



PIETROS ANDRÉ BALBINO DOS SANTOS

**MICROMETEOROLOGIA EM AMBIENTE
PROTEGIDO PARA CULTIVARES DE SOJA
SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

LAVRAS – MG

2017

PIETROS ANDRÉ BALBINO DOS SANTOS

**MICROMETEOROLOGIA EM AMBIENTE PROTEGIDO PARA
CULTIVARES DE SOJA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Pietros André Balbino dos.

Micrometeorologia em ambiente protegido para cultivares de soja sob diferentes lâminas de irrigação / Pietros André Balbino dos Santos. - 2016.

98p. : il.

Orientador(a): Luiz Gonsaga de Carvalho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Umidade do solo. 2. Fotoperíodo. 3. Micrometeorologia. I. Carvalho, Luiz Gonsaga de. . II. Título.

PIETROS ANDRÉ BALBINO DOS SANTOS

**MICROMETEOROLOGIA EM AMBIENTE PROTEGIDO PARA
CULTIVARES DE SOJA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA, em 16 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende UFLA

Prof. Dr. Wezer Lismar Miranda UNINCOR

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

Orientador

LAVRAS – MG

2016

À Francisca Tereza Balbino dos Santos, minha mãe, pelo amor e dedicação.

Ao meu irmão, Pacelly Henrique Balbino dos Santos.

Em especial, ao Edilson Moreira dos Santos (Canhoto), meu pai, grande engenheiro, sem formação, que, com suas “engenhocas” e dedicação, não mediu esforço para a realização de um sonho.

DEDICO

*Quem a Deus tem, mesmo que passe por momentos difíceis,
sendo Deus o seu tesouro, nada lhe falta.*

SÓ DEUS BASTA!

Santa Tereza D'Ávila

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, por intermédio do Departamento de Engenharia, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio à concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao orientador cujo presente trabalho está vinculado – Processo 308447/2015-8

Ao professor Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho, não só pela orientação nos últimos sete anos, mas também pela confiança, paciência, ensinamentos e amizade.

Ao doutorando Jodean Alves da Silva, pela parceria na realização deste projeto.

Ao bolsista de iniciação científica Guilherme Valdir Marchiori da Silva, pela ajuda na condução do experimento.

A todos os professores do Núcleo de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia da UFLA, pelo conhecimento transmitido.

Ao professor Adriano Teodoro Teodoro Bruzi, pela coorientação deste trabalho e pela concessão das sementes das cultivares de soja avaliadas.

Ao professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, pela coorientação do projeto.

Ao professor Wezer Lismar Miranda, pelo apoio e amizade.

À minha namorada, Jéssica Peres, pelo apoio nos momentos de dificuldades.

Aos amigos de infância, da graduação e da pós-graduação, em especial à família Santos e à família Balbino, ao Deniscley, Deniscleiton, Otavio, Carlos

Augusto (Kaka), Túlio Henrique, Rodrigo (Diguinho), Gustavo (Bottini), Lucas Centurion, turma 2009/2 e ao Ministério Aviva.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o êxito de mais esta etapa da minha vida.

RESUMO

A soja é matéria-prima para diversos produtos, com destinação à alimentação, ração animal, biodiesel entre outros, sob uma crescente demanda anual; contudo, tal atividade só é possível dentro de condições meteorológicas específicas; alterações, fora das condições ótimas para a cultura, no que se refere à temperatura, umidade do ar, disponibilidade de água no solo, radiação e duração do dia, influenciam diretamente o crescimento e produção da cultura. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o crescimento, até o florescimento, de três cultivares de soja, BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR, sob diferentes tensões de água no solo em condições micrometeorológicas específicas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação convencional instalada na área experimental do Departamento de Engenharia da UFLA, situada no município de Lavras-MG, no período de abril a junho de 2016, sob delineamento inteiramente casualizado (DIC) e esquema fatorial (5x3), com cinco repetições, sendo cinco níveis de tensão de água no solo (7, 12, 25, 40 e 60 kPa) e três cultivares diferentes. Em cada vaso, preenchidos com solo classificados como Latossolo vermelho distroférico, foram instalados sensores de umidade do solo a uma profundidade de 25 cm para monitoramento da tensão de água no solo e condução do manejo da irrigação. O monitoramento da temperatura do solo foi realizado com o uso de termopares do tipo “T”. Para o monitoramento da temperatura do ar, umidade relativa e radiação, foi instalada uma estação meteorológica no centro da estufa. A correção do fotoperíodo foi por meio de iluminação artificial. Os resultados mostraram que o tratamento correspondente a 7 kPa proporcionou as melhores condições de umidade no solo para o bom desenvolvimento, umidade a 80% da umidade referente à capacidade de campo (U_{cc}), e as tensões 25, 40 e 60 kPa, umidade próxima de 50% da U_{cc} para o solo estudado, não são recomendadas. A cultivar BRSMG 820 RR apresentou a maior altura e maior índice de área foliar e diferenciou estatisticamente das demais. Não foi encontrada diferença significativa da massa seca da parte aérea e das raízes entre as cultivares analisadas.

Palavras-chave: Umidade do solo. Fotoperíodo. Micrometeorologia. Glycine Max.

ABSTRACT

Soy is a raw material for a variety of products, destined for food, animal feed, biodiesel, among others, under a growing annual demand. However, such activity is only possible under specific meteorological conditions, and alterations outside the optimum conditions for the crop, with respect to temperature, air humidity, soil water availability, radiation and day length, directly influence growth and crop production. In this context, the objective of this study was to evaluate growth, until flowering, of three soybean cultivars, BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR and BRS Favorita RR, under different soil water stresses and specific micrometeorological conditions. The experiment was conducted in a conventional greenhouse located in the experimental area of the Engineering Department of UFLA, located in the city of Lavras-MG, between April and June 2016, under a completely randomized design (CRD) and factorial scheme (5x3), with five replicates, five soil water stress levels (7, 12, 25, 40 and 60 kPa) and three different cultivars. In each vessel, filled with soil classified as Oxisol, soil moisture sensors were installed at a depth of 25 cm to monitor soil water tension and conduct irrigation management. Soil temperature was monitored using "T" type thermocouples. For the monitoring of air temperature, relative humidity and radiation, a weather station was installed in the center of the greenhouse. The correction of the photoperiod was artificial lighting. The results showed that the treatment corresponding to 7 kPa provided the best soil moisture conditions for good development, moisture at 80% of field capacity (Ucc), and tensions 25, 40 and 60 kPa, moisture about 50% Ucc for the studied soil, are not recommended. The cultivar BRSMG 820 RR had the greatest height and leaf area index, and differentiated statistically from the others. No significant differences were found in shoot and root dry mass among the analyzed cultivars.

Keywords: Soil moisture. Photoperiod. Micrometeorology. *Glycine max.*

LISTA DE FIGURA

Figura 1-	Vasos preenchidos com solo peneirado.....	31
Figura 2-	Distribuição dos vasos na estufa e espaçamento entre plantas e fileiras no plantio.....	33
Figura 3-	Timer analógico com precisão de 15 min.....	37
Figura 4-	Sensores de umidade modelo 200SS.....	39
Figura 5-	Fator de disponibilidade (f) para os grupos de cultura de acordo com a evapotranspiração da cultura (ETc).....	40
Figura 6-	Disposição esquemática das umidades no solo.....	41
Figura 7-	Medição do volume de água e a realização manual da irrigação.....	44
Figura 8-	Layout do delineamento estatístico (DIC) na estufa e da distribuição dos vasos; letras A, B e C são referente às cultivares BRS Favorita RR, BRS MG 820 RR e BRS MG 850 RR, respectivamente; T1 a T5 refere-se ao tratamento aplicado; R1 a R5 refere-se à repetições.....	45
Figura 9-	Indicação do crescimento e medição da ALT; medição de P e L da folha (B).....	46
Figura 10-	Dispositivo de fixação da câmera fotográfica para obtenção das imagens das folhas para fins de processamento.....	47
Figura 11-	Ilustração das medidas da folha da planta com o uso de câmera fotográfica digital para mensuração das dimensões de P, L e da área foliar.....	48
Figura 12-	Estação meteorológica no centro da estufa.....	50
Figura 13-	Piranômetro portátil.....	51
Figura 14-	Distribuição dos sensores no solo e (A) equipamento de registro automático FieldLogger (B).....	52
Figura 15-	Comportamento da temperatura do ar no interior da estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio INMET/UFLA), sendo Tx, Tn temperaturas máxima e mínima, respectivamente.....	53
Figura 16-	Variação da umidade relativa média do ar no interior da estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio UFLA/INMET).....	56
Figura 17-	Valores de radiação solar registrada pela estação meteorológica na estufa e pelo piranômetro no interior da estufa (A) e relação da radiação no interior e exterior da estufa (B).....	58

Figura 18-	Comportamento médio da temperatura no solo, nas tensões 7, 12 e 40 kPa, em função da profundidade do solo para os meses de abril a junho de 2016 no interior da estufa.....	60
Figura 19-	Medida do índice de área foliar por planta em função dos dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.....	67
Figura 20-	Medida do índice de área foliar por planta em função das tensões de água no solo para 20, 32, 45 e 58 dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.....	68
Figura 21-	Altura da planta em função dos dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.....	74
Figura 22-	Altura da planta em função das tensões de água no solo para 20, 32, 45 e 58 dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.....	75
Figura 23-	Gráficos do índice de área foliar, massa seca da parte aérea da planta e massa seca da raiz em função das tensões de água no solo para 60 dias após a emergência (florescimento) e suas respectivas equações ajustadas referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.....	81

LISTA DE TABELA

Tabela 1-	Parâmetros de ajuste do modelo de Genuchten (1980).....	32
Tabela 2-	Umidade na capacidade de campo em função do parâmetro m ajustado pelo modelo de Genuchten (1980).....	32
Tabela 3-	Características químicas do solo, Lavras.....	34
Tabela 4-	Duração do dia, em média, dos meses recomendado para o plantio e os meses da condução do experimento.....	36
Tabela 5-	Características da lâmpada utilizada.....	37
Tabela 6-	Potencial matricial e umidade correspondente a cada tratamento.....	42
Tabela 7-	Valores médios mensais da temperatura na estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio INMET/UFLA).....	54
Tabela 8-	Valores médios mensais da energia solar.....	59
Tabela 9-	Lâmina de água aplicada em cada tratamento de tensão de água no solo durante o período de condução do experimento.	62
Tabela 10-	Equações e seus respectivos parâmetros para o cálculo da área foliar (AF).....	63
Tabela 11-	Resumo da análise de variância (ANAVA) da variável vegetativa índice de área foliar (IAF) em função da tensão (T) e cultivar (C) durante o ciclo da cultura.....	64
Tabela 12-	Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) da variável vegetativa índice de área foliar (IAF), ao longo do ciclo até o florescimento, em relação à tensão de água no solo.....	65
Tabela 13-	Médias do IAF, referente a cada tensão de água no solo (kPa), para as cultivares avaliadas a 58 dias após a emergência (DAE).....	66
Tabela 14-	Resumo da análise de variância (ANAVA) da variável vegetativa altura da planta (ALT) em função da tensão (T) e cultivar (C) durante o ciclo da cultura.....	70
Tabela 15-	Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) da variável vegetativa altura da planta (ALT) ao longo do ciclo até o florescimento, em relação à tensão de água no solo.....	71
Tabela 16-	Médias de altura de planta (cm), referente a cada tensão de água no solo (kPa), para as cultivares avaliadas a 60 dias após a emergência (DAE).....	71

Tabela 17-	Resumo da análise de variância (ANAVA) do número de folhas por planta (NF), índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) em função da tensão (T) e cultivar (C) no florescimento....	76
Tabela 18-	Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) do número de folhas por planta (NF), índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) no florescimento, em relação à tensão de água no solo.....	77
Tabela 19-	Médias do índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) referente a cada tensão de água no solo (kPa) para o Florescimento à 60 DAE, para as cultivares avaliadas.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Produção de soja no Brasil	17
2.2	Cultivares de soja	18
2.3	Irrigação da soja	19
2.4	Tensão de água no solo	20
2.5	Radiação Solar	22
2.6	Temperatura do ar e do solo	24
2.7	Fotoperíodo	25
2.8	Variáveis vegetativas	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Características da área experimental	29
3.2	Características das cultivares	29
3.4	Características e manejo do solo	30
3.5	Plantio e tratos culturais	33
3.6	Fotoperíodo e iluminação	35
3.7	Manejo da irrigação	38
3.8	Delineamento experimental	44
3.9	Variáveis vegetativas	45
3.9.1	Variáveis avaliadas periodicamente	45
3.9.2	Variáveis vegetativas avaliadas ao fim do ciclo (Florescimento)	46
3.10	Monitoramento micrometeorológico	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	Informações micrometeorológicas	53
4.1.1	Temperatura	53
4.1.2	Umidade relativa	55
4.1.3	Fotoperíodo e floração	56
4.1.4	Radiação solar incidente	57
4.1.5	Temperatura do solo	60
4.2	Manejo da irrigação	61
4.2.1	Lâmina de água em função da tensão de água no solo	61
4.3	Avaliação do crescimento	63
4.3.1	Índice de área foliar pelo método linear	63
4.3.2	Altura da planta	69
4.3.3	Número de folhas, índice de área foliar, massa seca e massa seca das raízes	76
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A soja, (*Glycine max L. Merrill*) cultura anual, pertencente à família Fabaceae, é uma das espécies vegetativas mais cultivadas no Brasil e, em função do seu potencial produtivo, é de grande importância para a economia brasileira. O Brasil, atualmente, ocupa a segunda posição no ranking mundial de produção de oleaginosas e a soja lidera a pauta exportadora brasileira.

Produtos e subprodutos originados da soja são de grande importância para o sistema agroindustrial e para a sociedade, gerando alimento e emprego. Pesquisas científicas, visando apontar condições adequadas ao cultivo, produção de sementes de alta qualidade, altos rendimentos estão sendo desenvolvidos sempre buscando um menor impacto ambiental.

A soja apresenta seu melhor desempenho produtivo dentro de uma faixa de temperaturas e, além da sensibilidade às temperaturas baixas e muito elevadas, mostra um grau de sensibilidade à duração curta do dia, o que pode afetar o florescimento e sua produtividade; sendo assim, recomenda-se o plantio nos meses de dias longos e quentes. Em geral, o plantio ocorre entre os meses de outubro e dezembro, podendo variar conforme a região, cultivar recomendada e o clima.

O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja atualmente, seguido por Paraná e Rio Grande do Sul, o estado de Minas Gerais ocupa a sexta posição (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016). No estado de Minas Gerais, a produção de soja concentra-se, em sua maioria, na região do Triângulo Mineiro, e, no estado, a semeadura é realizada no verão, estação do ano com maior volume de chuva, temperaturas médias elevadas e dias longos.

Os fenômenos climáticos como El Niño e La Niña ou até mesmo as mudanças climáticas podem interferir no ciclo de chuvas e nas temperaturas

médias dos meses do ano, e, associados à crescente demanda da soja, novas tecnologias, técnicas e pesquisas, principalmente em relação à irrigação, estão em constante desenvolvimento.

Neste intuito, alguns dos estudos realizados visam a compreender as respostas de diferentes cultivares de soja às condições meteorológicas adversas. Desse modo, o manejo da irrigação tem como princípio básico maximizar o ganho produtivo, levando sempre em consideração a preservação dos recursos naturais, pois é sabido que o manejo inadequado da irrigação acarreta como consequências danos irreversíveis para o ambiente e para a cultura.

Assim, gerar conhecimento relativo ao adequado manejo da irrigação e condições micrometeorológicas adversas se faz necessário para avaliar a produtividade e a viabilidade do plantio em épocas fora das convencionais. É sabido que no Brasil, atualmente, há um período do ano que varia conforme a região, de no mínimo três meses, conhecido como vazão sanitário, para a qual não é permitido o cultivo da soja. Isso é uma das formas de manejo para evitar a ferrugem asiática; entretanto, com a melhoria genética de cultivares de sojas resistentes a essa doença e adaptáveis a dias mais curtos e temperaturas amenas, essa prática pode vir a ser extinta em futuro próximo. Diante do exposto, foi conduzido o presente trabalho com o objetivo de avaliar o crescimento e desenvolvimento de três cultivares de soja, BRS MG 820 RR, BRS MG 850 RR e BRS Favorita RR, até o florescimento, fora das condições micrometeorológicas e época de plantio recomendado, vislumbrando um plantio na entressafra, e sua resposta a diferentes tensões de água no solo.

Neste trabalho, tem-se o seguinte objetivo específico.

- A) Definir a tensão de água no solo adequada ao desenvolvimento da soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de soja no Brasil

Atualmente a soja *Glycine max (L.) Merrill* é considerada a mais importante oleaginosa cultivada no Brasil e no mundo, tornando a cultura alvo de diversas pesquisas relacionadas a níveis de irrigação, fertilidade, compactação do solo dentre outras, visando ao máximo rendimento na produção de grãos.

A soja apresenta um ciclo anual, herbácea, ereta, autogama, pertence à classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Fabaceae, subfamília Papilionaceae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* (Moench) e suas características morfológicas apresentam variabilidade, as quais são influenciadas pelo ambiente (DONG et al., 2004; SANTOS, 2008; SEDIYAMA, 2009). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2004), a soja chegou ao Brasil em meados de 1882, trazida dos Estados Unidos da América (EUA); a partir dessa data, a soja é cultivada e melhorada para atender às diversas regiões do País. No entanto, seu desempenho agrônômico satisfatório só foi alcançado no final da década de 1960, depois de muitas pesquisas.

A soja se adaptou muito bem às condições climáticas do Brasil e à expansão do cultivo na Região Centro-oeste, alavancou o Brasil ao posto de segundo maior produtor mundial, com uma área de 33,13 milhões de hectares cultivados, com produção de soja que supera 98,98 milhões de toneladas de grãos. A Região Centro-Oeste, maior produtora, é responsável por 46,4% da produção nacional, seguida da Região Sul, juntas, essas regiões são responsáveis por 80% da produção nacional de grãos de soja (CONAB, 2016).

O Estado de Mato Grosso é o maior produtor da oleaginosa no cenário nacional. Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás são responsáveis por 71,7% da produção nacional (CONAB, 2016).

Minas Gerais alcançou, em 2014, o sexto lugar na produção de soja no Brasil, colhendo cerca de 3,3 milhões de toneladas, com aproximadamente 1.238 milhões de hectares cultivados (PADUA et al., 2014). Segundo Campos et al. (2005), a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba constituem as regiões de Minas Gerais com maior produção de grãos, e sua alta produção deve-se ao bom nível tecnológico dos seus produtores, que utilizam práticas modernas, possibilitando o emprego de alta tecnologia.

A região Sul de Minas Gerais destaca-se na produção de café e é importante bacia leiteira; entretanto, áreas com cultivo da soja vêm crescendo bastante, tendo o milho como perfeito aliado na rotação de culturas.

Com um teor de proteína e lipídios elevado, essa combinação constitui cerca de 60% do peso seco do grão; a soja proporciona diversas utilidades, entre elas estão a produção de óleos e farelo, sendo o farelo o produto mais valioso, principalmente na receita de exportação (GURGEL, 2007).

A alimentação é fundamental para sobrevivência humana, suprimindo as necessidades nutricionais e prevenindo doenças causada pela deficiência nutricional (BASSINELLO; NAVES, 2006). Em 2012/2013, o óleo de soja foi o segundo mais consumido no mundo, atrás do óleo da palma, com a produção mundial de 42,9 milhões de toneladas (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2013).

2.2 Cultivares de soja

Existe uma grande variedade de cultivares de soja, quanto à resposta a fatores ambientais, proporcionando uma adaptabilidade nas mais variadas

regiões do Brasil. Assim, diversos estudos visam a avaliar os efeitos da interação entre genótipos e diferentes locais ou anos

A soja produzida é suficiente para fornecer um terço da necessidade global de proteínas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2013) e as plantas transgênicas podem desempenhar um papel importante no futuro como fonte de proteína (ADARME-VEGA; THOMAS-HALL; SCHENK, 2014).

A principal soja transgênica produzida e comercializada atualmente é a soja “Roundup Ready”, comumente conhecida como soja RR. Entre as cultivares de soja transgênicas disponíveis no mercado, a BRS Favorita RR, lançada pela (EMBRAPA, 2006a), possui alto potencial produtivo, é resistente ao cancro da haste, à mancha olho-de-rã, à pústula bacteriana, ao oídio, ao vírus do mosaico comum da soja e ao nematoide de galhas; porém, é suscetível ao nematoide de cisto. A cultivar BRSMG 820RR é uma cultivar de soja derivada da BRSMG 68 [Vencedora], apresenta tipo de crescimento determinado, flor roxa e hilo preto. Pertence ao grupo de maturidade relativa 8.2 e é moderadamente resistente ao nematoide de galhas *Meloidogyne* incógnita, desenvolvida pela Embrapa (EMBRAPA, 2013a). A BRSMG 850GRR foi desenvolvida pelo programa de melhoramento genético da soja, conduzido em parceria com a Embrapa, apresenta tolerância ao glifosato, alto potencial produtivo e resistência ao nematoide de galhas *Meloidogyne* incógnita e moderada resistência ao nematoide de galhas *Meloidogyne javanica*. Possui tipo de crescimento determinado, flor roxa e hilo preto (FRONZA et al., 2011).

2.3 Irrigação da soja

Diversos estudos visam a uma melhor uniformização da produtividade e aproveitamento dos recursos na agricultura (LAMPARELLI; ROCHA;

BORGHI, 2001). O manejo da irrigação parte dos conhecimentos básicos do sistema água-solo-planta-atmosfera, seguindo de conhecimento de sistemas e métodos de irrigação empregado.

De acordo com Soares et al. (2012), para a determinação da lâmina de água a ser aplicada, a análise da variabilidade das propriedades físico-hídricas do solo é indispensável, procedimento esse que pode contribuir para a maximização da produtividade e da eficiência de uso da água, atuando acentuadamente sobre a produtividade.

A irrigação é de fundamental importância para o bom rendimento da cultura em diversas regiões. A ocorrência de períodos de seca causa impactos diferenciados na produtividade da soja, evidenciando cada vez mais a necessidade de um sistema radicular mais profundo, na tentativa de diminuir os riscos da produção agrícola (MENGEL; KIRKBY, 2001; MORTVEDT, 1994; TRAUTMANN et al., 2014).

Segundo Vivan et al. (2010), os reduzidos níveis de produtividade da soja no Rio Grande do Sul, evidencia a expressiva necessidade da incorporação de técnicas com maior eficiência para a condução da atividade agrícola, destacando entre essas o manejo de irrigação.

Minas Gerais tem como predominância o cultivo do café, no entanto, diversas culturas estão ganhando espaço, entre elas a cultura da soja. Diante das condições de clima e para uma maior produtividade, o uso da irrigação se tornou necessária. Entretanto, pouco conhecimento se tem sobre os benefícios da irrigação da cultura da soja para a produção de grãos, evidenciando a necessidade de pesquisa nessa área.

2.4 Tensão de água no solo

A forma de fornecimento de água às plantas é de suma importância; erros ou negligências nesses pontos, muitas vezes, geram baixo rendimento na produção, tornando os cultivos economicamente inviáveis. Determinadas tecnologias podem ser empregadas a fim de minimizar o mau uso da água na agricultura irrigada, que, em 2010, representou a maior parte dos 54% da água doce consumida pela agricultura no País (BRASIL, 2012).

Existem diferentes métodos para estabelecer o momento a ser irrigado, ou seja, efetuar o manejo da irrigação, entre eles se encontra a tensão de água no solo, essa técnica relaciona tensão de água no solo, umidade do solo e necessidade de irrigação (MAROUELLI et al., 1991; PHENE; ALLEE; PIERRO, 1989).

A retenção de água no solo está relacionada às características do solo, e, basicamente há dois fenômenos responsáveis pela retenção da água: capilaridade, retenção nos macroporos, e adsorção, retenção de água nos microporos. A tensão em que a água está retida no solo está relacionada, também, à umidade do solo, e essa dinâmica da umidade e tensão a qual ela se encontra no solo pode ser descrita pela curva de retenção de água no solo (CRA) (DEXTER; BIRD, 2001; van GENUCHTEN, 1980).

Em termos fitotécnicos, a planta apresenta uma maior produção dentro de uma faixa de umidade que, geralmente, aproxima-se da umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), ponto de inflexão da CRA (MELLO et al., 2002). Valores de umidade que distanciam da θ_{cc} geram déficit hídrico ocasionando um menor rendimento da cultura. O déficit hídrico no solo pode provocar diversos efeitos, que, de acordo com Taiz e Zeiger (2004), podem levar às abscisões foliares, fechamento dos estômatos, limitação da fotossíntese, reduzindo a área foliar, o número de folhas e o crescimento das plantas.

Diversos métodos podem ser empregados para o monitoramento da tensão de água no solo, dentre eles estão o tensiômetro e o sensor de umidade do

solo. O sensor de umidade do solo é constituído por cápsula de resistência elétrica; essa resistência elétrica, em função da mudança e umidade do solo, é proporcional à tensão de água no solo. O sensor deve ser instalado de forma permanente no solo, o que possibilita, a qualquer instante, obter a tensão de água no solo e, conseqüentemente, a umidade por meio da CRA. Sua leitura é possível entre 0 a 200 kPa (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

2.5 Radiação Solar

Os processos relacionados ao sistema água-solo-planta-atmosfera na superfície da terra têm como fundamental fonte de energia a radiação solar. Do total de radiação que chega à superfície da terra, parte é refletida pela superfície, parte é transmitida e somente uma parte é absorvida pela planta (LEITÃO; OLIVEIRA, 2000). A radiação absorvida é o principal elemento limitante do rendimento da cultura, tanto no campo como em ambientes protegidos, especialmente nos meses de inverno e em altas latitudes, por causa da escassa disponibilidade de energia radiante (MARTINS et al., 1999).

O desenvolvimento vegetal necessita de uma quantidade mínima de radiação para seu desenvolvimento, sendo que radiação solar incidente e temperatura do ar consistem em elementos preponderantes nos processos fisiológicos, tais como a fotossíntese, transpiração, fotoperiodismo, crescimento dos tecidos, floração, entre outros (BECKMANN et al., 2006; CERMEÑO, 1993; KITTAS; BAILLE; GIAGLARAS, 1999).

A radiação fotossintética ativa (RFA) é aquela que estimulam uma reação fotoquímica da folha vegetal e induzem fortemente as respostas fisiológicas nas plantas (BERNARDES, 1987; FREITAS, 2005; GLIESSMAN, 2000).

A eficiência de absorção de RFA da planta sobre o dossel varia ao longo do ciclo e do desenvolvimento das plantas. Aumentando o índice de área foliar (IAF), aumenta a eficiência de absorção da RFA, sendo essa relação dependente da estrutura do dossel. Para a cultura da soja, Martorano et al. (2008) observaram que a eficiência de absorção no início do ciclo é baixa, cerca de 4%, e aumenta até atingir o valor máximo de 95% no máximo IAF, que foi de 6,3.

A cultura da soja, em geral, tem um crescimento da biomassa em função do aumento da disponibilidade de radiação solar (MELGES; LOPES; OLIVA, 1989) e o sombreamento e a época do plantio afetam diretamente a radiação solar incidente. De acordo com Andriolo (2000), o desenvolvimento normal das culturas somente ocorre quando a quantidade de radiação recebida for superior ao limite trófico. A cobertura do ambiente protegido altera o balanço de energia em relação ao ambiente externo (ASSIS, 2004), esse controle favorece estudos relacionados à absorção de radiação e conversão em matéria seca pelas plantas.

É importante ressaltar que altas intensidades de radiação solar absorvidas podem causar a saturação luminosa à cultura, diminuindo a eficiência no uso da radiação (JIANG et al., 2004), e conseqüentemente, influenciando o desenvolvimento da planta.

Wells (1991) observou diferentes respostas da cultura da soja à interceptação de radiação e fotossíntese, em função de seu estágio fenológico. A taxa de fotossíntese no dossel foi significativamente reduzida na floração e enchimento de grãos, para as mais baixas populações de plantas; entretanto, a densidade de plantas teve pouco efeito após o período de enchimento de grãos. A produtividade de grãos somente diferiu dos menores valores, para as mais baixas populações de plantas, devido à menor fotossíntese no dossel dessas plantas. O uso de cultivares com uma arquitetura foliar mais eficiente na captação de luz as tornam mais eficazes fotossinteticamente; contudo, são mais

exigentes em água e nutrientes, pois quanto maior a interceptação solar pelas folhas, maior será a fotossíntese e a transpiração, condição metabólica que exige mais energia pela planta.

2.6 Temperatura do ar e do solo

O elemento temperatura é determinante no crescimento e desenvolvimento da cultura. Desse modo, torna-se importante o conhecimento dos limites que cada cultura tem em relação a esse elemento.

Temperaturas elevadas para determinadas espécies vegetais pode acarretar redução no crescimento e desenvolvimento, em razão da redução da absorção de água e nutrientes pelas raízes e, com isso, menor taxa de assimilação líquida, redução do transporte e distribuição de assimilados, redução da expansão foliar e alterações anatômicas e morfológicas nas folhas, tornando-as mais curtas, largas e grossas, com pecíolos de menor comprimento (MARTINS et al., 1999). Temperaturas baixas apresentam problemas similares à temperatura elevadas. Segundo Sangoi (1993) temperaturas baixas verificadas no início da primavera nas regiões de elevada altitude podem limitar o crescimento vegetativo e a produção de massa seca do milho.

A temperatura influencia, também, o ciclo da cultura, nos dias necessários para floração, para maturação dos grãos etc. De acordo com Pascale (1969), existe uma relação inversa entre a temperatura média e o número de dias necessários para a floração; quanto menor for a temperatura média, maior o período até o florescimento.

A floração da soja é induzida por temperaturas altas, acima de 13°C, anomalias na temperatura induz diferentes datas de floração, para diferentes anos. Assim, a floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas (EMBRAPA, 2011). Segundo Parker e Borthwick

(1943), a indução floral foi ótima quando a temperatura nas folhas estava entre 21 e 27°C à noite, e que, acima dos 27°C, poucos primórdios florais foram formados.

A temperatura do solo tem a capacidade de interferir no crescimento e desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, afetar três funções importantes no solo: a biológica, a química e a física, podendo influenciar o poder produtivo, o desenvolvimento e a distribuição de plantas no solo (MOTA, 1989).

A temperatura do solo é um dos principais problemas do cultivo da soja fora do período recomendado, principalmente em regiões de alta latitude. Segundo Barzotto et al. (2012), temperatura baixa do solo é um dos principais problemas na antecipação da semeadura da soja no Rio Grande do Sul. Isso pode causar redução do estande inicial e atraso do fechamento do dossel, comprometendo o rendimento.

A semeadura da soja, dentro das possibilidades, não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C, visto que temperaturas baixas prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, com ponto ideal próximo a 25°C, para uma emergência rápida e uniforme (EMBRAPA, 2011).

2.7 Fotoperíodo

O fotoperíodo se baseia no número de horas de luz dentro de um ciclo de 24 h, podendo influenciar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

A soja é uma cultura sensível às temperaturas baixas e fotoperíodo curto, variando com seu genótipo, podendo interferir no seu desenvolvimento e no seu florescimento. Segundo Rodrigues et al. (2001), a duração do ciclo compreendido entre a emergência e a floração é afetada pelo fotoperíodo e

temperatura, e cada cultivar tem uma resposta diferente em relação a cada um desses fatores, e dias curtos induz um florescimento precoce.

O uso de iluminação está se tornando comum, a fim de corrigir o fotoperíodo e, assim, obter um controle das fases da cultura e época de plantio. A iluminação artificial pode ser aplicada com a finalidade de se prolongar o fotoperíodo, permitindo controlar o florescimento (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY - IES, 1981).

Diversos fatores ambientais e sua interação com a planta influenciam a época de semeadura, promovendo variações na produtividade e afetando outras características agrônômicas (PEIXOTO et al., 2000). Como os fatores ambientais apresentam comportamento desuniforme ano a ano, são necessários ensaios regionalizados com cada genótipo para quantificar a resposta desse genótipo a essas diferentes interações ambientais (PELUZIO et al., 2010).

2.8 Variáveis vegetativas

A análise das variáveis vegetativas como altura da planta, índice de área foliar, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes são importantes para o acompanhamento do crescimento da planta, e auxilia no estudo da reação da cultura em relação ao ambiente na qual ela se encontra em cada fase do ciclo da cultura.

A altura da soja é influenciada por diversos elementos meteorológicos, os mais importantes são umidade do ar, temperatura do ar e do solo e o fotoperíodo. Características do solo, como a compactação, também interferem significativamente na altura da cultura. As perdas na colheita mecanizada podem chegar a níveis muito elevados quando semeada em época inadequada, devido ao porte baixo das plantas (EMBRAPA, 1996). Altura desuniforme faz com que ocorra corte em muitas vagens e outras deixam de ser colhidas; o ideal é que

tenha plantas acima de 60 cm na maturidade, altura compatível com a colheita mecanizada. (EMBRAPA, 2011).

A folha é um dos importantes órgãos da planta, tem diversas finalidades, entre elas a interceptação da radiação para o processo de fotossíntese e na transpiração. O índice de área foliar (IAF) da planta correlaciona-se positivamente com o crescimento das folhas e do dossel da planta. IAF é a relação funcional existente entre a área foliar (AF) e a área do terreno ocupada pela cultura (FAVARIN et al., 2002). Além disso, o IAF pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade e é uma medida necessária para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos envolvendo crescimento vegetal (BLANCO; FOLEGATTI, 2003; FAVARIN et al., 2002). Embora produtividades elevadas estejam associadas com alta área foliar, valores supra ótimos dela podem reduzir a produção, em razão do auto sombreamento, verificando-se, então, relação inversa entre índice de área foliar e taxa assimilatória líquida (MELGES; LOPES; OLIVA, 1989).

O acúmulo de massa seca da parte aérea (MS) da planta está relacionada ao bom desenvolvimento do vegetal e, conseqüentemente, com sua produtividade. A MS é outra variável comumente analisada e é um parâmetro agrônômico relacionado à produção. Além disso, valores elevados de matéria seca favorece culturas destina a consumo animal, em que toda a planta é utilizada. Segundo Wilson e t'Mannetje (1978) alta relação folha/colmo representa forragem com elevados teores de proteína.

O sistema radicular desenvolve diversas funções, como absorver solução nutritiva e fornecer estabilidade à planta, esse, distribui-se quase que totalmente nos primeiros 15 cm do solo correspondendo a, aproximadamente, 40% da massa de raízes da superfície radicular (MITCHELL; RUSSEL, 1971; RAPER; BARBER, 1970). Diversos estudos associam o crescimento do sistema radicular com o *déficit* de água no solo, segundo Queiroz-Voltan, Nogueira e Miranda

(2000) o aprofundamento do sistema radicular é extremamente importante em culturas não irrigadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação não climatizada no Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras, MG. O município de Lavras situa-se no sul de Minas Gerais, com as seguintes coordenadas geográficas: altitude de 918,841 metros; coordenadas geográficas: latitude, 21° 14' S e longitude 45° 00' W tendo como referência a Estação Climatológica Principal de Lavras (ECP), convênio INMET/UFLA.

De acordo com Dantas, Carvalho e Ferreira (2007), predomina na região o clima classificado, de acordo com metodologia proposta por Köppen, como do tipo Cwa, com as seguintes características; clima temperado úmido com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação pluvial média invernal é inferior a 60 mm em pelo menos um dos meses dessa estação, com verão quente e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C. A precipitação é concentrada no verão, com total anual de 1530 mm. A temperatura do ar média anual é de aproximadamente 19,8 °C.

Selecionou-se uma estufa na área experimental do DEG, coberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), leitoso, impermeável e transparente, com espessura de 150 micra, as dimensões das estufas são de 12 m de comprimento, 7 m de largura, 2,5 m de pé direito e 4 m de altura total (pé-direito mais o arco).

3.2 Características das cultivares

As cultivares cultivadas no presente trabalho são todas do grupo transgênico RR desenvolvido pela Embrapa e apresenta as seguintes

características: a cultivar de soja BRS Favorita RR é indicada para os estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, número de dias para a floração próximo de 53 dias, ciclo médio, altura de 68 cm e maturação em 145 dias (EMBRAPA, 2006b). A cultivar de soja BRSMG 820 RR tem indicação recomendada para Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, com floração até 56 dias após a emergência, altura 71 cm, maturação em 130 dias (EMBRAPA, 2013a). A cultivar de soja BRSMG 850 RR é recomendada para Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, demanda 55 dias para a floração, 102 dias para o ciclo total e tem 71cm de altura, em média (FRONZA et al., 2011).

3.4 Características e manejo do solo

O solo utilizado foi o predominante na área do experimento, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006a), com textura argilosa. Sendo peneirado em peneira com malha de 4 mm e colocado sobre um plástico para homogeneização e para diminuição da umidade. Posteriormente, o solo foi depositado dentro de cada vaso com dimensões de 40 cm de altura e 30 cm de diâmetro e massa de 20 Kg (Figura 1).

Figura 1- Vasos preenchidos com solo peneirado.



Realizou-se análise das características físicas do solo no Laboratório de Física do Solo no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA, cujos resultados foram: massa específica do solo (ρ_s) igual a $1,01 \text{ g cm}^{-3}$, massa específica das partículas (ρ_p) igual a $2,64 \text{ g cm}^{-3}$ e a porosidade total do solo (P_t) foi obtida por meio da equação proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), e calculada em função da ρ_s e ρ_p , sendo igual a 61,89%

A curva característica de água no solo foi gerada por meio da equação proposta por van Genuchten (1980). Para tanto, obteve-se uma amostra de solo, para análise no Laboratório de Física do Solo DCS, de terra fina seca ao ar (TFSA) e com o uso do funil de placa porosa (Funil de Haines), determinou-se na umidade relativo a pontos de baixa tensão (-2, -4, -6, -10 kPa) assim como na câmara de pressão com placa porosa (extrator de Richards) determinou-se a umidade relativo aos pontos de alta tensão (-33, -100, -500 e -1.500 kPa).

Os parâmetros de ajuste da equação, α , n e m foram gerados por meio da planilha computacional, segundo o modelo proposto por van Genuchten (1980) e podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980).

Nº equação	Parâmetros do modelo de VG					
	θ_s	θ_r	α	n	m	R^2
1	0,536	0,201	0,409	5,135	0,197	98,8

θ_s , umidade de saturação ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$); θ_r , umidade residual a 15atm ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$); α (cm^{-1}), “n” (adm) e “m”(adm) parâmetros de ajuste do modelo e R^2 coeficiente de determinação da regressão (%).

A curva característica de água no solo descreve o comportamento da umidade do solo (θ) em relação à força de retenção de água no solo (Ψ_m) e é descrita pela equação:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot [1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n]^{-m} \quad (1)$$

em que,

θ - umidade com base em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ_m – tensão matricial de água no solo (kPa);

A umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e a respectiva tensão matricial do solo na capacidade de campo (Ψ_{cc}) foram obtidas segundo Mello et al. (2002) e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Umidade na capacidade de campo em função do parâmetro m ajustado pelo modelo de van Genuchten (1980).

Característica física do solo		
θ_{cc}	m	Ψ_{cc}
$\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$	adm	kPa
0.436	0,1976	3,3

3.5 Plantio e tratos culturais

As três cultivares foram semeadas no dia 16 de abril de 2016, e a germinação de 80% ocorreu entre seis e sete dias após o plantio. A semeadura foi realizada a uma profundidade de aproximadamente 4 cm; inicialmente foram semeadas 5 sementes em cada vaso, espaçadas em 6 cm, posteriormente, após a emergência, realizou-se o desbaste de duas plantas. O espaçamento entre fileiras foi de 50 cm (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição dos vasos na estufa e espaçamento entre plantas e fileiras no plantio.



As sementes foram inoculadas com Nitragin Cell Tech HC®, inoculante líquido formulado com bactéria do gênero *Bradyrhizobium*, com concentração mínima de 3×10^9 UFC/ml utilizando-se a dose de 150 mL^{-1} do produto para 50 kg de semente.

As características químicas inerentes ao solo foram realizadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA. O solo foi

todo uniformizado, retirando posteriormente uma única amostra representativa.

Os resultados são observados na Tabela 3.

Tabela 3- Características químicas do solo, Lavras/MG.

Símbolo	Descrição	Unidade	0 – 0,40
pH	Em água, KCl e CaCl ₂	-	6,3
P	Fósforo (Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	1,13
K	Potássio(Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	58
Na		mg/dm ³	0,0
Ca ²⁺	Cálcio (Extr.: KCl)	cmol _c /dm ³	2,8
Mg ²⁺	Magnésio (Extr.: KCl)	cmol _c /dm ³	0,6
Al ³⁺	Alumínio (Extr.: KCl)	cmol _c /dm ³	0,0
H+Al	Ac. Potencial (Extr.: SMP)	cmol _c /dm ³	3,27
SB	Soma de bases	cmol _c /dm ³	3,55
t	CTC efetiva	cmol _c /dm ³	3,55
T	CTC a pH=7,0	cmol _c /dm ³	6,82
V	Índ. de sat. de bases	%	52,03
m	Índ. de sat. de alumínio	%	0,0
Zn	Zinco(Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	1,45
Fe	Ferro(Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	35,38
Mn	Manganês(Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	5,93
Cu	Cobre(Extr. Mehlich 1)	mg/dm ³	1,19
B	Boro(Extr.: água quente)	mg/dm ³	0,31
S	Enxofre(Extr.: PO ₄ Ca em ác.acético)	mg/dm ³	26,57
Mo	Mat. Orgânica	dag/kg	3
P-rem	Fósforo remanescente	mg/L	3,07
Areia	Areia	dag/kg	15
Silte	Silte	dag/kg	18,0
Argila	Argila	dag/kg	67,0
Textura	Classificação textural	-	Argilosa

A adubação para os vasos foi realizada conforme recomendações de Malavolta (1980), com algumas modificações, considerando a análise de fertilidade, anteriormente descrita. No plantio foram aplicados 200 ppm de P e 90 ppm de N, com a fonte mono-amônio fosfato, 90 ppm de K (KCl) e 0,5; 1,5; 5 e 0,10 ppm de B, Cu, Zn e Mo, respectivamente, que representam os

micronutrientes fornecidos pela fontes H_3BO_3 ; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ e $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, respectivamente. Duas adubações de cobertura foram realizadas (55 ppm de K) aos 25 e 40 dias após o plantio, utilizando-se a fonte KCl.

3.6 Fotoperíodo e iluminação

A duração astronômica do dia (N), que significa o número de horas de brilho solar máximo no dia, também conhecida como fotoperíodo, é dada em função da latitude do local em estudo e da declinação do sol, que, por sua vez, é obtida em função do dia do ano e varia entre $+23^\circ 27'$ e $-23^\circ 27'$, e é descrita pela equação:

$$N = \frac{2H}{15} \quad (2)$$

$$H = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (3)$$

$$\varphi = 21^\circ 14' \quad (4)$$

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360 \cdot (\text{DiaJuliano} - 80)}{365} \right] \quad (5)$$

em que,

N – duração do dia (h);

H – ângulo horário do nascer ou pôr do sol ($^\circ$),

φ – latitude. Para Lavras, MG, equivale à $21^\circ 14'$ referenciada pela ECP, convênio (UFLA/INMET)– MG;

δ - declinação solar ($^\circ$);

Dia Juliano - é o número de dias transcorridos desde o dia 1 $^\circ$ de janeiro.

Calculou-se a duração do dia (N) para os dias dos meses recomendados para o plantio da soja na região, e calculou-se o N para os dias dos meses em que o experimento foi conduzido (Tabela 4).

Tabela 4 - Duração do dia, em média, dos meses recomendado para o plantio e os meses da condução do experimento.

Mês	N (horas)	Mês	N (horas)	Correção (horas)
Novembro	13,06	Abril	11,46	1,59
Dezembro	13,27	Maior	10,96	2,31
Janeiro	13,12	Junho	10,73	2,40

A correção N ocorreu pela diferença entre o mês recomendado para cada fase do ciclo da cultura e o mês e fase em que a cultura se encontrou no experimento. Como o plantio é recomendado em novembro e o plantio, no experimento, foi realizado em abril, obteve-se a diferença de fotoperíodo entre os meses e, assim, a quantidade de horas de luz a serem adicionadas, em média.

A adição de luz foi feita com o uso de iluminação por lâmpadas fluorescentes, e o controle das horas de iluminação foram feitas de forma automática, com o uso de um timer analógico.

Figura 3 - Timer analógico com precisão de 15 min.



Para iluminação, foram instaladas duas lâmpadas sobre as linhas de plantio, espaçadas em quatro metros, a uma altura de 2,5 metros. As lâmpadas tinham as características conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Características da lâmpada utilizada.

Potência (W)	Tensão (V)	Fluxo Luminoso (Lm)	Temperatura de cor (K)	IRC	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
40	220	2700	6500	80	80	219

O uso dessa lâmpada, com essa intensidade luminosa, não teve como objetivo promover o crescimento nem fotossíntese, mas, sim, atuar sobre o controle do fotoperíodo da planta. No entanto, atentou-se para certas características, fluxo luminoso, temperatura de cor e IRC, que se aproximam das características da luz solar para indução do fotoperíodo.

A lâmpada possui um fluxo luminoso de 2700 lumens (Lm), em relação ao sol, que varia de 400 (pôr do sol) a 100000 Lm (“sol a pino”), apresenta um valor baixo, comparado com “sol a pino”; entretanto, o fluxo luminoso tem uma

relação maior com a intensidade luminosa, que, por sua vez, se relaciona com o crescimento da planta.

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) varia de 0 a 100, sendo o valor máximo 100, equivale às mesmas cores que se têm com a luz solar. A lâmpada apresenta um valor de 80 IRC, próximo às características da luz solar.

A temperatura de cor (K) da lâmpada, 6500 K, tem como característica a tonalidade clara, ideal para se buscar uma iluminação equivalente à natural, que tem uma temperatura de cor de aproximadamente 5800K, emitida pelo sol em céu aberto ao meio-dia. Essas características apresentadas são suficientes para a indução do fotoperíodo, mas insuficiente para o estimular a fotossíntese.

3.7 Manejo da irrigação

Para o manejo da irrigação, ou seja, o momento da aplicação do conteúdo de água, foram levados em consideração os potenciais matriciais, indicadores de água no solo pré-estabelecidos referentes a cada tratamento, retornando o solo à umidade na capacidade de campo. Para isso, foram instalados quatro sensores de umidade no solo (figura 4) em cada tratamento a uma profundidade de 25 cm.

Figura 4 - Sensores de umidade modelo 200SS.



As umidades-limite de cada tratamento foram estabelecidas considerando o fator de disponibilidade de água no solo (f) proposto por Doorenbos e Kassam (1979), variando de acordo com a cultura e com a evapotranspiração da cultura (ET_c) na localidade, e estão apresentadas na Figura 5. Os grupos são: 1 – batata, cebola e pimentão; 2 – banana, ervilha, repolho, uva e tomate; 3 – alface, feijão, citros, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo; 4 – algodão, milho, azeitona, açúcar, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar e fumo.

Figura 5 - Fator de disponibilidade (f) para os grupos de cultura de acordo com a evapotranspiração da cultura (ETc).

Grupo de cultura	ETm (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,30
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

Para o presente trabalho, considerou-se a evapotranspiração de referência (ET_0) nos meses da condução do experimento. Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) determinaram a evapotranspiração dos meses de abril, maio e junho e, por meio desses valores, chegou-se à evapotranspiração diária de 2,5, 1,77 e 1,5 mm d^{-1} , respectivamente. Assim, para efeito de cálculos da ETc, sendo ETc igual a $ET_0 * Kc$, considerou-se os coeficientes de cultura (Kc) igual a 0,8, 1,4 e 1,55 para os meses de abril, maio e junho, respectivamente.

Os valores de ETc calculados foram: 2 mm d^{-1} , 2,48 mm d^{-1} e 2,33 mm d^{-1} referentes aos meses de abril, maio e junho, respectivamente, e o maior valor entre os resultados encontrados, 2,48 mm d^{-1} , foi adotado para estimativa do f.

De acordo com a classificação proposta por Doorenbos e Kassam (1979), a soja encontra-se no grupo 4 e a ETc da região, no período, é de 2,45 mm d^{-1} , levando ao fator de disponibilidade de água no solo (f) de 0,84.

Para a escolha do limite inferior mínimo em que a umidade pôde alcançar, aplicou-se a equação 6:

$$\theta_m = \theta_{cc} - (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * f \quad (6)$$

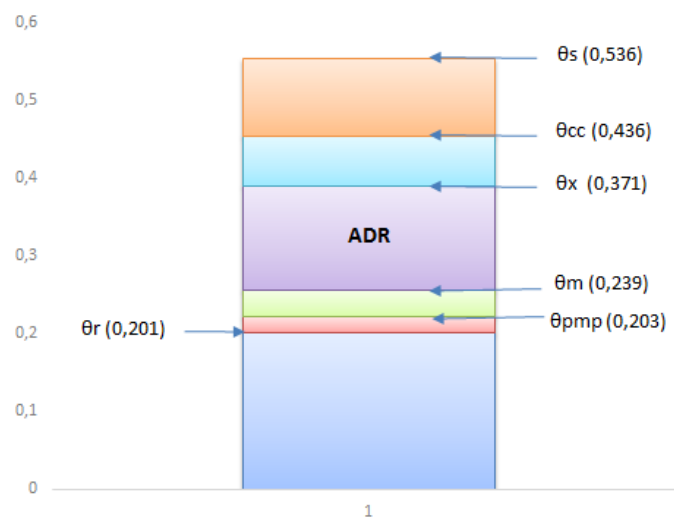
θ_m – mínima umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{cc} - umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{pmp} - umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

A umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), para a soja, foi calculada com a tensão proposta por Procópio et al. (2004), 283,41 kPa, e por meio da equação de van Genuchten (1980), proposta anteriormente (Tabela 1). Considerou-se como limite superior (θ_x) 85% da umidade na capacidade de campo, pois, segundo EMBRAPA (2013b), a umidade não deve ultrapassar esse limite. Assim definidos os limites (Figura 6), ou seja, a água disponível real (ADR) para a cultura, as umidades foram dispostas dentro desses limites.

Figura 6 - Disposição esquemática das umidades no solo.



Os valores de tensão de água no solo foram observados diariamente, e a irrigação de cada tratamento foi realizada quando a tensão atingir um valor pré-determinado, entre θ_x e θ_m , para cada tratamento (

Tabela 6); após atingir o valor esperado, o solo foi irrigado até a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}).

Tabela 6 - Potencial matricial e umidade correspondente a cada tratamento.

Tratamento	Ψ_m (kPa)	θ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)
1	7	0,371
2	12	0.32
3	25	0.243
4	40	0,241
5	60	0,238

Com os valores de tensão e umidade, referente a cada tratamento e a umidade na capacidade de campo estabelecida, procedeu-se aos cálculos das lâminas de irrigação, de acordo com Cabello (1996), com base nas equações a seguir:

$$LLI = (\theta_{cc} - \theta_i) \cdot z \cdot fw \quad (7)$$

$$LBI = \frac{LLI}{(1-k) \cdot CUD} \quad (8)$$

$$k = Pp = 1 - Ea \quad (9)$$

$$V = LBI \cdot Ap \quad (10)$$

em que,

LLI - lâmina líquida de irrigação necessária (mm);

θ_{cc} - umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_i - umidade atual do solo no momento de irrigação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

fw - fração de área molhada (0 a 1);

LBI - lâmina bruta de irrigação (mm);

k - constante da eficiência do sistema (0 a 1);

CUD - coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação (0 a 1);

- Pp - porcentagem de perda por percolação profunda (0 a 1);
Ea - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (0 a 1);
V – volume de água aplicado (m^3);
Ap - área ocupada por planta (m^2).

Até o vigésimo dia após a emergência das plantas, o solo foi mantido próximo à umidade na capacidade de campo em todos os vasos. A água foi adicionada manualmente, em cada vaso do tratamento, com todos os cuidados necessários para uma boa distribuição e uniformidade na aplicação. Sendo assim, no cálculo da LBI, o valor de CUD (coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação) e da Ea (eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação) foram equivalentes a 1 (um), não havendo perdas na aplicação (LBI = LLI). O recipiente, usado para irrigar, era completado com água até o volume calculado segundo cada tensão, em um local nivelado para a realização da leitura do volume de água; em seguida, era distribuída sobre o solo, a uma altura de aproximadamente 0,02 m (Figura 7)

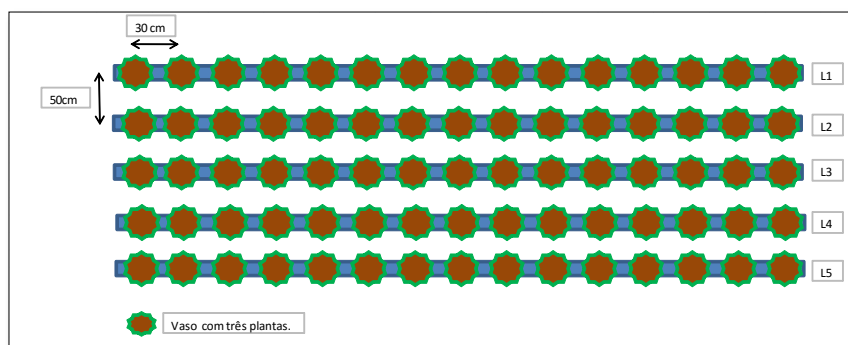
Figura 7 - Medição do volume de água e a realização manual da irrigação.



3.8 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), segundo um esquema fatorial com dois fatores (5x3) com cinco repetições, sendo os níveis do primeiro fator composto por 5 níveis de tensão de água no solo, 7, 12, 25, 40 e 60 kPa, denominados T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, sendo tais tensões determinantes para a definição do momento da irrigação, e os níveis do segundo fator foi composto pelas três cultivares. Na Figura 8, observa-se a distribuição dos vasos conforme o esquema DIC e sua localidade. A decisão pelo delineamento em DIC levou em consideração a alta homogeneidade do local, solo e das dimensões do experimento, relativamente pequenas (4,5m de comprimento e 2,5m largura).

Figura 8 - Layout do delineamento estatístico (DIC) na estufa e da distribuição dos vasos; letras A, B e C são referente às cultivares BRS Favorita RR, BRS MG 820 RR e BRS MG 850 RR, respectivamente; T1 a T5 refere-se ao tratamento aplicado; R1 a R5 refere-se à repetições.



AT2R5	AT1R2	CT1R2	CT5R4	CT2R1	BT3R5	CT3R5	CT4R1	BT2R1	BT2R3	CT1R1	BT2R4	BT2R2	CT2R5	CT2R3
AT4R2	BT5R3	CT3R3	AT5R5	BT4R1	AT5R1	AT4R1	BT1R3	AT3R4	CT4R2	AT1R5	AT1R2	BT4R3	AT2R3	AT2R1
BT5R4	CT5R2	CT2R4	AT1R3	BT2R5	CT4R4	CT3R4	CT2R2	BT1R4	CT3R2	AT4R4	CT4R3	CT5R5	AT3R5	AT3R2
BT1R2	BT4R5	BT1R5	CT3R1	CT5R3	AT1R4	BT3R4	CT1R4	BT5R2	BT5R5	AT4R3	BT4R2	AT3R1	CT1R5	AT3R3
CT5R1	CT1R2	AT2R4	BT3R2	CT4R5	BT1R1	BT5R1	BT3R3	AT5R2	BT4R4	BT3R1	AT2R2	AT4R5	AT5R4	AT1R1

3.9 Variáveis vegetativas

3.9.1 Variáveis avaliadas periodicamente

As avaliações foram realizadas a cada 15 dias para determinar as características vegetativas da parte aérea da planta e seu crescimento em relação ao estresse hídrico, tais como: Altura da planta (ALT), do solo até a inserção da última folha no caule (Figura 9), e as dimensões lineares P e L, em que P é o comprimento da nervura principal e L é a distância entre as maiores extremidades perpendicularmente da direção de P. (Figura 9 B).

Figura 9 - Indicação do crescimento e medição da ALT; medição de P e L da folha (B).



As medições de altura da planta foram obtidas 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a emergência (DAE) e as medidas lineares P e L foram realizadas 20, 32, 45 e 58 DAE.

Após a obtenção das medidas lineares P e L das folhas, calculou-se a área foliar (AF) de cada folha da planta por meio de equações, levando em conta os parâmetros calculados como uso planilha de cálculos.

Os valores de índice de área foliar (IAF) calculados no presente trabalho foram realizados por meio de dois métodos distintos, o primeiro levou em consideração a área foliar (AF) calculada por medidas lineares e, no segundo método, a AF foi calculada por imagens.

3.9.2 Variáveis vegetativas avaliadas ao fim do ciclo (Florescimento)

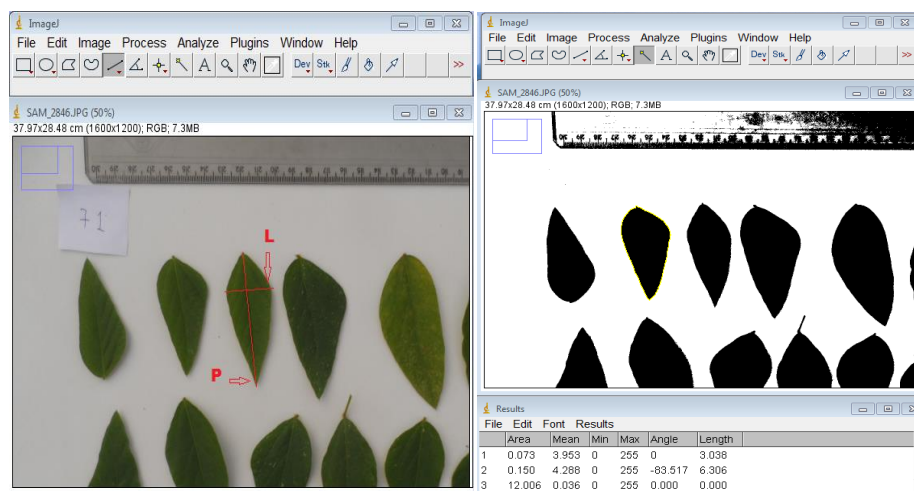
Ao fim do ciclo de avaliações, até a floração, com auxílio de câmera fotográfica, obtiveram-se as imagens das folhas para fins de processamento (Figura 10). Nesse método, destrutivo, foram retiradas todas as folhas da planta colocando-as sobre um anteparo, liso e branco; acima desse anteparo, a uma distância fixa de 0,3 m, fixou-se a câmera fotográfica de 14.2 megapixels de resolução. Sobre o anteparo, colocou-se uma régua para, posteriormente, servir de escala para o processamento.

Figura 10 - Dispositivo de fixação da câmera fotográfica para obtenção das imagens das folhas para fins de processamento.



Para obtenção do número total de folhas (NTF), foi realizada a contagem total de folhas completamente desenvolvidas, e obtiveram-se as dimensões lineares (P e L). Todas as medidas lineares e número de folhas foram efetuadas com auxílio do programa ImageJ® (programa sob domínio público) de análise e processamento de imagens (Figura 11).

Figura 11- Ilustração das medidas da folha da planta com o uso de câmera fotográfica digital para mensuração das dimensões de P, L e da área foliar.



A área foliar total da planta (AFP) foi, também, medida por meio do programa ImageJ®, recurso ilustrado na Figura 11, segundo o método destrutivo com auxílio da fotografia. A AFP foi usada para o cálculo do índice de área foliar (IAF) que, segundo Watson (1952), é a relação existente entre a área foliar da planta ou população (AFP) e a área do terreno ocupada por essa planta ou população (Au), obtida pela equação 11.

$$IAF = \frac{AFP}{Au} \quad (11)$$

em que,

IAF - índice de área foliar (cm² cm⁻²);

AFP - área foliar total por planta (cm²);

Au - área útil por planta (cm²);

Após a destruição da planta para mensuração e contagem das folhas com o uso da câmara, a planta, folhas e caule foram depositadas dentro de um saco de papel e armazenadas dentro da estufa por 48 horas a uma temperatura de 65°C para diminuição da umidade. Após esse período, quando atingiram peso constante, foram retiradas e pesadas, assim obteve-se a matéria seca de cada planta (MS).

A matéria seca das raízes (MSR) foi obtida da seguinte forma: todo o solo dos vasos, após um período para diminuição da umidade, foi peneirado e toda a raiz separada do solo. A raiz foi posta para secar em ambiente protegido durante 10 dias, até atingir peso constante, e logo após, obteve-se a respectiva massa com auxílio de uma balança de precisão.

3.10 Monitoramento micrometeorológico

No centro da estufa, foi instalada a estação meteorológica Vantage Pro2 da Agrosystem, para aquisição dos dados de temperatura média, umidade relativa média e radiação solar (Figura12). Foram obtidos também os dados da estação do INMET (Estação Climatológica Principal) localizada no câmpus universitário da UFLA, tomando-os como referência para calibragem e comparação.

Figura 12 - Estação meteorológica no centro da estufa.



Para análise e comparação da radiação solar, além da estação meteorológica usada como referência, utilizou-se um piranômetro portátil (equipamento adquirido com o certificado de calibração), (Figura 13). Sua precisão típica, segundo informações do fabricante corresponde a $\pm 5\%$ ou 10 W m^{-2} . Para calibração do equipamento, as medições foram realizadas ao longo do dia, dentro da estufa e ao lado da estação meteorológica a uma altura de aproximadamente 1,6 m. Para avaliação do efeito da transmissividade do filme de cobertura utilizado, obteve-se as leituras da radiação solar incidente externamente à estufa; foram também realizadas leituras próximo ao meio-dia solar, em um ponto fixo e a uma altura de aproximadamente 1,6 m.

Figura 13 - Piranômetro portátil.



A avaliação sistemática da distribuição da temperatura no solo foi realizada com o uso dos sensores termopar do tipo “T”, constituídos de pares termoelétricos (liga metálica) de cobre-constantan, adequados para temperaturas positivas, conferindo acurácia de medição significativa entre 0 e 350 °C (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI, 1982). Os sensores foram inseridos no solo a três profundidades distintas, 5, 15 e 25 cm, e na superfície do solo, tendo esse contato com o ar (Figura 14 A). Os termopares foram conectados a um Datalogger (registrador automático do modelo *FieldLogger* do fabricante NOVUS) programado para armazenar o valor de temperatura observado a cada 15 minutos (Figura 14B).

Figura14 - Distribuição dos sensores no solo e (A) equipamento de registro automático FieldLogger (B).



Os testes estatísticos para avaliações do crescimento de cada cultivar em relação a diferentes tensões de água no solo foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2011).

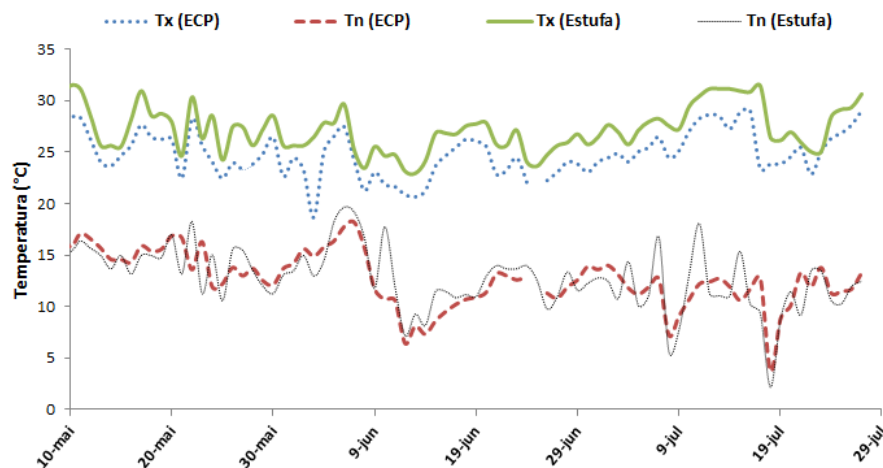
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Informações micrometeorológicas

4.1.1 Temperatura

Na Figura 15, estão dispostas graficamente a variação da temperatura máxima (Tx) e temperatura mínima (Tn) observadas na estação climatológica principal de Lavras (convênio INMET/UFLA) e Tx e Tn observadas pela estação meteorológica automática (EMA) instalada ao centro da estufa

Figura 15 - Comportamento da temperatura do ar no interior da estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio INMET/UFLA), sendo Tx, Tn temperaturas máxima e mínima, respectivamente.



A temperatura máxima observada no interior da estufa apresenta-se, de modo geral, cerca de 2,7°C acima da observada na ECP. Por sua vez, a

temperatura mínima registrada no interior da estufa foi, em média, 0,7°C menor que a registrada na ECP.

Na Tabela 7, estão apresentadas as temperaturas médias de cada mês, dentro da estufa e na ECP. Sá Júnior (2013) observou, em experimento conduzido no mesmo local e em estufa, temperaturas médias semelhantes para os meses em questão.

Tabela 7 - Valores médios mensais da temperatura na estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio INMET/UFLA).

Mês	T. Média (°C)	
	Estufa	ECP
Abril	25,0	22,7
Maio	21,1	18,9
Junho	19,4	16,5
Julho	19,8	17,6

Segundo Purquerio e Tivelli (2006), a temperatura é um elemento agrometeorológico que exerce influência sobre diversas funções vitais dos vegetais, sendo elas: germinação, transpiração, respiração, fotossíntese, crescimento, floração e frutificação. Para produzir sementes de soja de alta qualidade, o ideal é que a temperatura média do ar durante as fases do ciclo fenológico esteja entre 20 e 30°C; a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C (EMBRAPA, 2011).

Nos meses de junho e julho (Figura 15), observam-se longos períodos com temperaturas próximas de 10°C. Essas temperaturas podem explicar alguns distúrbios no crescimento da planta. De acordo com EMBRAPA (2011), as temperaturas menores do que 10°C e acima de 40°C associadas ao *déficit hídrico* têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração.

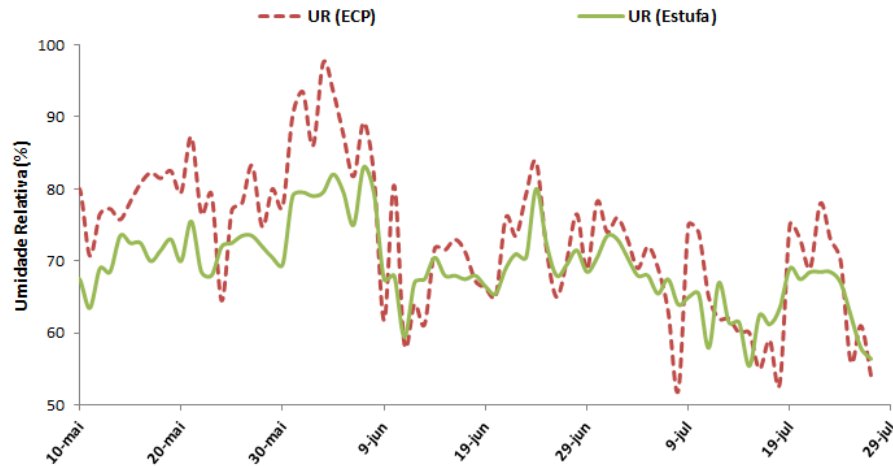
Rodrigues et al. (2001) observaram que nas cultivares precoces o efeito da temperatura é mais importante que o fotoperíodo e sua variação interfere no crescimento e florescimento. O florescimento ocorre tardiamente perante temperaturas baixas, seguindo uma relação inversa (PASCALE, 1969), o que afeta o crescimento da planta.

As temperaturas externas na estufa apresentaram valores inferiores às temperaturas observadas na estufa; esse fato pode agravar as consequências geradas pelas temperaturas baixas, tendo em vista que o cultivo não é realizado em estufas, somente para fins experimentais.

4.1.2 Umidade relativa

Na Figura 16 está disposta graficamente a variação da umidade relativa observada na estação climatológica principal de Lavras-MG (ECP) (convênio INMET/UFLA) e observada pela estação meteorológica automática instalada ao centro da Estufa.

Figura 16 - Variação da umidade relativa média do ar no interior da estufa e na estação climatológica principal de Lavras-MG (convênio UFLA/INMET).



Na estufa, observa-se que a umidade relativa média (UR) tende a oscilar menos em relação aos dados coletados na ECP, e, em média, os valores de UR são menores na estufa, fato esperado, pois a UR é inversamente proporcional à temperatura, como a temperatura no interior da estufa é maior, espera-se uma menor UR. Outros fatores podem influenciar o comportamento da umidade relativa na estufa, como o vento e a radiação; de acordo com Buriol et al. (2000), a variação da UR no interior das estufas agrícolas depende da temperatura e da circulação do ar.

4.1.3 Fotoperíodo e floração

A duração astronômica do dia (fotoperíodo) é dada em função da declinação solar e da latitude do local, e essa pode interferir no crescimento da cultura. A soja é sensível ao fotoperíodo; dias curtos implicam floração precoce.

O experimento foi conduzido fora dos meses recomendados para o cultivo da soja na região, devido ao vazio sanitário, e recomenda-se o plantio entre outubro e dezembro, por serem meses mais quentes, com maior volume de chuva e dias longos, e as cultivares analisadas no presente trabalho apresentam florescimento entre 58 e 63 dias após a emergência.

A correção de horas, por iluminação, do fotoperíodo, pode ser observada na Tabela 4.

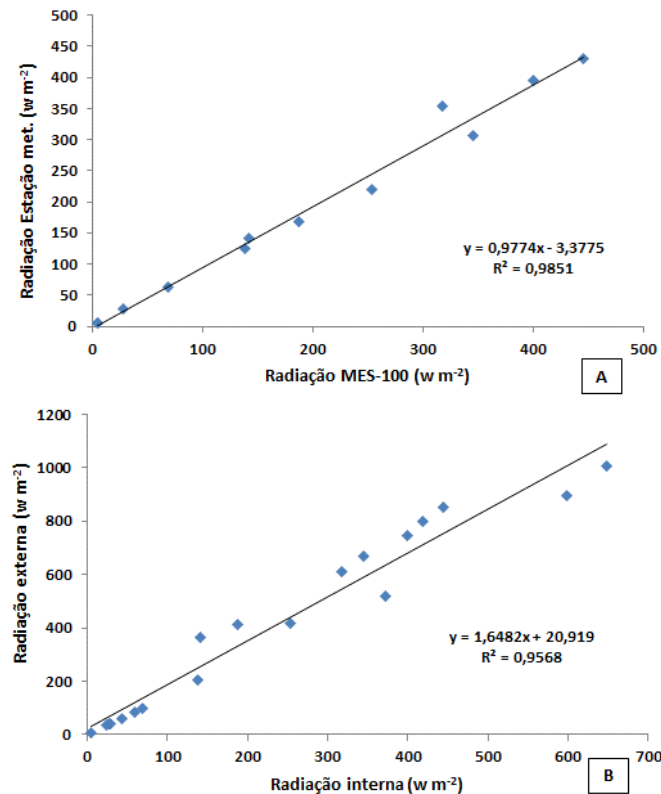
Para tensões de água no solo mais elevadas, 25, 40 e 60 kPa, o florescimento ocorreu entre os dias 58 a 60 após a emergência (DAE) e, para tensões mais baixas, 7 e 12 kPa, o florescimento ocorreu entre 60 e 63 DAE.

Rodrigues et al. (2001) encontraram, para temperatura média e durações dos dias semelhantes ao presente estudo, um número de dias para o florescimento próximo a 60 dias; observaram também que em temperaturas próximas de 30°C o incremento de horas de luz não interfere significativamente no número de dias para o florescimento, e, em dias com temperatura média de 19°C, o acréscimo de 3 horas no fotoperíodo pode acarretar no triplo de dias para o florescimento.

4.1.4 Radiação solar incidente

Na Figura 17, observam-se os valores de radiação solar obtidos pela EMA, e os valores de radiação solar observados no piranômetro portátil. Note-se uma boa relação entre ambos no interior da estufa, uma vez que o R^2 foi igual a 0,985 (Figura 17A), e observou-se, também, uma boa relação entre os valores de radiação solar no exterior e interior da estufa (Figura 17B), sendo o valor de R^2 igual a 0,956, com uma diminuição, em média, dependendo do horário da coleta, da intensidade da radiação no interior da estufa, que variou entre 20 e 57%.

Figura 17 - Valores de radiação solar registrada pela estação meteorológica na estufa e pelo piranômetro no interior da estufa (A) e relação da radiação no interior e exterior da estufa (B).



Segundo Galvani, Escobedo e Pereira (2001), a estufa com cobertura de polietileno diminui a intensidade da incidência de energia solar por unidade de área no período diurno e, também, as perdas por emissão à noite, e, de acordo com Holcman e Sentelhas (2012), a quantidade de energia solar interceptada no interior da estufa varia de acordo com a cobertura usada.

Segundo Melges, Lopes e Oliva (1989), o sombreamento aumenta a eficiência de conversão de energia para a soja; no entanto, a taxa de crescimento da cultura diminui com o decréscimo da radiação solar.

Na Tabela 8, pode ser visualizada a energia solar média de cada mês, dentro da estufa medida pelo piranômetro portátil. Sá Júnior (2013) encontrou valores próximos ao do presente trabalho, atribuindo as pequenas diferenças dos resultados às condições meteorológicas reinantes em cada período de estudo e à manutenção e tempo de uso da cobertura de polietileno.

Tabela 8 - Valores médios mensais da energia solar.

Mês	Energia solar ($w m^{-2}$) estufa
Abril	487
Maio	441
Junho	447

Nos meses nos quais o cultivo é recomendado, a energia solar média é em torno de $1000 w m^{-2}$ ao meio-dia solar, quase o dobro do observado nos meses de condução do experimento, devido às características do material de cobertura. A baixa incidência da energia solar pode ocasionar redução do desenvolvimento da cultura.

O acúmulo de biomassa por meio do processo fotossintético está fortemente relacionado à absorção de radiação pelas plantas em comprimentos de ondas do visível (0,4 a 0,7 μm), faixa conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (FONTANA et al., 2012). Com a baixa incidência de radiação, a RFA diminui, e com isso, o acúmulo de biomassa por meio da fotossíntese diminuiu.

A planta utiliza algumas estratégias para compensar a baixa energia solar incidente, e nessas condições, a planta fecha parcialmente os estômatos e perde menos água para o ambiente, enquanto a fotossíntese continua a ser realizada, porém, em menores taxas (PEREIRA, 2002). Esse comportamento pode ser mais evidenciado na fase vegetativa, pois nesse estágio de desenvolvimento, a soja compensa a menor perda de água em condições de

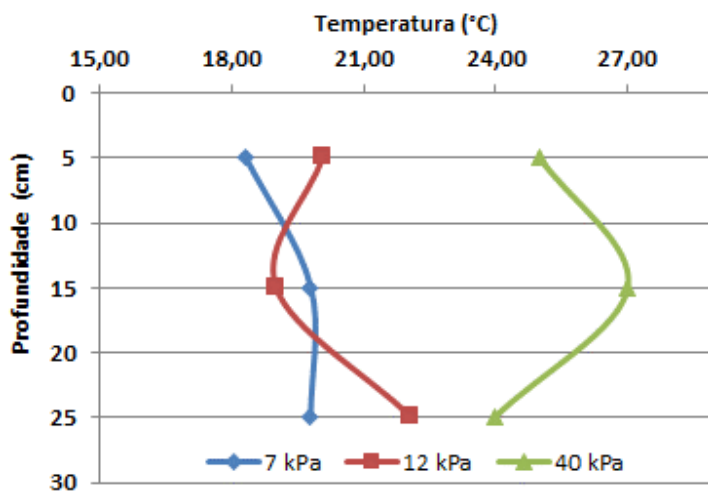
estresse com maior eficiência no uso de radiação. Sob estresse severo Confalone e Navarro (1999) observaram uma diminuição na eficiência da transformação da energia solar em fitomassa, devido ao aumento da resistência estomática e consequente diminuição na absorção de CO_2 e fotossíntese.

4.1.5 Temperatura do solo

Na Figura 18, observa-se o comportamento em média da temperatura no solo durante os meses de abril, maio e junho.

Os tratamentos com elevadas tensões, menor umidade, atingiu temperaturas bem acima dos tratamentos com maior umidade.

Figura 18 - Comportamento médio da temperatura no solo, nas tensões 7, 12 e 40 kPa, em função da profundidade do solo para os meses de abril a junho de 2016 no interior da estufa.



A temperatura observada no período inicial, umidade em todos os tratamentos com valores próximos à umidade na capacidade de campo, foi em

torno de 19°C. De acordo com EMBRAPA (2013b), a faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme. Semeadura em solo com temperatura média inferior a 18°C pode resultar em drástica redução nos índices de germinação e de emergência, além de tornar mais lento esse processo.

Mesmo com temperaturas próximas a 18°C, a cultura germinou dentro do número de dias esperado, porém, cerca de 25% não germinaram. Por sua vez, Barzotto et al. (2012) observaram que a 15°C o índice de germinação ficou próximo de zero; a 20°C, a germinação ficou próxima de 50%, este valor pode acarretar grandes perdas, inviabilizando o cultivo.

4.2 Manejo da irrigação

4.2.1. Lâmina de água em função da tensão de água no solo

Na Tabela 9, observam-se os valores de lâmina de água aplicados em cada tratamento e os números de irrigações realizadas no período experimental. Durante os 20 primeiros dias após a emergência (DAE), fase de estabilização, também conhecido como fase de “pegamento” da cultura, o solo foi mantido próximo à capacidade de campo para todos os tratamentos. Os períodos de germinação e de enchimento dos grãos são considerados os mais sensíveis ao estresse hídrico, sendo esses períodos fundamentais para o crescimento e rendimento das plantas (CASAGRANDE et al., 2001).

Tabela 9 - Lâmina de água aplicada em cada tratamento de tensão de água no solo durante o período de condução do experimento.

Tensão (kPa)	Lâmina		
	Tensão observada (kPa médio)	Lâm. Acumulada (mm)	Num. Irr.
7	8,3	191,97	49
12	12,8	140,65	29
25	24,4	103,12	19
40	38,9	89,53	16
60	59,0	90,86	16

A tensão a 7 kPa foi a mais próxima da tensão referente à capacidade de campo (3,3 kPa). A tensão a 7 kPa foi 85% da umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), a tensão a 12 kPa referente à umidade de 62% da θ_{cc} , as tensões 25, 40 e 60 kPa referem-se à umidade próxima de 50% da cc.

Segundo Trautmann et al. (2014), analisando o crescimento da soja em relação ao potencial de água no solo, concluíram que o desenvolvimento da cultura da soja não foi influenciado em solo com umidade de 65 % da capacidade de campo, corroborando ao presente trabalho.

De acordo com EMBRAPA (2011, 2013b), o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível (umidade na capacidade de campo) e nem ser inferior a 50%, e sua necessidade de água vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração e enchimento de grãos (7 a 8 mm dia⁻¹)

Observando a Tabela 9, somente as tensões a 7 e 12 kPa apresentaram valores próximos ao recomendado, 150 a 325 mm até o florescimento segundo EMBRAPA (2004). Nas demais tensões, problemas decorrentes ao estresse hídrico, como baixo índice de área foliar, foram inevitáveis.

4.3 Avaliação do crescimento

4.3.1 Índice de área foliar pelo método linear

Com as dimensões lineares das folhas, P e L foram estimados os valores de área foliar (AF), com o uso de diversas equações apresentadas na Tabela 1, posteriormente foram comparadas e correlacionadas, por regressão linear, com os valores de AF observados com o uso da câmera e processadas no programa ImageJ®.

Tabela 10 - Equações e seus respectivos parâmetros para o cálculo da área foliar (AF).

N°	Equação	Parâmetros				R ²	Relação (est./obs)
		a	b	c	d		
1	$a \cdot [(P+L)/2]^2$	0,7811	-	-	-	0,972	1,0033
2	$a \cdot (P)^2$	0,4554	-	-	-	0,842	1,0048
3	$a \cdot (P \cdot L)$	0,6765	-	-	-	0,987	0,996
4	$a \cdot (L)^2$	1,5263	-	-	-	0,944	0,9442
5	$a \cdot P + b \cdot L + c$	2,8945	9,4954	-41,20	-	0,972	1,0111
6	$a \cdot P^2 + b \cdot L + c$	0,1437	8,9411	-24,72	-	0,978	1
7	$a \cdot P^3 + b \cdot L^2 + c \cdot (P+L) + d$	0,0049	0,5716	1,3984	-6,10	0,992	1
8	$a \cdot L^3 + b \cdot P^2 + c \cdot (P+L) + d$	0,0405	0,017	3,1373	-19,3	0,992	1

Os parâmetros das equações foram obtidos com o uso da ferramenta Solver do Excel®.

De acordo com Adami et al. (2008), o uso da câmera digital, método de imagem, confere ótimos resultados na medida da AF, similar ao aparelho integrador de AF LI-COR®, mas, com a vantagem de ser um método com menores custos e sem dependência de calibração. É comum o uso de medidas lineares para estimativa da AF, pois se trata de um método não destrutivo e pode ser realizado durante todo o ciclo da cultura. Adami et al. (2008), na estimativa da AF pelo método de dimensões foliares, utilizaram a equação da AF igual a $(P \times L) \times 0,7104$ com R² igual a 0,987 para a variedade Coodetec 205.

Considerando a equação 3, do presente trabalho na Tabela 10, o parâmetro da equação difere da encontrada por Adami et al. (2008), porém o valor de R^2 é igual.

Todos os valores de R^2 calculados, para todas as equações, foram satisfatórios; no entanto, para o cálculo da área foliar (AF) com os dados levantados em campo (P e L), utilizou-se a equação número 7, apresentada na Tabela 10, e assim, considerando a área ocupada pela planta, calculou-se o índice de área foliar (IAF) por planta.

Na análise de variância (Tabela 11), observou-se que a tensão (T) é significativa a 1% em todas as épocas avaliadas ao longo do ciclo da cultura até o florescimento. Entretanto, a cultivar (C) foi significativa somente na primeira avaliação, nas demais avaliações, a cultivar não apresentou níveis de significância. A interação (TxC) não foi significativa no ciclo avaliado.

Tabela 11- Resumo da análise de variância (ANAVA) da variável vegetativa índice de área foliar (IAF) em função da tensão (T) e cultivar (C) durante o ciclo da cultura.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO – QM			
		IAF_20	IAF_32	IAF_45	IAF_58
Tensão (T)	4	0,179**	0,790**	1,97**	8,791**
Cultivar (C)	2	0,208**	0,376n	0,823n	0,446n
TxC	8	0,03n	0,064n	0,125n	0,319n
Erro	60	0,039	0,132	0,267	0,242
CV	%	44,22	52,25	56,89	34,22

** Significativo a 1%, * significativo a 5% e (n) não significativo pelo teste F.

Os CVs foram altos devido à dificuldade em mensurar as dimensões lineares, P e L, em campo.

Observa-se na Tabela 12 que os índices de área foliar, ao longo do ciclo estudado, em termos médios, tiveram um melhor comportamento, ajustando-se

modelos de segundo grau, com boa correlação na última avaliação (IAF_58). A baixa correlação observada a 20 dias após a emergência (DAE) se deve ao pouco tempo de diferenciação das tensões de água no solo.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) da variável vegetativa índice de área foliar (IAF), ao longo do ciclo até o florescimento, em relação à tensão de água no solo.

FV	GL	IAF_20		IAF_32	
		Qm	R ²	Qm	R ²
Linear	1	0,249*	34,75	1,528**	48,37
Quadr.	1	0,068n	44,35	0,492n	63,94
Desv.	2	0,199**		0,569*	
Erro	60	0,039		0,132	

FV	GL	IAF_45		IAF_58	
		Qm	R ²	Qm	R ²
Linear	1	3,898**	49,48	22,36**	63,59
Quadr.	1	1,486n	68,34	9,576**	90,82
Desv.	2	1,247**		1,614**	
Erro	60	0,267		0,242	

** Significativo a 1%, * significativo e (n) não significativo pelo teste F.

Na Tabela 13, estão apresentadas as médias do IAF de cada cultivar em relação à tensão de água no solo para o 58º dia após a emergência (DAE). Observou-se diferença significativa na última avaliação (58 DAE), próxima ao florescimento, na tensão a 7 kPa; para os outros dias avaliados (20, 32 e 45 DAE), não foi observada diferença significativa em relação às cultivares.

Tabela 13 - Médias do IAF referentes a cada tensão de água no solo (kPa), para as cultivares avaliadas a 58 dias após a emergência (DAE).

CULTIVARES	IAF_58				
	7 kPa	12 kPa	25 kPa	40 kPa	60 kPa
BRS820	2,26b	1,76a	0,85a	1,09a	0,69a
BRS_850	3,22a	1,64a	1,06a	0,87a	1,14a
FAV	2,51ab	1,73a	1,09a	0,82a	0,81a

Médias seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo grupo pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade.

Observa-se que os maiores valores de IAF encontrados foram para a menor tensão de água no solo, maior umidade, em todas as cultivares avaliadas, e a cultivar BRSMG 850 RR apresentou o maior IAF, 3,22 cm² cm⁻², indicando maior crescimento da cultura.

Nas Figuras 19 e Figura 20, observa-se o comportamento IAF em relação à tensão e água no solo (T) para todas as épocas de avaliação. O melhor ajuste para o comportamento do IAF foi o de quarto grau, para todas as cultivares segundo Peixoto (1998), em geral, o aumento linear do IAF em função do DAE com período de crescimento inicial lento até a formação completa das vagens.

Figura 19 - Medida do índice de área foliar por planta em função dos dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.

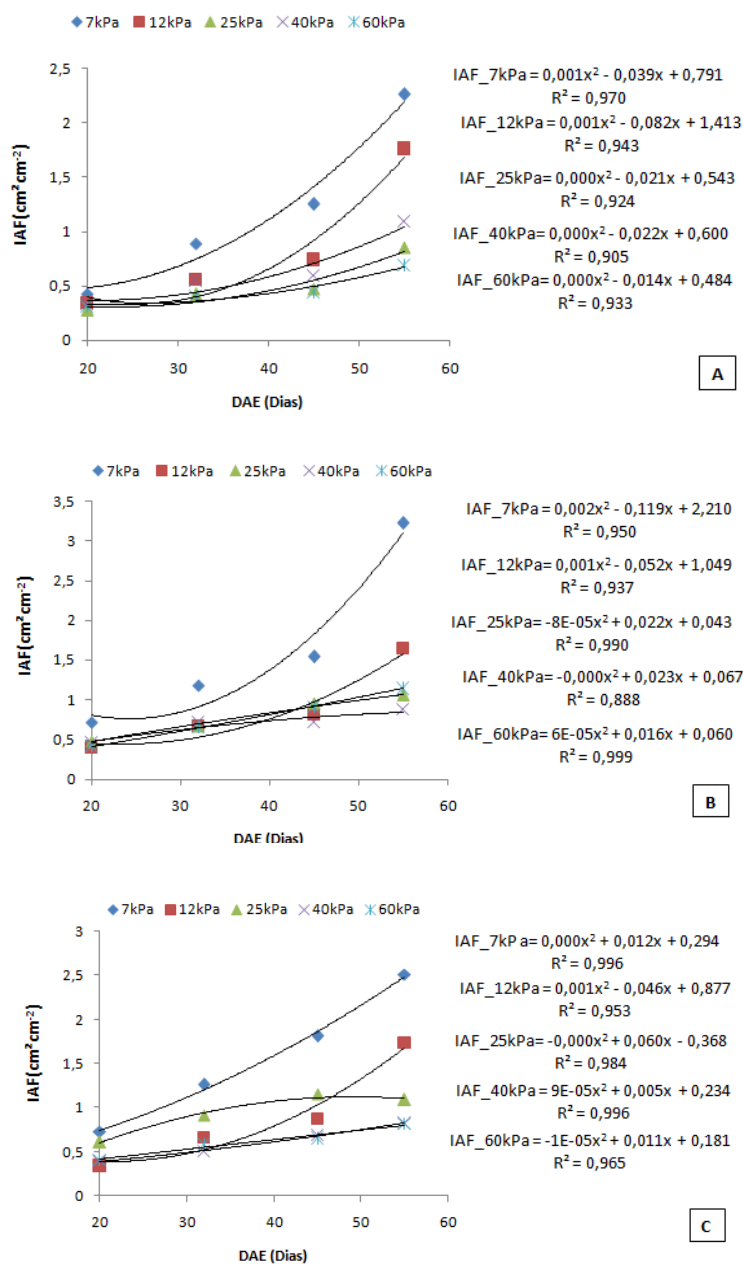
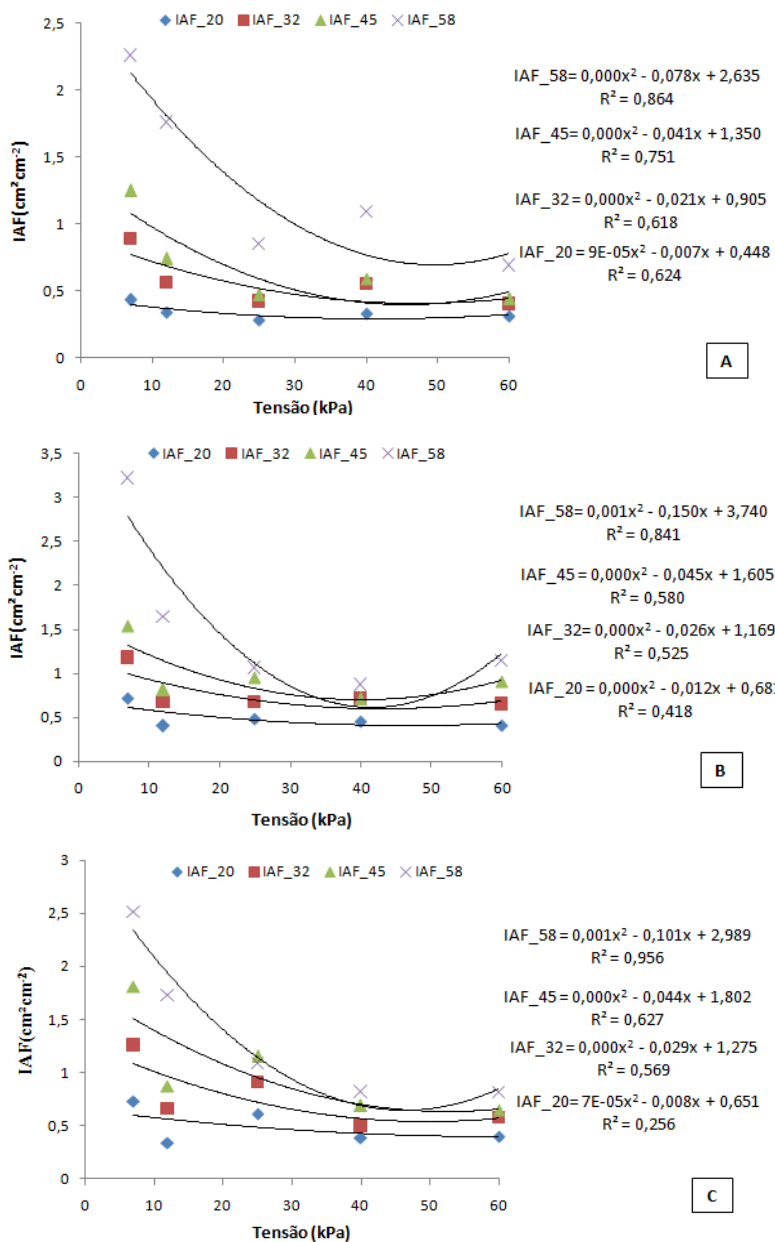


Figura 20 - Medida do índice de área foliar por planta em função das tensões de água no solo para 20, 32, 45 e 58 dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.



Heiffig et al. (2006) observaram que os maiores valores de IAF, para cultivar Conquista, encontram-se entre o estágio de florescimento e início da granação, com valores acima de $3,5 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$, próximo ao valor encontrado no presente trabalho, para a cultivar BRSMG 850 RR (850) (Figura 19) e um pouco superior aos valores de IAF observados para as cultivares BRS Favorita RR (FAV) e BRSMG 820 RR (820), considerando a tensão de água no solo (T) a 7 kPa, cujos valores de armazenamento de água no solo se aproximam dos valores obtidos pelos referidos autores.

Porras, Cayón e Delgado (1997) encontraram valores de IAF que variam de 5,29 a 7,09, para espaçamentos semelhantes, valores acima ao encontrado no presente trabalho. Os valores de IAF observados foram diferentes em relação aos encontrados por Porras, Cayón e Delgado (1997), as baixas temperaturas observadas no período podem ter contribuído para IAF baixo associado a falhas no método de obtenção do IAF empregado. Esse método foi prejudicado na última avaliação, devido à grande quantidade de folhas e quantidades de medidas a serem levantadas, dificultando a medição linear de todas. Como será demonstrado mais adiante no trabalho, que comparado ao encontrado pelo método da imagem, o método linear ficou aquém, subestimando o resultado, devido às dificuldades do método linear; todavia, o outro fator que pode explicar essa discrepância é o fato de as medidas lineares finais, a 58 DAE, terem sido feitas 5 dias antes das imagens, o que contribuiu com o IAF baixo.

4.3.2 Altura da planta

Na análise de variância (Tabela 14), observou-se, para todos os dias avaliados, a tensão de água no solo (T) e cultivar (C) agiram de modo independente em relação à variação da altura, com efeito não significativo da interação T x C. A tensão (T) influenciou significativamente todas as alturas

avaliadas em todo o ciclo, o mesmo observou-se com a cultivar, exceto a 60 DAE, em que a altura não apresentou diferença significativa.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância (ANAVA) da variável vegetativa altura da planta (ALT) em função da tensão (T) e cultivar (C) durante o ciclo da cultura.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO – QM				
		ALT_20	ALT_30	ALT_40	ALT_50	ALT_60
Tensão (T)	4	30.32**	67.13**	122.1**	189.9**	373.26**
Cultivar (C)	2	48.85**	95.46**	127.4**	128.1**	4.67n
TxC	8	7.01n	8.90n	16.55n	12.57n	24.58n
Erro	60	4.61	12.07	21.72	21.60	8.01
CV	%	13,8	16.90	17.38	13.99	6.75

** Significativo a 1%, * significativo e (n) não significativo.

Oliveira et al. (2012) encontraram diferença significativa no crescimento da soja em relação à tensão de água no solo, o mesmo também foi constatado por Beutler e Centurion (2003).

Zambiazzi (2014), avaliando diversas cultivares do grupo RR, encontraram diferença significativa para altura da planta em relação à fonte de variação (FV) cultivar.

Na Tabela 15, estão dispostos os valores de R^2 dos ajustes das equações. A altura da planta, em termos médios, tem um comportamento quadrático com uma boa correlação para 50 e 60 (DAE), a baixa correlação observada a 20, 30 e 40 dias após a emergência (DAE), para ajuste linear e quadrático, ocorreu devido ao pouco tempo de diferenciação das tensões de água no solo, assim, para 20, 30 e 40 DAE, independentemente da tensão, todas as plantas apresentaram altura semelhante.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) da variável vegetativa altura da planta (ALT), ao longo do ciclo até o florescimento, em relação à tensão de água no solo.

FV	GL	ALT_20		ALT_30		ALT_40	
		Qm	R2	Qm	R2	Qm	R2
Linear	1	42.26**	34,84	75.12**	27.97	175.36**	35.90
Quadr.	1	14.42n	46.74	69.71**	53.93	151.33**	66.89
Desv.	2	32.30**		61.85**		80.86*	
Erro	60	4.61		12.07		21.72	

FV	GL	ALT_50		ALT_60	
		Qm	R2	Qm	R2
Linear	1	440.41**	57.96	1110.4**	74.4
Quadr.	1	221.35**	87.09	280.67**	93.2
Desv.	2	49.03n		50.96**	
Erro	60	21.60		8.01	

** Significativo a 1%, * significativo e (n) não significativo.

Na Tabela 16, estão dispostas as médias da ALT de cada cultivar em relação à tensão de água no solo para 60 DAE. Observa-se diferença significativa na última avaliação, 60 DAE, fase do florescimento em que as cultivares se diferenciaram entre si a 7kPa e com a maior média para a altura, 55,3 cm, referente à cultivar BRSMG 820 RR e a 60 kPa, a maior média observada é referente à cultivar BRS Favorita RR.

Tabela 16 - Médias de altura de planta (cm), referente a cada tensão de água no solo (kPa), para as cultivares avaliadas a 60 dias após a emergência (DAE).

CULTIVARES	ALT_60 DAE				
	7 kPa	12 kPa	25 kPa	40 kPa	60 kPa
BRS820	55,33a	46,33a	38,83a	36,83a	34,00b
BRS_850	51,83ab	45,83a	37,00a	38,00a	33,33b
FAV	47,66b	44,00a	39,66a	39,50a	40,50a

Médias seguidas pelas mesmas letras pertencem ao mesmo grupo pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Beutler e Centurion (2003) encontraram, sob diferentes tensões de água no solo e em Latossolo Vermelho Distrófico, características similares à do presente trabalho, altura da planta igual a 50,8 e 56,33 para 50 e 10 kPa, respectivamente. Considerando a tensão 10 kPa com características de umidade do solo similares à da tensão 7 kPa, observa-se uma semelhança entre as medidas de ALT, para as cultivares BRSMG 820 RR e BRSMG 850 RR a 60 DAE; entretanto, a cultivar BRS Favorita RR (FAV) tem valores de altura um pouco abaixo. Considerando a tensão 50 kPa com características similares à da tensão 40 kPa, observam-se valores de ALT, para todas as cultivares a 60 DAE bem abaixo ao valor encontrado por Beutler e Centurion (2003). Os valores da altura da planta a 60 kPa bem abaixo podem ser explicados pelo estresse hídrico sofrido pela cultura a essa tensão, mesmo considerando solo similar, ressaltando-se que a estrutura do solo do presente trabalho foi alterada devido ao peneiramento e, conseqüentemente, houve uma alteração nas suas características quanto à tensão de água no solo e umidade. Solo desestruturado pode apresentar, na mesma tensão de água no solo, umidade abaixo da do solo com estrutura preservada.

Oliveira et al. (2012) encontraram alturas de planta variando de 66,62 a 78,41 cm para diferentes tensões de água no solo e similares ao presente trabalho. Zambiazzi (2014) obteve, para diversas variedades de soja, alturas variando de 66,6 a 99,0 cm. A altura da planta foi aquém do esperado, máximo de 55,33 cm, que era de no mínimo 60 cm. Provavelmente a ocorrência dessa anomalia no crescimento é devida ao período de plantio, abril/2016, com temperatura média abaixo da recomendada. A altura foi considerada até o florescimento; no entanto, a soja apresenta um crescimento máximo até o fim da floração, podendo crescer mais na fase de formação de legume e enchimentos de grão.

Zuffo et al. (2016) conduziram seu trabalho em condições semelhantes de solo e clima, mesma localidade, com cultivares do grupo RR, entre elas BRS

Favorita RR e BRSMG 820 RR, e encontraram, em média, altura da planta no período de florescimento variando entre 49,23 a 59,15 cm, corrobora com os valores obtidos neste trabalho. Sendo assim, apesar da época de plantio, a altura da soja não apresentou grande diferença na menor tensão de água no solo; contudo, nas altas tensões de água no solo, a altura foi afetada.

Nas Figuras 21 e Figura 22 estão representados graficamente o desenvolvimento da ALT em relação a cada avaliação (DAE) e a ALT em relação às tensões de água no solo (T). Observa-se um crescimento quadrático da ALT x DAE com uma ótima correlação para todas as tensões, e maiores valores de ALT para a tensão 7kPa e, na literatura, encontram-se bons ajustes de primeiro segundo e terceiro grau da curva ALT x DAE, para diferentes tensões de água no solo.

Na Figura 22, observa-se uma redução da ALT com aumento da tensão de água no solo (T) segundo uma equação quadrática. Bilibio et al. (2010) encontraram, em estudo com a berinjela, diferença significativa para altura de planta; todavia, foi observado um decréscimo linear da altura com o aumento da tensão de água no solo, o que corrobora com o presente trabalho.

Figura 21 - Altura da planta em função dos dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.

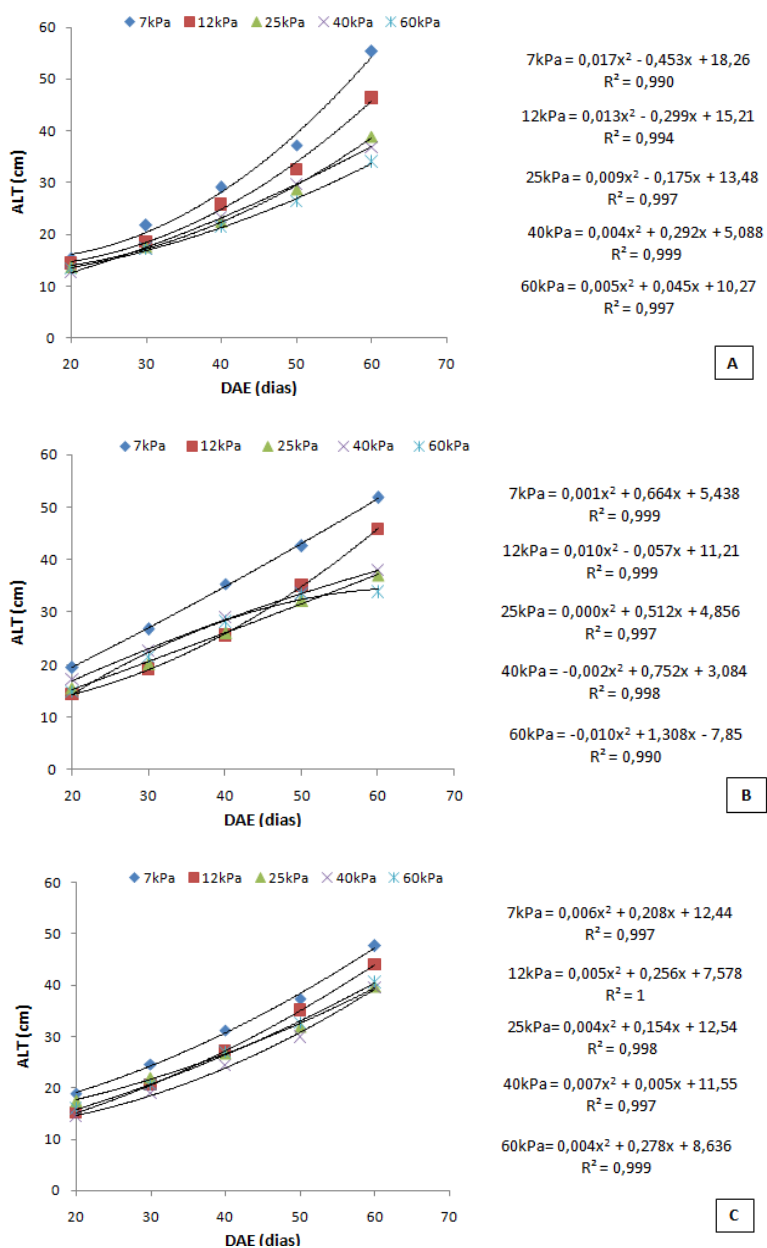
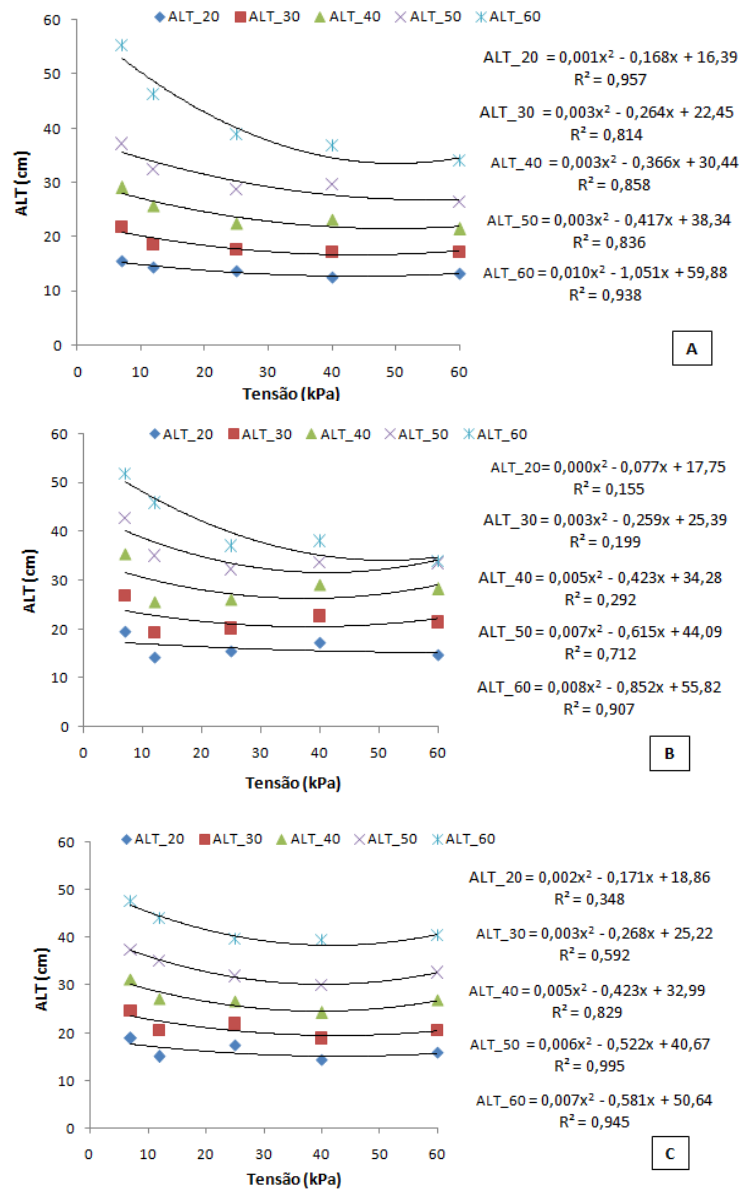


Figura 22 - Altura da planta em função das tensões de água no solo para 20, 32, 45 e 58 dias após a emergência e suas respectivas equações ajustadas. Gráficos A, B e C são referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.



4.3.3 Número de folhas, índice de área foliar, massa seca e massa seca das raízes

No florescimento (R2) da cultura, 62 dias após a emergência, realizaram-se os cortes de todas as plantas e, posteriormente, fizeram-se as imagens de todas as folhas para avaliação do número de folhas (NF), índice de área foliar (IAF) pelo método da imagem, massa seca (MS) e massa seca das raízes (MSR).

No resumo da análise de variância individual apresentado na Tabela 17, observa-se que houve diferença significativa para número de folhas por planta (NF), índice de área foliar (IAF), massa seca (MS) e massa seca das raízes (MSR) em relação à fonte de variação (FV) tensão de água no solo. Considerando a FV cultivar e a interação tensão x cultivar (T x C), ocorreu diferença significativa para as variáveis vegetativas NF e IAF; entretanto, a MS e MSR não apresentaram diferença significativa.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância (ANAVA) do número de folhas por planta (NF), índice de área foliar (IAF), massa seca da parte da aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) em função da tensão (T) e cultivar (C) no florescimento.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO – QM			
		NF	IAF	MS	MSR
Tensão (T)	4	571,55**	22,58**	163,6**	28,07**
Cultivar (C)	2	76,80*	3,53**	0,04n	1,40n
TxC	8	38,74*	1,53**	2,35n	0,67n
Erro	60	15,59	0,47	4,68	1,24
CV	%	21,02	28,44	19,72	33,00

** Significativo a 1%, * significativo a 5% e (n) não significativo.

Diversos relatos na literatura, para diversas culturas, entre elas a soja, indica uma variação significativa do índice de área foliar em relação à tensão de

água no solo (BISCARO et al., 2011; FRANÇA; BERGAMASCHI; ROSA, 1999; MENEGHETTI et al., 2008) corroboram com os relatos do presente trabalho.

Trautmann et al. (2014) não encontraram diferença significativa na produção de matéria seca em relação a diferentes níveis de tensão de água no solo, diferentemente do encontrado por Mattos, Gomide e Huaman (2005), em que estudos com *Brachiaria* spp. observaram uma diminuição linear significativa, com o potencial hídrico do solo na produção de matéria seca de lâminas foliares.

Kuss et al. (2008) encontraram diferença significativa na MS da parte aérea no cultivo da soja para diferentes volume de água aplicada, com um aumento de 41% na MS da cultura irrigada em relação à não irrigada.

Os valores de NF, IAF e MS indicaram um melhor ajuste quadrado do que linear em relação aos níveis de água no solo (Tabela 18).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância e regressão linear (ANOVA) do número de folhas por planta (NF), índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) no florescimento, em relação à tensão de água no solo.

FV	GL	NF		IAF	
		Qm	R ²	Qm	R ²
Linear	1	1622,1**	70,95	58,96**	65,27
Quadr	1	450,14**	90,64	23,44**	91,22
Desv.	2	106,97**		3,96**	
Erro	30	15,59		0,47	

FV	GL	MS		MSR	
		Qm	R ²	Qm	R ²
Linear	1	399,4**	61,01	69,8**	62,15
Quadr	1	158,9**	85,29	24,65**	84,10
Desv.	2	48,15**		8,92**	
Erro	30			1,24	

** Significativo a 1%, * significativo a 5% e (n) não significativo.

Na Tabela 19, estão apresentadas as médias do IAF, MS e MSR de cada cultivar em relação à tensão de água no solo. Observa-se que as cultivares apresentam maiores valores, em todas as variáveis analisadas, na tensão de 7kPa e à medida que aumenta a tensão de água no solo, os valores vão diminuindo.

Tabela 19 - Médias do índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea da planta (MS) e massa seca da raiz (MSR) referente a cada tensão de água no solo (kPa) para o Florescimento a 60 DAE, para as cultivares avaliadas.

CULTIVARES	IAF				
	7 kPa	12 kPa	25 kPa	40 kPa	60 kPa
BRS820	6,38a	4,30a	1,17a	1,59a	1,28a
BRS_850	4,76b	2,94ab	1,55a	1,30a	1,14a
FAV	3,47 b	2,32b	1,41a	1,51a	1,21a

CULTIVARES	MS (g)				
	7 kPa	12 kPa	25 kPa	40 kPa	60 kPa
BRS820	16,7a	12,8a	8,10a	9,20a	8,30a
BRS_850	16,3a	11,6a	9,60a	9,30a	7,90a
FAV	16,2 a	11,1a	9,20a	9,10 ^a	9,20a

CULTIVARES	MSR (g)				
	7 kPa	12 kPa	25 kPa	40 kPa	60 kPa
BRS820	5,73a	4,26a	2,33a	3,21a	2,13a
BRS_850	5,06a	3,40a	2,23a	2,66a	2,16a
FAV	6,00a	3,66a	2,93a	2,33a	2,53a

** Significativo a 1%, * significativo a 5% e (n) não significativo.

Para o IAF, foi observado um melhor desempenho da cultivar BRS 820 RR, à tensão de água no solo (T) de 7kPa, e essa diferenciou-se significativamente da BRS 850 RR e da BRS Favorita RR, o mesmo observou para T igual a 12kPa; entretanto, a BRS 820 RR não diferenciou estatisticamente

da cultivar BRS 850 RR para essa tensão. Para as demais tensões (25, 40 e 60 kPa) o IAF não apresentou diferença significativa, com valores bem próximos.

Moreira et al. (2010) calcularam a área foliar do cultivar BRS Favorita RR, com densidade de plantas similares ao presente trabalho, e assim, convertendo para IAF, os valores encontrados se assemelham com os valores de IAF para a tensão de 12 kPa do presente trabalho.

Os valores de IAF encontrados foram inferiores para BRSMG 850 RR e BRSMG 820 RR, em todos os níveis de tensão de água no solo, comparados aos valores encontrados por Porras, Cayón e Delgado (1997), que variam de 5,29 a 7,09; todavia, o valor do cultivar BRSMG 820 RR a 7 kPa apresenta valor de 6,38, próximo ao valor máximo encontrado pelos referidos autores. Rizzi e Rudorff (2007) estimaram por meio de imagens de satélite IAF próximo de 6,0 e Fontana, Berlato e Bergamaschi (1992) encontraram aproximadamente 6,3 de IAF para soja irrigada.

Esses valores de IAF encontrado, abaixo do esperado, principalmente para as cultivares BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR a 7 kPa e para todas as cultivares a 12 kPa, considerando que a disponibilidade de água é satisfatória, podem ser explicados pela época de plantio e pelas temperaturas baixas observadas no período, cujos ramos e folhas não se desenvolveram dentro do esperado. Nas tensões 25, 40 e 60 kPa, houve poucos ramos desenvolvidos além da época de plantio, em razão da baixa disponibilidade de água, o que afetou seu desenvolvimento.

A massa seca (MS) observada a 7kPa obteve os maiores valores para todas as cultivares analisadas, embora não significativos, o mesmo foi observado para as demais tensões.

Moreira et al. (2010) observaram, em média, 23 gramas de massa seca da parte aérea por planta, em estudos com a cultivar BRS Favorita RR, valores esses superiores aos encontrados no presente trabalho, mesmo considerando os

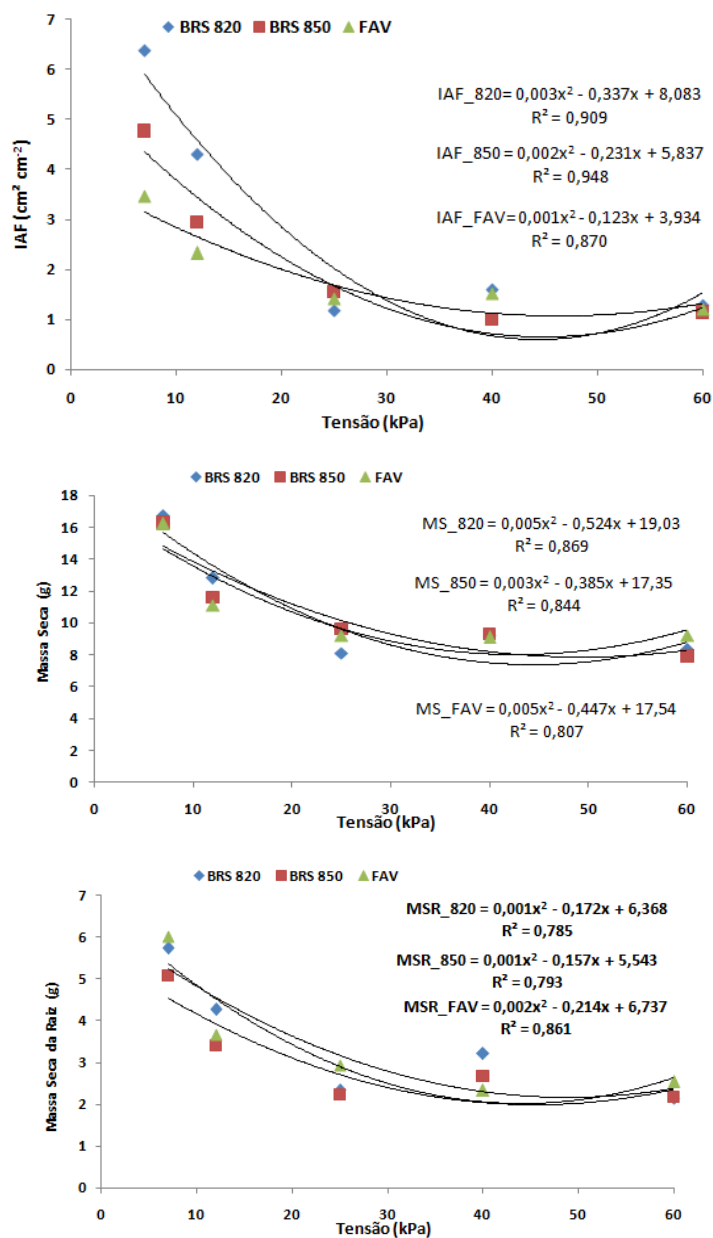
maiores valores, referente a 7kPa. Essa discrepância encontrada pode ser explicada pelo baixo grau de desenvolvimento dos ramos secundários, devido à época do plantio.

Santos et al. (2003) encontraram 21,5g planta⁻¹ de massa seca total para soja irrigada, logo após o florescimento. Esse valor encontrado, acima do observado no experimento, pode ser explicado pela época da análise, após o florescimento, onde a planta pode ter acumulado mais massa seca durante o florescimento; no entanto, observa-se que a disponibilidade de água, a partir de 25 kPa, afetou o acúmulo de massa da parte aérea, a tensão à 7 kPa obteve, em média, 85% mais massa seca do que as tensões acima de 25 kPa.

Houve diminuição da massa seca das raízes (MSR) com o aumento da tensão de água no solo, e o maior valor observado foi 6g na cultivar BRS Favorita RR a 7 kPa. Beutler e Centurion (2003) encontraram na melhor condição de solo solto e solo a 10 kPa valores próximos à capacidade de campo, matéria seca da raiz próximo de 2 gramas, e a tensão 50 kPa valores de matéria seca da raiz próximos de 0,9 gramas.

Na Figura 23 estão dispostos os valores IAF, MS e MSR em função das tensões de água no solo.

Figura 23- Gráficos do índice de área foliar, massa seca da parte aérea da planta e massa seca da raiz em função das tensões de água no solo para 60 dias após a emergência (florescimento) e suas respectivas equações ajustadas referentes às cultivares BRSMG 820 RR, BRSMG 850 RR e BRS Favorita RR.



Com o aumento da tensão de água no solo, há redução do IAF, podendo ser observada uma queda brusca no IAF a 7 kPa para a tensão a 25 kPa; nas demais tensões estudadas o comportamento é semelhante entre si.

Observou-se um aumento do IAF e da altura da planta com a redução da tensão, sendo assim, o aumento da massa seca observado era esperado, seguindo o mesmo comportamento.

Esperava-se um comportamento diferente ao apresentado no gráfico massa seca de raiz x tensão, a tendência era que houvesse um maior desenvolvimento das raízes com o estresse hídrico, porém, o inverso foi observado, fato este que pode ser explicado pela limitação do solo a ser explorado pela cultura, vaso com 40 cm de profundidade. A planta sob restrição hídrica desenvolve seu sistema radicular mais profundamente, seguindo uma linha vertical em busca de umidade, e quando há umidade suficiente, a planta desenvolve seu sistema radicular nas primeiras camadas de solo, expandindo suas raízes horizontalmente. A baixa umidade no solo nas tensões altas fez com que a cultura desenvolvesse seu sistema radicular linearmente até grandes profundidades; entretanto, com a restrição da profundidade, as raízes não se desenvolveram plenamente; nos tratamentos à baixa tensão, a cultura desenvolveu seu sistema radicular nas primeiras camadas, o que foi suficiente para seu desenvolvimento.

O IAF, MS e MSR nas tensões 25, 40 e 60 kPa tiveram praticamente a mesmas médias (Figura 23), grandes diferenças só foram observadas nas tensões 12 e 7kPa. Diante das condições do solo em questão, observando características da curva de retenção, as tensões de água no solo a 25, 40 e 60 kPa apresentam baixa disponibilidade de água à planta. Segundo a EMBRAPA (2011), o conteúdo de água no solo não deve ser inferior a 50% do total máximo de água disponível (umidade na capacidade de campo); sendo assim, as tensões de 25, 40 e 60 kPa causaram um estresse hídrico excessivo para as plantas, fato esse que

fez com que o desenvolvimento da cultura fosse bem aquém do esperado nessas tensões.

5 CONCLUSÕES

- a) Os maiores crescimentos da soja, até o florescimento, foram nos tratamentos irrigados com tensão a 7 kPa decrescente, com o aumento das tensões de água no solo;
- b) As tensões 25, 40 e 60 kPa tiveram uma lâmina acumulada abaixo da recomendada, acarretando em estresse hídrico na cultura;
- c) Isoladamente a cultivar BRS MG 820 RR atingiu a maior altura e maior IAF a 7 kPa.,

REFERÊNCIAS

ADAMI, M. et al. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, out. 2008.

ADARME-VEGA, T. C.; THOMAS-HALL, S. R.; SCHENK, P. M. Towards sustainable sources for omega-3 fatty acids production. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 26, p. 14-18, Apr. 2014.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI-MC-96.1**. Washington, 1982.

ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 26-33, 2000. Suplemento.

ASSIS, S. de. Efeito da orientação da estufa de polietileno na radiação solar, em estações distintas do ano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 219-226, 2004.

BARZOTTO, F. et al. **Resposta de cultivares de soja à germinação sob temperatura ótimas**. 2012. Disponível em: <<http://www.unifra.br/eventos/sepe2012/Trabalhos/5625.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

BASSINELLO, P. Z.; NAVES, M. M. V. Bioquímica e saúde humana. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2006. v. 2, p. 31-52.

BECKMANN, M. Z. et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFÖS, 1987. p. 13-45.

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

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 849-856, jul. 2003.

BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.

BISCARO, G. A. et al. Efeito de diferentes níveis de fertirrigação nas características morfofisiológicas de espinafre. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 487-493, 2011.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 4, p. 666-669, out./dez. 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Brasília, DF, 2012. 215 p. Edição especial.

BURIOL, G. A. et al. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 11-18, 2000.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Mundi, 1996. 511 p.

CAMPOS, M. A. O. et al. Perdas na colheita mecanizada de soja no Estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 207-213, 2005.

CARVALHO, D. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 240 p.

CASAGRANDE, E. C. et al. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.

CERMEÑO, Z. S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufa**. Lisboa: Litexa, 1993. 366 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento: safra 2015/2016**.

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_12_08_19_boletim_graos_agosto_2016.pdf>. Acesso em: 1 maio 2016.

CONFALONE, A.; NAVARRO, M. D. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5, n. 3, p. 195-198, 1999.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Climatic classification and tendencies in Lavras region, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1862-1866, 2007.

DEXTER, A. R.; BIRD, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, p. 203-212, 2001.

DONG, Y. S. et al. The genetic diversity of cultivated soybean grown in China. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 108, n. 5, p. 931-936, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivares convencionais de soja macrorregiões 3, 4 e 5**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2013a. 51 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1996/97**. Londrina, 1996. 149 p. (Documentos, 88).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006a. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012/2013**. Londrina, 2011. 76 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2014**. Londrina, 2013b. 265 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Tecnológico de Pesquisas Agropecuárias. **Cultivares de soja transgênicas da Embrapa indicadas para o sistema de produção da região do cerrado**. 2006b. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/baixar/1094/t>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, p. 661-669, 1992.

FONTANA, D. C. et al. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados dosensor Modis. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 563-571, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Soybean**. Rome, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

FREITAS, E. D. **Apostila de agrometeorologia**: fundamentos de ecofisiologia aplicada. São Paulo: Departamento de Ciências Atmosféricas - IAG/USP, 2005. 145 p.

FRONZA, V. et al. Extensão de indicação da cultivar de soja BRSMG 850GRR para o estado de Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011, São Pedro. **Resumos Expandidos...** Londrina: EMBRAPA Soja, 2011. p. 276-277.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 139-147, 2001.

van GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 44, p. 892-898, 1980.

GLIESSMAN, R. S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000. 182 p.

GURGEL, F. L. **A cultura da soja**. 2007. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=383>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 858-863, ago. 2012.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. Lighting handbook: nonvisual effects of radiant energy on plants. In: _____. **Lighting handbook**. New York, 1981. p. 19-31.

JIANG, A. C. D. et al. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybeanleaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 55, n. 1/2, p. 87-96, Jan. 2004.

KITTAS, C.; BAILLE, A.; GIAGLARAS, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouse. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Ohio, v. 73, p. 341-351, 1999.

KUSS, R. C. R. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.

LEITÃO, M. de M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. de O. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 214-218, 2000.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MAROUELLI, W. A. et al. Desenvolvimento e qualidade de ervilha sob diferentes tensões de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p. 1041-1047, 1991.

MARTINS, S. R. et al. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 15-23, set./dez. 1999.

MARTORANO, L. G. et al. Evaluation of the CROPGROW/DSSAT model performance for simulating plant growth and grain yield of soybeans subjected and no-tillage and conventional systems in the Subtropical Southern Brazil. **Italian Journal of Agronomy**, Pavia, v. 3, p. 795-796, 2008.

MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. J.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies o gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, p. 746-754, 2005.

MELGES, E.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 9, p. 1065-1072, set. 1989.

MELLO, C. R. et al. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, set./out. 2002.

MENEGHETTI, A. M. et al. Análise de crescimento de minimilho submetido a lâminas de Irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 211-216, 2008.

MENGEL, K.; KIRBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001. 687 p.

MITCHELL, R. L.; RUSSEL, W. I. Root development and rooting patterns of soybeans (*Glycine, max (L.) Merrill*) evaluated under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 3, n. 63, p. 313-316, 1971.

MOREIRA, A. R. et al. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

MORTVEDT, J. J. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 38, p. 213-221, 1994.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1989. 201 p.

OLIVEIRA, P. R. et al. Qualidade física de um latossolo vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 587-597, mar./abr. 2012.

PADUA, G. P. de et al. Zoneamento agroclimático do estado de Minas Gerais para a produção desemente de soja de alta qualidade. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 413-418, 2014.

PARKER, M. W.; BORTHWICK, H. A. Influence of temperature on photoperiodic reactions in leaf blades of Biloxi soybean. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 104, p. 612-619, 1943.

PASCALÉ, A. J. Tipos agroclimáticos para el cultivo de la soya en la Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía e Veterinaria**, Buenos Aires, v. 17, p. 31-38, 1969.

PEIXOTO, C. P. et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I., componentes da produção e rendimentos de grãos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PEIXOTO, C. P. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**. 1998. 151 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1998.

PELUZIO, J. M. et al. Efeito da época e densidade de semeadura na produtividade de grãos de soja na Região Centro-Sul do Estado do Tocantins. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 145-153, 2010.

PEREIRA, C. R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. 2002. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

PHENE, C. J.; ALLEE, C. P.; PIERRO, J. D. Soil matric potential sensor measurements in real time irrigation scheduling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 16, p. 173-185, 1989.

PORRAS, C. A.; CAYÓN, D. G.; DELGADO, O. A. Comportamento fisiológico de genótipos de soya em diferentes arreglos de siembra. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 47, n. 1, p. 9-15, 1997.

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

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: _____. **Manual técnico de orientação: projeto hortalimento**. São Paulo: Codeagro, 2006. p. 15-29.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 929-938, 2000.

RAPER, F. L. C.; BARBER, S. A. Rooting systems of soybean: 1., differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 581-584, 1970.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 1, p. 73-80, jan. 2007.

RODRIGUES, O. et al. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 431-437, mar. 2001.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Manejo de irrigação e análise micrometeorológica em diferentes ambientes protegidos no cultivo da gérbera**. 2013. 112 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SANGOI, L. Aptidão dos campos de Lages (SC) para produção de milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, p. 51-63, jan. 1993.

SANTOS, J. B. et al. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 147-153, 2003.

SANTOS, T. L. Soja. In: CASTRO, P.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. (Ed.). **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2008. p. 158-175.

SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. 314 p.

SOARES, L. A. A. et al. Cultivo do tomateiro na fase vegetativa sobre diferentes lâminas de irrigação em ambiente protegido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campus de Patos, v. 8, n. 2, p. 38-45, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TRAUTMANN, R. R. et al. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 240-251, jan./fev. 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National nutrient database for standard reference, release 25**. Washington, 2013. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md/beltsville-human-nutrition-research-center/nutrient-data-laboratory/docs/sr25-home-page/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

VIVAN, G. A. et al. Avaliação das variáveis referentes à produção de soja no Rio Grande do Sul para o período agrícola 2004-2007. **Geomática**, Santa Maria, 2010.

WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.

WELLS, R. Soybean growth response to plant density: relationships a mongcanopy photosynthesis, leaf area, and light interception. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 755-761, 1991.

WILSON, J. R.; T'MANNETJE, L. Senescence, digestibility and carbohydrate content of buffel gran and green panic leaves in swards. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 29, p. 503-519, 1978.

ZAMBIAZZI, E. V. **Aplicações da adubação potássica na cultura da soja**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ZUFFO, A. M. et al. Morphoagronomic and productive traits of RR soybean dueto inoculation via *Azospirillum brasilense* groove. **African Journal of Microbiology Research**, Nairobi, v. 10, n. 13, p. 438-444, Apr. 2016.