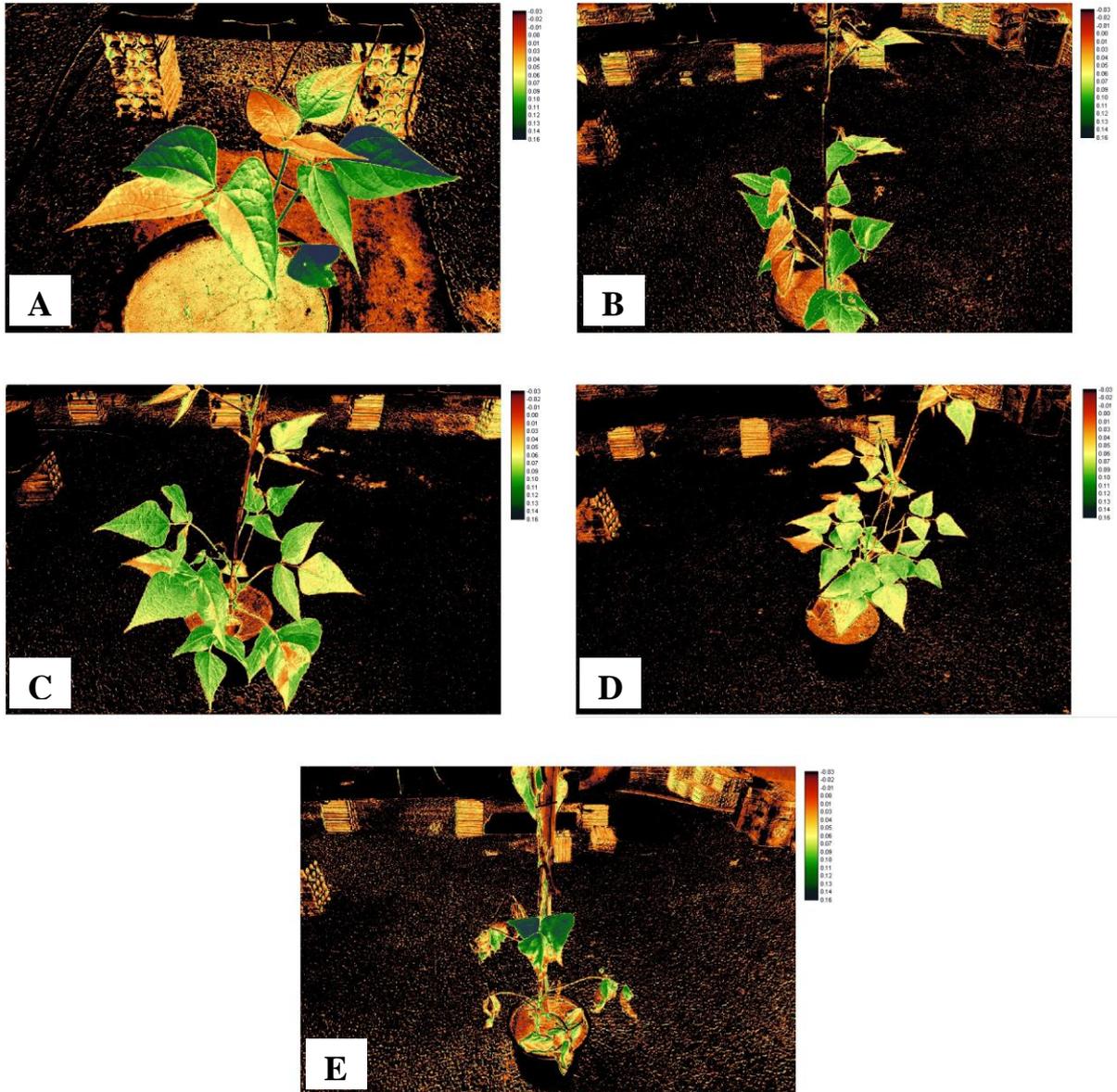


Figura 20. Imagens obtidas pela câmera fotográfica digital processada para o índice de vegetação EVI na condição com estresse (CE) nos estádios fenológicos do feijoeiro V4 (A), R6 (B), R7 (C), R8 (D) e R9 (E).

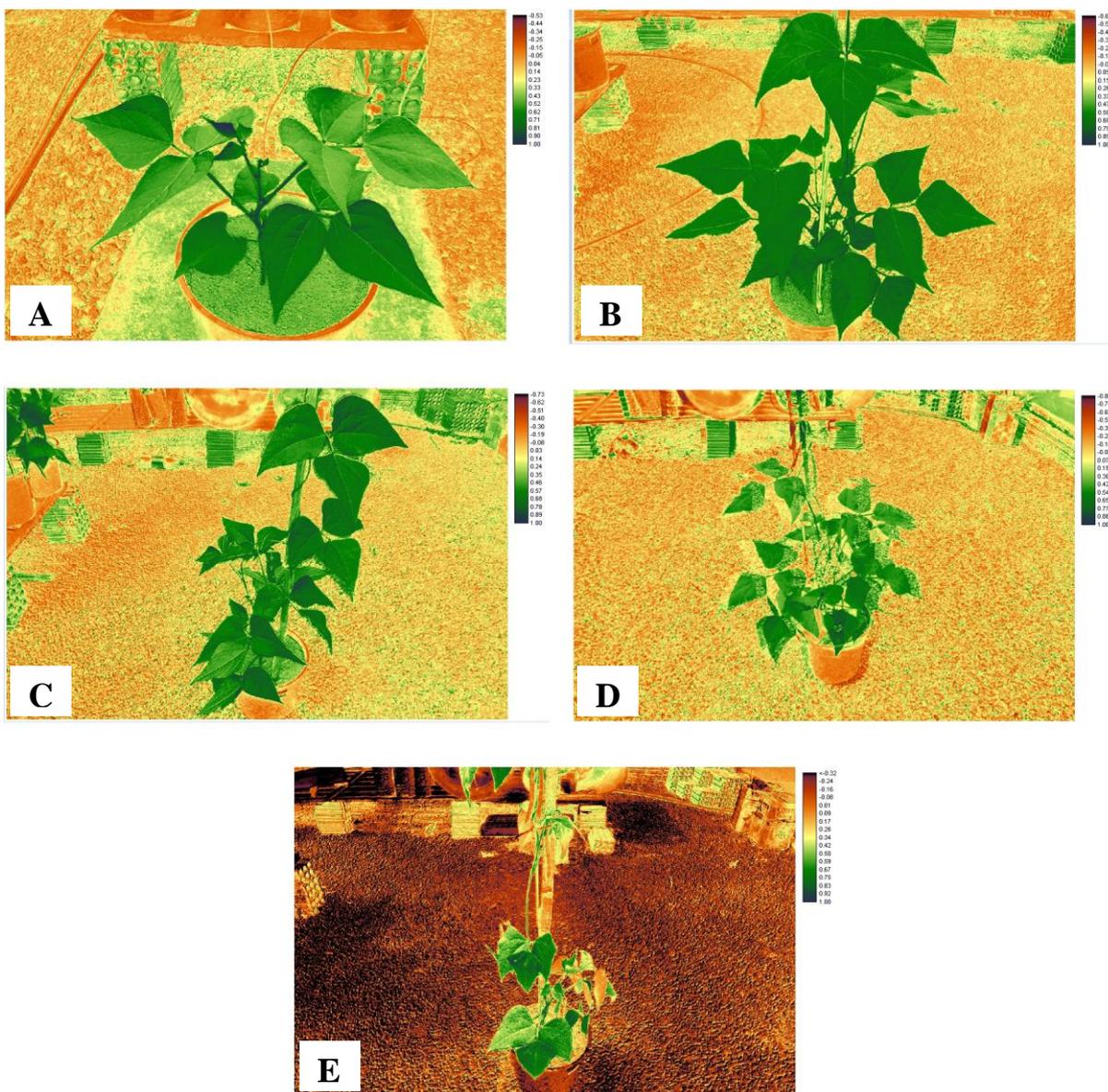


Figura 21. Imagens obtidas pela câmera fotográfica digital processada para o índice de vegetação NDVI na condição sem estresse (SE) nos estádios fenológicos do feijoeiro V4 (A), R6 (B), R7 (C), R8 (D) e R9 (E).

6. CONCLUSÕES

As diferentes condições de manejo da água no solo influenciaram diretamente nos componentes de produção avaliados, exceto para a massa de cem grãos.

Identificar as condições hídricas com e sem estresse em cada estágio fenológico na cultura do feijão foi possível ao utilizar imagens fotográficas digitais processadas com os índices de vegetação GNDVI e NDVI.

Em relação à identificação das condições hídricas com e sem estresse ao longo do ciclo e estresse hídrico em apenas um estágio fenológico na cultura do feijão foi possível ao utilizar os índices de vegetação EVI e NDVI respectivamente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. S.; CIRINO, M. V.; FARIA, R. T.; VIDAL, L. H. I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, jan./mar. 2008.

AMATO, M.; RITCHIE, J. T. Small spatial scale soil water content measurement with time-domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 325-329, 1995.

AMORIM NETO, M. S.; MAGALHÃES, P. C.; GOMIDE, R. L. Aspectos fenológicos da cultura do feijoeiro submetidos a diferentes tensões de umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1995. p. 134-136.

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

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Ciências Exatas. Editora do autor. 272p. 2002.

ARAÚJO, M.A., TORMENA, C.A. and SILVA, A.P. Physical properties of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) under crop cultivation and native forest. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p.337-345, 2004.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014 - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. **Documentos / Embrapa Arroz e Feijão**, 247 p. 2012.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, UAEAg/UFCG, v.12, n.4, p.350–355, 2008.

BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequia. II. Crecimiento y productividad. **Turrialba**, São José, v. 35, p. 49-53, 1985.

BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. Balanço energético e “sequestro” de carbono em culturas oleaginosas. **Campina Grande: Embrapa Algodão**, 2007. 22 p.

BERGAMASCHI, H. ; VIEIRA, H. J. ; OMETTO, J. C. ; ANGELOCCI, L. R. ; LIBARDI, P. L. Deficiência hídrica em feijoeiro, I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 23, n.7, p. 00733-00743, 1988.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. **Ecologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 249p, 1987.

BERTINO, A.M.P.; SILVA, W.L.; MESQUITA, E.F.; OLIVEIRA, F.; CAVALCANTE, J. F.B. Componentes de produção do girassol submetido a lâminas de água e biofertilizante em dois solos. In: II INOVAGRI International Meeting, **Anais...** Fortaleza Brasil 2014.

BEZERRA, A. M. E. **Produtividade e qualidade das sementes de feijão de corda em diferentes colheitas**. 1992. 103 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1992.

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

BLAINSKI, E. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada.** Dissertação de mestrado em agronomia - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

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

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.

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

BURGOS-ARTIZZUA, X. P.; RIBEIROA, A.; GUIJARROB, M.; PAJARESB, G. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. **Computers and Electronics in Agriculture.** v.75, 337–346. 2011.

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

CASTRO JUNIOR, R. M. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos, Laboratório de Topografia e Cartografia – Universidade Federal do Espírito Santo. 68p. 2001.

CHUVIECO, E., COCERO, D., RIAÑO, D., MARTIN, P., MARTÍNEZ-VEGA, J., DE LA RIVA, J. Combining NDVI and Surface Temperature for the estimation of live fuels moisture content in forest fire danger rating. **Remote Sensing of Environment,** v. 92(3), p. 322–331. 2004.

CICHOTA, R.; VAN LIER, Q. J. Avaliação no campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 72-78, 2004.

COELHO, E. F.; ARRUDA, F. B. Aplicações da técnica de TDR: manejo da água no solo. In: I Workshop sobre Aplicação da Técnica de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) na Agricultura, 1., 2001, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: UNICAMP/FEAGRI, 2001, p. 129-145.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.<
<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 30 agosto 2014.

COSTA, R.C.L.; CARDOSO, B.B.; SILVA, J.T.; GOMES FILHO, J.G.F.; SILVEIRA, J.A.G. O estresse hídrico diminui intensamente a assimilação do nitrato e a nodulação em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*, (L.) Walp.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4. 1996, Teresina. **Resumos**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1996. p.78-79.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; PONELEIT, C.G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, v.32, p.127-131, 1992.

CRIMMINS, M. A.; CRIMMINS, T. M. Monitoring Plant Phenology Using Digital Repeat Photography. **Environmental Management**. v.1, n.6, p. 949-58. 2008.

DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic detection of soil moisture. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v.3, n.1, p.76-86, 1977.

DEBOUCK, D. & HIDALGO, R. **Morfologia de la planta de frijol comum**. In: LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. van (eds). Frijol: investigación y producción. Cali, PNUD, CIAT, p. 7-41.1985;

DEBOUCK, D. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (eds.). **Common beans – Research for crop improvement**. Cali, CAB International, CIAT, p.55-118.1993.

DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C.; FIORIO, P. R.; NANNI, M. R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma** v. 121, p. 95-112. 2004.

DEMATTE, J. A. M.; SOUSA, A. A.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; FIORIO, P. R. CAMPOS, R. C. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma**. v. 135. p. 179-195. 2006.

DISPERATI, A. A.; ALMEIDA, F. H.; JUNIOR, S. M. Fotografias digitais do infravermelho próximo obtidas por meio de câmaras digitais convencionais para estudos da vegetação. **In... Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, v. 25-30, 2009, p. 2689-2695.**

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).Campina Grande: UFPB, 306p. 1994.

DUBETZ, S.; MAHALLE, P. S. Effect of soil water stress on bush beans *Phaseolus vulgaris* L. at the stages of growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v.94, n.5, p. 479-481. 1969.

EPIPHÂNIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.445-454. Jun 1996.

FANCELLI, A. L. **Tecnologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 154p. 1994.

FELLNER-FELDEGG, H. The measurement of dielectrics in the time domain. **Journal of Physics Chemicals**, Phoenix, v.73, n.3, p.616-623, 1969.

FERNANDÉZ, F., GEPTS, P., LÓPES, M. **Etapas de desarrollo en la planta de frijol**. In: López, M., Fernández, F., Schoonhoven, A. van (eds.) Frijol: Investigación y producción. Cali: PNUD, CIAT, p. 61-78. 1985.

FERREIRA, L. G. R. **Avaliação das respostas fisiológicas e produtividade biológica de cultivares de caupi (*Vigna unguiculada* (L) Walp) sob diferentes regimes hídricos.** 1992. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1992.

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

FIGENBAUM, V.; SANTOS, D. S. B.; MELLO, V. D. C.; SANTOS FILHO, B. G.; TILLMANN, M. A. A.; SILVA, J. B. Influência do déficit hídrico sobre os componentes do rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 2, p. 275-80, 1991.

FORMAGGIO, A. R.; EPIPHÂNIO, J. C. N.; VALERIANO, M. M. Comportamento espectral (450 - 2500 nm) e mineralogia de argila de alguns solos tropicais brasileiro. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 7, 1995, Mérida/Venezuela. **Anais...** Mérida: INPE, p. 6284, 1995.

FRANÇÓIS, T. Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria – RS, 2012.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. MELHORAMENTO GENETICO. **In:** FREIRE FILHO, F. R. Feijão - caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Meio-Norte. cap 1, p. 29-71. 2005.

FRUEH, W.T. & HOPMANS, J.W. Soil moisture calibration of a TDR multilevel probe in gravely soils. **Soil Science Society of America Journal** ,162:554-565, 1997.

GAO, B. C. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58(3), p. 257–266. 1996.

GAO, B. C.; GOETZ, A. F. H. Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 52(3), p. 155–162. 1995.

GASPAROTTO, A. C. **Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação com produtividade em diferentes doses de nitrogênio**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; CHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v.4, n.1, p.11-20, 1965.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.51, n.11, p.1725-34, 1985.

GENÚ, A. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos**. 2006. 120p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006.

GHORASHY, S. R.; PENDLETON, J. W.; PETERS, D. B.; BOYER, J. S.; BEUERLEIN, J. E. Interbal stress and apparent photosynthesis with soybean differing in pubescence. **Agronomy Journal, Madison**, 63:674-6, 1971.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n.3, p.289-298, 1996.

GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v.4, p.1-212, 1988.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: ESALQ/USP,1985.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentos, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998. Poços de Caldas, MG, **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, p. 133-238. 1998.

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

GUIMARÃES, C. M., STONE, L. F., PELOSO, M. J. D. **Fatores da tolerância do feijoeiro à seca**. Documentos, IAC, Campinas, 85, 2008.

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

GUIMARÃES, R. M. L. **Distribuição espacial de propriedades físico-hídricas em um Nitossolo Vermelho e correlação com o desenvolvimento do feijoeiro**. Dissertação de mestrado em agronomia - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; JORGE ACOSTA-GALLEGOS; OCTAVIO PAREDES-LÓPEZ. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. V. 80. p. 1874-1881. 1996.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n.3, p.295-309, 1988.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation índices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v.49, p.224-234, 1994.

HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. V. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, n.3, p.440-451, 1997.

IAPAR, INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná.** p.17. 2003.

INOUE, Y.; WATANABE, T. & KITAMURA, K. Prototype time-domain reflectometry probes for measurement of moisture content near the soil surface for applications to “on-the-move” measurements. **Agriculture Water Management**, 50:41-52, 2001.

JACKSON, R. D.; PINTER JR, P. J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.20, n.1, p. 43-56, 1986.

JACKSON, R. D.; TEILLET, P. M.; SLATER, P. N.; FEFOSEJEVS, G.; JASINSKI, M. F.; AASE, J. K.; MORAN, M. S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 32, n. 2-3, p. 189-202. 1990.

JÁCOME, A. G. **Distribuição espacial de variáveis de produção da cultura do feijão e do armazenamento de água no solo.** 2006. 119p. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução de José Carlos Ephifanio (coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JOAQUIM JÚNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro do domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo.** 2003. 94p. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

JOINSON, S.; BRITTON, B.; BARNETT, S. et al. **Fujifilm IS Pro, third UV & IR camera,** DPREVIEW, 2007. Disponível em: <<http://www.dpreview.com/news/2007/7/13/fujifilmispro>>. Acesso em: 06 jun.2013.

JORDAN, W.R. Whole plant response to water deficits: An overview. **In:** TAYLOR, H.M., JORDAN, W.R., SINCLAIR, T.R. Limitations to efficient water use in crop production, Madison: ASA, CSSA, and SSA, p.289-317. 1983.

KAY, D. E. Food legumes. London, **Tropical Products Institute**, 435. 1979.

KELLY, S. F.; SELKER, J. S.; GREEN, J. L. Using short soil moisture probes with high-bandwidth time domain reflectometry instruments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 97-1-2, 1995.

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.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.1, n.3, p. 155-59, 1970.

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

LAING, D. R.; JONES, P. G.; DAVES, H. C. **Common bean (*Phaseollus vulgaris* L.). The physiology of the tropical field crops**. Pg. 305-353. Goldsworthy, P. R. and Fisher, N. R. Eds. New York, USA. John Wiley. 1984.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.415-423, 2004.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 331-335, 1996.

LEE, K. J.; LEE, B. W. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. **European Journal of Agronomy**. v.48, p. 57- 65, 2013.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc. 1994.

LIMA, C. P.; BACKES, C.; FERNANDES, D. M.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G.; BÔAS, B. L. V. Uso de índices de reflectância das folhas para avaliar o nível de nitrogênio em grama-bermuda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1568-1574, 2012.

LIU, J.; PATTEY, E.; JÉGO, G. Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons. **Remote Sensing of Environment**, v.123, p. 347-358, 2012.

MA, B.L.; DWYER, L.M.; COSTA, C.; COBER, E.R.; MORRISON, M.J. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal**, v.93, p.1227-1234, 2001.

MACFARLANE, C.; MEGAN HOFFMAN A, DEREK EAMUS C, NAOMI KERP D, SIMON HIGGINSON E, ROSS MCMURTRIE F, MARK ADAMS. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.143 p.176 –188. 2007.

MALICKI, M.A.; PLAGGE, R.; WALCAZAK, R. T. Application of time-domain reflectometry (TDR) soil moisture miniprobe for the determination of unsaturated soil-water characteristics from undisturbed soil cores. **Irrigation Science**, New York, v.13, n.2, p. 65-72, 1992.

MANJERU, P., MADANZI, T., MAKEREDZA, B., NCIIZAH, A., SITHOLE, M. Effects of water stress at diferente growth stages on componentes and grain yield of commom bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **African Crop Science Conference Proceedings**. Printed in El-Minia, Egypt. African Crop Science Society, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Perfil do Feijão no Brasil (2010). Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>>. Acesso em 30 de Agosto 2014.

MARIOT, E. J. **Ecofisiologia do feijoeiro**. In: O feijão no Paraná. Londrina, IAPAR, Circular 63, p.25-41. 1989.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2 ed. Chichester: Jon Wiley & Sons, 292p. 1999.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T., ROSA, A. N. C. S., SANO, E. E., SOUZA, E. B., BAPTISTA, G. M. M., BRITES, R. S. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília**. Conselho nacional de pesquisa e desenvolvimento. 266p. 2012.

MINOLTA. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, 1989. 22p.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Faculdade de ciências agrônômicas do campus de Botucatu. Março de 2012.

MIRANDA, N. O.; BELMAR, N. C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica**, Santiago de Chile, v. 37, n. 3, p. 111-117, 1977.

MONTANARI, L.L. **A Sensibilidade ISO**. 2011.

MORAIS, N. B. de; BEZERRA, F. M. L.; MEDEIROS, J. F. de; CHAVES, S. W. P. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p.369–377, 2008.

MOREIRA, J.A.A. **Efeitos da tensão de água no solo e do parcelamento da adubação nitrogenada, sobre o crescimento e a produtividade do feijão de vagem** (*Phaseolus vulgaris* L.) Botucatu: UNESP, 1993, 100p. (Tese de Doutorado).

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. INPE: UFV, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. INPE: UFV, 2005.

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1031-1038, 2006.

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

NEIVERTH, W. ; CRUSIOL, L. G. T. ; CARVALHO, J. F. C. ; FERREIRA, L. C. ; RIO, A. ; SIBALDELLI, R. N. R. ; NEUMAIER, N. ; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação. **In: VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 2013, Londrina. VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja - Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 202-207.**

NEVES, D. M. **Mecanismos fisiológicos e expressão gênica relacionado à tolerância à seca em porta enxertos de citros**. Dissertação de mestrado em Genética e Biologia Molecular - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – Bahia, 2011.

NISSEN, H.H.; MOLDRUP, P.; OLESEN, T. & RASKMARK, P. Printed circuit board time domain reflectometry probe: Measurements of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, 164:454- 466, 1999.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 31, p. 213-237, 2001.

NOVO, E.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, p. 1-8. 1989.

O'SHAUGHNESSY, S.A.; Evett, S.R.; Colaizzi, P.D.; Howell, T.A. Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. **Agricultural Water Management**. V.98. p. 1523– 1535, 2011.

OBERTHUR, T.; COCK. J.; ANDERSSON, M. S.; NARANJO, R. N.; CASTANEDA, D.; BLAIR, M. Acquisition of low altitude digital imagery for local monitoring and management of genetic resources. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 58, p. 60 –77, 2007.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; SILVA, A. F. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. CAPIXABA PRECOCE). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.16, n.3, p.343-350, 2008.

OSBORNE, S.L.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; SCHLEMMER, M.R. Use of spectral radiance to estimate inseason biomass and grain yield in nitrogen- and water-stressed corn. **Crop Science**, v.42, p.165-171, 2002.

OTOOLE, J. C.; OZBUN, J. L.; WALLACE, D. H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseollus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 40:111-4, 1977.

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

PARISE, F. J. O. & VETTORAZZI, C. A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras hamlin: Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 43-47, 2005.

PEÑUELAS, J., FILELLA, I., BIEL, C., SERRANO, L., & SAVÉ, R. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. **International Journal of Remote Sensing**, 14, 1887–1905. 1993.

PEÑUELAS, J., PIÑOL, J., OGAYA, R., & FILELLA, I. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, p. 2869–2875. 1997.

PERRY, C.R.; LAUTENSCHLAGER, L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.14, n.1-3, p.169-182, 1984.

PIMENTEL, C. **A Relação da Planta com a Água**. Rio de Janeiro: UFRRJ, Rio de Janeiro, 2004.

POELKING, E.L.; LAUERMAN, A. & DALMOLIN, R.S.D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, 2007. **Anais...** Florianópolis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 4145-4150.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente Amazônico. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, p. 1713 -1720. 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABOKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

PORTILLO, J. E.; EPIPHÂNIO, J. C. N.; GURTLER, S.; BARRETO LUIZ, A. J. Evolução da superfície cultivada com as principais culturas agrícolas em Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP, via imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. P. 215-222.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B., ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa de plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 271 p. 1993.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v12, p.211-216, 1988.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 477 p. 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 500 p. 2012.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.4, p.503-511, 2004.

RIAÑO, D., VAUGHAN, P., ZARCO-TEJADA, E., & USTIN, P. J. Estimation of fuel moisture content by inversion of radiative transfer models to simulate equivalent water thickness and dry matter content. Analysis at leaf and canopy level. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, p. 819–826. 2005.

RICHARDSON, A. J.; WEIGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, n.12, p.1541-1552, 1977.

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

ROSATTI, J. C. **Detecção da doença “mela-das-sementes” da braquiária em gramíneas forrageiras através de técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. Dissertação de mestrado em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, SP, 2006.

ROSS, P. J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K. L. Equations for extending water retention curves to drynees. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 55, p. 923-927, 1991.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation.** Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974.

RUBIN, R. B.; CARLESSO, R.; SPOHR, R. B.; MELO, G. L.; CARDOSO, C. D. V. Crescimento das plantas de feijão irrigado e cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional.. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Cuiabá. XIV **Anais...** Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água, 2002.

RUDORFF, B.F.T., G.T. BATISTA. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, p.183-192. 1990.

SANTOS, J. S.; FONTANA, D. C.; SILVA, T. S. F.; RUDORFF, B. F. T. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.18, n.1, p.54-63, 2014.

SELKER, J.S.; GRAFF, L. & STEENHUIS, T. Noninvasive time domain reflectometry moisture measurement probe. **Soil Science Society of America Journal**, 57:934-936, 1993.

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

SILVA JUNIOR, C. A. **Estimativa e discriminação de áreas de soja [*Glycine max* L.] no estado do Paraná com dados mono e multitemporais do sensor MODIS.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; REIS, R. P.; SANTANA, M. J.; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 200–205, 2007.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, n. 3. p. 391-399. 2006.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro por aspersão**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 17, n. 178, p. 28-34, 1994.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2001.

SINGH, S. P. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris*. Bean Improv. **Coop. Ann. Rep.** 25: 92-4. 1982;

SOUZA, E.G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M.A. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, p.865–872, 2009.

SOUZA, L. O. D.; REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.183-189, 1996.

STEFFEN, C. A. Técnicas radiométricas com o SPECTRON SE-590. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE: v.1, p. 9-14, 1996.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I. Produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, p. 161-167, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TEÓFILO, E. M., DUTRA, A. S.; PITOMBEIRA, J. B.; DIAS, F. T. C.; BARBOSA, F. S. Potencial fisiológico de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do Ceará. **Revista ciência agrônômica**, v. 39, n 3, p. 443-448, 2008.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission-lines. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 16, n.3, p. 574-582, 1980.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 573-581, 1998.

TRINTINALHA, M. A. **Avaliação da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) na determinação de umidade em nitossolo vermelho eutroférico**. Maringá, 2000. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá.

TRINTINALHA, M. A. **Distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um NITOSSOLO, medido utilizando-se a técnica de TDR**. 2005. 139p. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

TRINTINALHA, M. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M V.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A.; TSUKADA, J. Efeito da instalação e da variabilidade entre sondas no uso da técnica de TDR em um Nitossolo Vermelho Distroférico. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 5, p. 1165-1171, 2001.

USTIN, S. L., DARLING, D., KEFAUVER, S., GREENBERG, J., CHENG, Y. -B., &WHITING, M. L. Remotely sensed estimates of crop water demand. S.P.I.E. the international symposium on optical science and technology. **Anais...49th annual meeting**, Denver, CO, 2004.

USTIN, S. L., ROBERTS, D. A., JACQUEMOUD, S., PINZÓN, J., GARDNER, M., SCHEER, G. Estimating canopy water content of chaparral shrubs using optical methods. **Remote Sensing of Environment**, 65(3), p. 280–291. 1998.

VAS, C.M.P. & HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil strength and water content with a combined penetrometer-moisture probe. **Soil Science Society of America Journal**, 65:4-12, 2001.

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

VELÁZQUEZ-GARCÍA, J.; OLESCHKO, K.; MUÑOZ-VILLALOBOS, J. A.; VELÁSQUEZ-VALLE, M.; MENES, M. M.; PARROT, J. F.; KORVIN, G; CERCA, M. Land cover monitoring by fractal analysis of digital images. **Geoderma** v.160, p.83–92, 2010.

VELLINI, A. L. T. T.; DE PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C; A. V.; SCARPINATI, E. A.; DE PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.651-663, 2008.

VIEIRA, C. **O feijoeiro-comum: cultura, doenças e melhoramento**. Viçosa, UFV, 220p. 1967.

VIEIRA, C., PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2ed. Atual – Viçosa: Ed. UFV. 600P. 2008.

VOYSEST, O.; DESSERT, M. **Bean cultivars: classes and comercial seed types**. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (eds). *Common beans – Research for crop improvement*. Cali, CAB International, CIAT, p. 119-62. 1993

WANDER A. E. **Sociedade Nacional da Agricultura**. Safra de feijão é insuficiente para atender o consumo. Disponível em: <http://sna.agr.br/safra-de-feijao-e-insuficiente-para-atender-ao-consumo/>. Acesso26/08/2014.

WANDER, A. E.; CHAVES, M. O. Consumo per capita de feijão no Brasil de 1998 a 2010: uma comparação entre consumo aparente e consumo domiciliar. In: Congresso Nacional de

Pesquisa de Feijão (CONAFE), Goiânia, GO. **Anais...** Embrapa Arroz e Feijão, 2011. 1 CD-ROM. p.1-4.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and bolls. **Crop Science** 30:1259-1264. 1990.

ZARCO-TEJADA, P. J.; RUEDA, C. A.; USTIN, S. L. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 85(1), p. 109–124. 2003.

ZEGELIN, S.J. & WHITE, I. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry. **Water Res.**, 25:2367-2376, 1989.

ZHAO, D.L.; REDDY, K.R.; KAKANI, V.G.; READ, J.J.; CARTER, G.A. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. **Plant and Soil**, v.257, p.205-217, 2003.

ZHAO, D.L.; REDDY, K.R.; KAKANI, V.G.; READ, J.J.; KOTI, S. Canopy reflectance in cotton for growth assessment and lint yield prediction. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.335-344, 2007.