



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ANTÔNIA CLEMILDA NUNES

ASPECTOS AGRONÔMICOS E PRODUTIVIDADE DE SOJA SUBMETIDA A
MANEJO DE IRRIGAÇÃO

FORTALEZA-CE

2015

ANTÔNIA CLEMILDA NUNES

**ASPECTOS AGRONÔMICOS E PRODUTIVIDADE DE SOJA SUBMETIDA A
MANEJO DE IRRIGAÇÃO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra

Coorientador: Prof. Dr. Joênes Mucci Peluzio

**FORTALEZA-CE
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- N923a Nunes, Antonia Clemilda.
Aspectos agronômicos e produtividade de soja submetida a manejo de irrigação / Antônia Clemilda Nunes. – 2015.
118 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2015.
Área de concentração: Irrigação e Drenagem.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.
Coorientação: Prof. Dr. Joênes Mucci Peluzio.
1. Soja. 2. Manejo de irrigação. 3. Estresse hídrico. I. Título.

ANTÔNIA CLEMILDA NUNES

**ASPECTOS AGRONÔMICOS E PRODUTIVIDADE DE SOJA SUBMETIDA A
MANEJO DE IRRIGAÇÃO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 18/08/2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Profa. Dra. Albanise Barbosa Marinho
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Profa. Dra. Aiala Vieira Amorim
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro - Brasileira

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

À minha mãe, Iaci;

Aos meus irmãos, Antônio, Quitéria, Joyce e Valquíra;

Ao meu amor Roberto Paulo,

Ao meu filho Heitor,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Meus eternos agradecimentos a Deus, pelo amor e misericórdia presentes em todos os dias de minha vida, mostrando sempre soluções para os problemas encontrados ao longo de minha caminhada.

À minha mãe, pelo apoio, solidariedade, amor e dedicação ao longo de minha vida.

Aos meus irmãos, Antônio, Quitéria, Joyce e Valquíria, que mesmo à distância, foram, serão e são pessoas importantes e valiosíssimas em tudo o que eu fizer.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de formação e realização deste curso.

Aos estudantes de graduação Albert Lennon, Flávia Gonçalves, Frank, Geovana Alves, Carlos Henrique, Paulo Victor Brito, Claudioaldo Mendes e ao professor José Luis Cabral, pelo apoio inestimável e contribuições durante todo o trabalho de campo.

Aos colegas técnicos da UFT Alessandra Lima, Gerso Pereira, Ismael de Souza, Luciano Lima, Gizela Sousa e Romildo Belém pela ajuda e disponibilidade costumeiras em todas as ocasiões solicitadas.

À colega Rita de Cássia pelo seu apoio inestimável e pelo convívio sempre com muito alto astral, o que torna o trabalho mais leve.

À colega Roberta Araújo pelo apoio incondicional, companheirismo e aconselhamentos sempre sensatos.

Aos servidores Caio, Jhonatas, Douglas, Cecílio, Milton e Sr. Gurupi que nas horas mais difíceis dos trabalhos de campo, sempre me ajudaram prontamente com muita boa vontade e satisfação.

Ao professor Robert Taylor, que nos disponibilizou as dependências do Laboratório Análise de Alimentos da UFT para a realização das análises dos grãos.

Aos colegas de curso que durante toda essa caminhada, transformaram essa turma numa enorme família.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação profissional e que não foram mencionados, meu agradecimento e reconhecimento.

Em especial,

Ao meu marido Roberto Paulo pela compreensão, aconselhamentos, companheirismo, apoio incondicional e sentimentos comuns, formando um androginato perfeito que vai além da paixão.

Ao meu filho Heitor pela benção da sua companhia que diariamente me enche de alegria e motivação para viver e pela oportunidade de conhecer o maior e mais bonito sentimento que é possível ser sentido por alguém, o amor materno.

Ao meu orientador, Professor Marcus Bezerra, pelas sábias contribuições que nortearam esta pesquisa, proporcionando a realização desse trabalho, além do apoio, consideração, atenção, confiança e ensinamentos que me foram dedicados desde os tempos de graduação.

Ao meu coorientador, Professor Joênes Mucci, que com sua gentileza costumeira sempre me acolheu e ajudou prontamente, contribuindo sobremaneira com suas valiosíssimas orientações durante a condução dos trabalhos de campo e análises dos dados.

Aos membros da banca examinadora professores Albanise Barbosa, Aiala Vieira, Sebastião Medeiros e Cley Anderson Silva pela disponibilidade e pelas contribuições inestimáveis para com este trabalho.

RESUMO

NUNES, Antônia Clemilda. Universidade Federal do Ceará, Agosto de 2015. Aspectos agronômicos e produtividade de soja submetida a manejo de irrigação. Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Coorientador: Joênes Mucci Peluzio. Conselheiros: Albanise Barbosa Marinho; Aiala Vieira Amorim; Sebastião Medeiros Filho; Cley Anderson Silva de Freitas.

A agricultura irrigada é responsável pelo consumo de uma fração considerável de toda a água doce utilizada no Brasil e é evidente que, a cada dia, esse recurso está se tornando cada vez mais escasso. Nesse contexto, métodos adequados de manejo de irrigação que estabeleçam estratégias visando economia de água, mantendo índices razoáveis de produtividade são fundamentais para manutenção da produção de alimentos de forma sustentável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação com déficit na cultura da soja. A pesquisa foi conduzida em uma área experimental da Universidade Federal do Tocantins no *campus* de Palmas - TO. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em um esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por tratamentos que induziram as plantas a déficit hídrico no período vegetativo, reprodutivo e durante todo o ciclo, tendo como referência evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}), da seguinte forma: 25V25R - a cultura sofreu déficit hídrico durante todo o ciclo, sendo irrigada com 25% da ET_{pc}; 50V50R - a cultura foi submetida a déficit hídrico durante todo o ciclo com 50% da ET_{pc}; 100V100R - tratamento em que as plantas não sofreram déficit hídrico, sendo irrigadas com 100% da ET_{pc}; 25V100R - as plantas receberam déficit hídrico, 25% da ET_{pc}, durante toda a fase vegetativa, iniciando a diferenciação em V1; 50V100R: as plantas receberam 50% da ET_{pc} durante toda a fase vegetativa, iniciando a diferenciação em V1; 100V25R - as plantas foram irrigadas com 25% da ET_{pc} no estágio reprodutivo, iniciando a diferenciação em R1 e 100V50R - 50% da ET_{pc}, iniciando a diferenciação em R1. As subparcelas corresponderam a duas cultivares de soja a M9144RR RR e a TMG1288RR RR, que foram semeadas no dia 20/06/2014. As variáveis avaliadas foram: dias para florescimento, dias para maturação, altura da planta, altura da primeira vagem, número de vagens por planta, diâmetro do caule, área foliar, produtividade. Em relação aos grãos, avaliou-se os diâmetros polar e equatorial, peso de 1000 grãos e teores de óleo e proteína dos mesmos. Avaliou-se ainda a eficiência do uso da água na produção de grãos, de óleo e de proteína. Os manejos de irrigação influenciaram significativamente as características agronômicas das cultivares. A produtividade e as variáveis relacionadas com a qualidade dos grãos foram influenciadas significativamente pelos tratamentos (T) e cultivares (C), bem como, pela interação tratamentos x cultivares (T x C). Quanto aos teores de óleo e proteína, observou-se, nas duas cultivares que, nos tratamentos em que houve aumento no teor de proteína, houve diminuição no teor de óleo, porém o rendimento, tanto de óleo quanto de proteína, seguiu a mesma tendência da produtividade de grão, sendo que os melhores tratamentos foram o 100V100R e 50V100R, devendo-se ressaltar que o déficit hídrico moderado na fase vegetativa ocorrido no tratamento 50V100R rendeu valores de produtividade superiores ao 100V100R, tratamento em que a cultura não sofreu déficit hídrico, o que indica que o manejo da irrigação na cultura da soja com déficit nesse período resulta em maiores índices de produtividade e em maior eficiência de uso da água por parte da cultura. O déficit hídrico moderado na fase vegetativa contribuiu para que os valores de produtividade de óleo e de proteína apresentassem valores semelhantes aos encontrados no tratamento em que a cultura não sofreu déficit hídrico durante todo o ciclo. As duas cultivares apresentaram respostas diferentes sob déficit hídrico. A cultivar TMG1288RR, apresentou-se mais resistente a períodos de seca, porém com produtividade

inferior à M Soy 9144, em condições favoráveis à expressão do seu potencial genético, neste caso, no tratamento com déficit hídrico de 50 % da ETpc na fase vegetativa, apresentou maior produtividade.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Manejo de irrigação. *Glycine max* (L.) Merril.

ABSTRACT

NUNES, Antônia Clemilda. Universidade Federal do Ceará, Agosto de 2015. Agronomic aspects and soybean productivity subjected to irrigation management. Advisor: Francisco Marcus Lima Bezerra. Coorientador: Joênes Mucci Peluzio. Counselors: Albanise Barbosa Marinho; Aiala Vieira Amorim; Sebastião Medeiros Filho; Cley Anderson Silva de Freitas.

The Irrigated agriculture is responsible for the consumption a substantial fraction of all the fresh water used in Brazil and is evident, every day, this feature is becoming increasingly scarce. Following this context, appropriate methods of irrigation management that establish strategies for water saving, keeping reasonable levels of productivity that are fundamental to maintaining sustainable food production. This study has had like objective to evaluate the effects of the application of irrigation blades with deficit in soybean. The research was conducted in an experimental area of the Federal University of Tocantins on the Palmas College - TO. The experimental lineation was in random blocks with four repetitions, and the treatments were being putted on a plan of subdivided portions. The portions consisted in irrigation blades which induced the plants to drought in the growing season, reproductive and during all the cycle, reference to crop potential evapotranspiration (ET_{pc}), in the following way: 25V25R - the culture was subjected to severe stress water during all of cycle, being irrigated with 25% of ET_{pc}; 50V50R - the culture was subjected to drought during the whole cycle, receiving 50% of ET_{pc}; 100V100R - the plants did not undergo to drought, being irrigated with 100% ET_{pc}; 25V100R - the plants received drought, 25% of ET_{pc}, during all the growing season, starting differentiation in V1; 50V100R; the plants received 50% of ET_{pc} during the growing season, differentiation begins in V1; 100V25R - the plants were irrigated with 25% of ET_{pc} in the reproductive stage, begins to differentiation R1 and 100V50R - 50% of ET_{pc}, starting differentiation in R1. The subplots matched at two soybean the M9144RR RR and the TMG1288RR RR, which were sown on the day 06/20/2014. The variables were evaluated: days to flowering, days to maturity, plant height, first pod height, number of pods per plant, stem diameter, leaf area, productivity. In relation to grains, were evaluated polar and equatorial diameters, relationship between the equatorial and polar diameter, 1000 grain weight and oil and protein contents thereof. Were evaluated too the yield of oil and protein and efficiency of water use in the production of grain, oil and protein. The irrigation managements had meaningly influence the agronomic characteristics of the cultivars. Productivity and variables related to grain quality were influenced significantly for treatments (T) and cultivars (C), as well as the interaction treatments x cultivars (T x C). As for oil and protein content, was observed in both cultivars, in the treatments that happened increase in protein content, there was a decrease in oil content, but the yield as oil as protein, followed the same trend of the grain productivity, and the best treatments were the 100V100R and 50V100R, should be noted that moderate drought in the growing season occurred in 50V100R treatment yielded productivity values higher than the 100V100R and in this treatment the culture didn't suffer a stress water indicating that the irrigation management in soybeans with a deficit in this period results in higher levels of productivity and in bigger efficiency of water use by the crop. The moderate drought in the growing season contributed to the oil and protein yield values presented similar values to those found in treatment in that culture did not suffer drought during whole cycle. Both cultivars showed different responses under drought. The cultivar TMG1288RR, presented more resistant to dry period, but the M9144RR on favorable conditions to the expression of its genetic potential, in this case, treatment with drought of 50% of ET_{pc} in the growing season, showed bigger productivity.

Keywords: Water deficit. Irrigation management. *Glycine max* (L.) Merrill.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Estação meteorológica instalada na área do experimento, Palmas, TO, 2014.....	38
Figura 2 -	Preparo do solo, Palmas, TO, 2014.....	40
Figura 3 -	Adubação de cobertura, Palmas, TO, 2014.....	41
Figura 4 -	Inoculação das sementes antes da semeadura (A); Inoculante (B), Palmas, TO, 2014.....	41
Figura 5 -	Linhas principal e laterais do sistema de irrigação (A); Gotejador instalado sobre a linha lateral (B). Palmas - TO, 2014.	42
Figura 6 -	Motobomba (A); Caixa d'água utilizada para armazenamento de água durante a condução do experimento (B). Palmas - TO, 2014.	43
Figura 7 -	Linha principal e laterais com registros no início das linhas no detalhe (A); Testes para avaliação da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação (B e C). Palmas, TO, 2014.....	44
Figura 8 -	Plantas de soja: Estágio V1 (A); Estágio R1 (B), Palmas, TO, 2014.	46
Figura 9 -	Análises físicas dos grãos: Peso de 1000 grãos (A); Diâmetro polar do grão (B) e Diâmetro equatorial do grão (C), Palmas, TO, 2014.....	48
Figura 10 -	Análises dos teores de óleo em grãos de soja. Aparelho extrator de gordura TE-044-5/50 da Tecnal [®] (A); Pesagem do tubo reboiler contendo o óleo extraído dos grãos (B). Palmas, TO, 2014.	50
Figura 11 -	Análises dos teores de proteína em grãos de soja. Destilação (A e B) e Titulação (C). Palmas, TO, 2014.	51
Figura 12 -	Dias para florescimento de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	55
Figura 13 -	Dias para florescimento de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	56
Figura 14 -	Dias para maturação de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	57
Figura 15 -	Dias para maturação de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	58
Figura 16 -	Altura de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	59
Figura 17 -	Altura de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	60
Figura 18 -	Altura de inserção da primeira vagem de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	62
Figura 19 -	Altura de inserção da primeira vagem de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	63
Figura 20 -	Número de vagens por planta de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	65

Figura 21 -	Número de vagens por planta de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	66
Figura 22 -	Diâmetro do caule de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	67
Figura 23 -	Diâmetro do caule de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	68
Figura 24 -	Área foliar de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	69
Figura 25 -	Área foliar de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	70
Figura 26 -	Produtividade da soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	71
Figura 27 -	Produtividade da soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	73
Figura 28 -	Diâmetro polar de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	77
Figura 29 -	Diâmetro polar de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	78
Figura 30 -	Diâmetro equatorial de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	79
Figura 31 -	Diâmetro equatorial de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	79
Figura 32 -	Relação entre os diâmetros equatorial e polar (DEG/DPG) de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	80
Figura 33 -	Relação entre os diâmetros equatorial e polar (DEG/DPG) de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	81
Figura 34 -	Peso de 1000 grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	81
Figura 35 -	Peso de 1000 grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	82
Figura 36 -	Teor de proteína em grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	85
Figura 37 -	Teor de proteína em grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	87
Figura 38 -	Teor de óleo em grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	89
Figura 39 -	Teor de óleo em grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	90
Figura 40 -	Rendimento de proteína de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	91

Figura 41 -	Rendimento de proteína de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	92
Figura 42 -	Rendimento de óleo de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	93
Figura 43 -	Rendimento de óleo de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	93
Figura 44 -	Eficiência do uso da água na produção de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	96
Figura 45 -	Eficiência do uso da água na produção de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	97
Figura 46 -	Eficiência do uso da água na produção de óleo de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	98
Figura 47 -	Eficiência do uso da água na produção de óleo de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	99
Figura 48 -	Eficiência do uso da água na produção de proteína de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.....	100
Figura 49 -	Eficiência do uso da água na produção de proteína de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição dos estádios fenológicos de plantas de soja.	21
Tabela 2 -	Valores médios de temperatura do ar e umidade relativa do ar a 1,5 m de altura, velocidade do vento a 2 m de altura, evapotranspiração potencial e precipitação no período do experimento, Palmas, TO, 2014.	39
Tabela 3 -	Características químicas e físicas da camada de 0 a 0,20 m de profundidade do solo da área experimental, Palmas, TO, 2014.	39
Tabela 4 -	Características técnicas da bomba Thebe TH-16.....	42
Tabela 5 -	Lâminas de irrigação, em milímetros, aplicadas na cultura da soja, de acordo cada tratamento. Palmas, Tocantins, 2014.....	53
Tabela 6 -	Resumo das análises de variância das características agrônômicas e produtividade de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação. Palmas, Tocantins, 2014.....	54
Tabela 7 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura da planta (AP) e altura da primeira vagem (APV). Palmas, Tocantins, 2014.....	55
Tabela 8 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: altura da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP); diâmetro do caule (DC), área foliar (AF) e produtividade (PROD). Palmas - Tocantins, 2014.	64
Tabela 9 -	Médias dos percentuais de umidade em grãos de plantas de soja submetidas a déficit hídrico, Palmas - Tocantins, 2014.....	75
Tabela 10 -	Resumo das análises de variância das variáveis diâmetro polar dos grãos (DPG), diâmetro equatorial dos grãos (DEG), relação entre diâmetro equatorial e polar dos grãos (DEG/DPG) e peso de mil grãos (PMG) de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014.....	76
Tabela 11 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: diâmetro polar dos grãos (DPG), diâmetro equatorial dos grãos (DEG), relação entre diâmetro equatorial e polar dos grãos (DEG/DPG) e peso de mil grãos (PMG). Palmas - Tocantins, 2014.....	77
Tabela 12 -	Resumo das análises de variância do teor de óleo (ÓLEO), rendimento do óleo (REND ÓLEO), teor de proteína (PROT) e rendimento da proteína (REND PROT) em grãos de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014.....	83
Tabela 13 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: teor de óleo (ÓLEO) e teor de proteína (PROT) nos grãos. Palmas - Tocantins, 2014.....	84
Tabela 14 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: rendimento do óleo (REND ÓLEO) e rendimento da proteína (REND PROT). Palmas - Tocantins, 2014.	91

Tabela 15 -	Resumo das análises de variância da eficiência do uso da água na produção de grãos (EUAgrãos), eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) e eficiência do uso da água na produção de proteína (EUAprteína) de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014.....	94
Tabela 16 -	Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: eficiência do uso da água na produção de grãos (EUAgrãos), eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) e eficiência do uso da água na produção de proteína (EUAprteína). Palmas - Tocantins, 2014.....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Hipóteses	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Soja	19
2.1.1	<i>Caracterização e origem</i>	19
2.1.2	<i>Importância e utilização</i>	22
2.1.3	<i>Teor de proteína e de óleo nos grãos</i>	23
2.2	Agricultura irrigada	25
2.3	Deficiência hídrica	27
2.4	Manejo de irrigação	30
2.6	Eficiência do uso da água	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Localização	38
3.2	Clima	38
3.3	Solo	39
3.4	Cultivares	39
3.5	Preparo da área e correção do solo	39
3.6	Adubação	40
3.7	Semeadura	41
3.8	Irrigação	42
3.8.1	<i>Sistema de irrigação</i>	42
3.8.2	<i>Manejo da irrigação</i>	44
3.9	Tratos culturais	45
3.10	Delineamento experimental	46
3.11	Variáveis analisadas	47
3.11.1	<i>Características Agronômicas</i>	47
3.11.2	<i>Área foliar da planta</i>	47
3.11.3	<i>Produtividade</i>	48
3.11.4	<i>Qualidade dos grãos</i>	48

3.12	<i>Eficiência de uso da água</i>	51
3.13	<i>Análises estatísticas</i>	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5	CONCLUSÃO	102
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, e, de acordo com a expectativa da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, o país deve exportar neste ano mais de 46,77 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2015). A cada safra são registrados incrementos, tanto em área plantada, quanto na quantidade produzida (CONAB, 2015). A companhia estima para a safra 2014/2015 uma produção de 93,26 milhões de toneladas de grãos, 8,3% superior à obtida na safra 2013/14, que atingiu 86,12 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que tem sua safra estimada em mais de 108 milhões de toneladas para o período 2014/2015, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

A área plantada com soja no Brasil na safra 2014/2015 foi de 31.334,9 mil hectares, valor 3,9% superior em relação à safra 2013/2014, 30.173,1 mil hectares. Na região norte-nordeste, esse incremento ocorreu em todos os estados produtores dessa oleaginosa, com destaque para o Tocantins (CONAB, 2015). O estado do Tocantins figura entre os principais produtores de soja no Brasil. Segundo dados da Conab (2015), no estado a área cultivada com soja na safra 2014/2015 foi de 817,3 mil hectares com produção de 2.295,8 mil toneladas e produtividade média de 2.809 kg ha⁻¹. O estado é o maior produtor da região norte, tendo apresentado um incremento de 9,2% na área plantada e de 11,5% na produção.

Além do cultivo na safra, cujo plantio é recomendado para os meses de outubro a dezembro, a soja é cultivada no estado do Tocantins no período de entressafra (maio-junho), em condições de várzea irrigada, principalmente no município de Formoso do Araguaia. Na entressafra, a ausência de chuvas, aliada à baixa umidade relativa do ar e à baixa temperatura noturna, tem possibilitado a obtenção de sementes de boa qualidade. Assim, a produção de soja, nesse período tem-se tornado altamente atrativa para os produtores em virtude de ser compensador o preço da soja comercializada na forma de sementes (PELUZIO et al., 2008).

Entretanto, variações climáticas tem prejudicado os índices de produtividade na maioria das regiões produtoras do grão. Segundo a Conab (2014), a Região Norte-Nordeste, com destaque para a região do Matopiba, composta por territórios pertencentes aos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, foi duramente afetada pela estiagem o que afetou os índices de produtividade do grão. Problema que se repetiu em relação à safra 2014/2015 (CONAB, 2015). A companhia, em seu sexto levantamento, apontou que as estiagens

ocorridas em janeiro reduziram a expectativa de produtividade em Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais e parte do Matopiba.

Apesar de a agricultura ter apresentado grandes avanços no que diz respeito à eficiência e competitividade, é necessário o aprimoramento dessas técnicas no sentido de maximizar e otimizar o uso dos recursos disponíveis. Portanto, a manutenção do rendimento das culturas sob circunstâncias ambientais adversas é provavelmente o principal desafio da agricultura moderna. Logo, é necessário entender as adaptações contrastantes das plantas para crescer em condições ótimas e de estresse, além das adaptações fisiológicas, bioquímicas e moleculares desenvolvidas por elas (LIZANA et al.,2006).

O manejo correto da irrigação apresenta-se como importante aliado na busca por melhores índices de produtividade sem exaurir os recursos naturais disponíveis, principalmente a água, que vem se tornando cada vez mais escassa. Com isso, estratégias que levem ao consumo apenas dos insumos necessários ao bom desenvolvimento das culturas são de grande valia para que seja possível tornar a agricultura uma prática lucrativa e auto-sustentável.

As respostas da planta ao ambiente restritivo levam à diminuição na produtividade, atuando como um importante fator limitante a fotossíntese. Deve se então buscar conhecimentos de cultivares com características agronômicas desejáveis, aliadas a uma alta eficiência no uso da água sendo de grande importância para regiões suscetíveis à seca (LOBO, 2013).

Desta forma, estudos entre cultivares e diferentes lâminas de irrigação permitem avaliar o desempenho das culturas, bem como torna possível obter informações acerca de suas necessidades hídricas dentro das especificações edafoclimáticas de cada região, no intuito de aprimorar o manejo da irrigação, aperfeiçoando o rendimento agrônômico e financeiro das culturas agrícolas (SILVA et al., 2004).

Nesse sentido, e considerando a relevância do tema e a importância da cultura da soja para o estado do Tocantins e para o país, pretendeu-se, com o presente trabalho, avaliar as respostas de duas cultivares de soja submetidas a irrigação com déficit em diferentes fases fenológicas, sob as condições edafoclimáticas de Palmas - Tocantins.

1.1 Hipóteses

As hipóteses que regem este trabalho são que: i) as plantas de soja apresentam resposta diferenciada quando submetidas a diferentes regimes hídricos; ii) as plantas de soja podem responder de maneira positiva à aplicação de irrigação com déficit controlado nas primeiras fases de desenvolvimento; iii) sob as mesmas condições de cultivo, as respostas de cultivares diferentes apresentam variações; iv) é possível estabelecer um manejo de irrigação para a soja, reduzindo o consumo de água e energia e mantendo os índices de produtividade.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Avaliar os efeitos do manejo da irrigação sobre o desenvolvimento e a produção de cultivares de soja sob as condições edafoclimáticas de Palmas - Tocantins.

1.2.2 *Objetivos específicos*

1. Submeter a cultura da soja a manejo de irrigação com déficit hídrico em seus diferentes estádios fenológicos;
2. Avaliar o desenvolvimento e as características agronômicas da cultura da soja submetida a manejos de irrigação com déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas;
3. Comparar as respostas de duas cultivares diferentes submetidas às mesmas condições de manejo de irrigação;
4. Quantificar a produção e teores de óleo e de proteína em grãos de soja cultivada sob manejos de irrigação com déficit hídrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Soja

2.1.1 *Caracterização e origem*

A soja é uma leguminosa herbácea anual cujo alto teor de óleo e proteína de seus grãos e sua fácil adaptação a diversos tipos de clima e fotoperíodo, devido a suas inúmeras variedades, a colocam entre as principais oleaginosas do mundo, sendo entre elas a mais cultivada (BARRETO, 2004).

A cultura da soja apresenta características morfológicas que podem variar com a cultivar, assim como podem ser influenciadas pelo ambiente como a altura da planta, que varia de 30 a 200 cm (NEVES, 2011). É uma planta anual, herbácea e de porte ereto (SEDIYAMA, 2009).

O sistema radicular da soja concentra-se, em sua maioria, na camada de 0-20 cm (AZEVEDO et al., 2007). De acordo com Teruel et al. (2001), os sistemas radiculares das culturas possuem estrutura geométrica extremamente complexa, além de plasticidade, que é a habilidade de mudar sua configuração em reação ao ambiente físico, químico e biológico do solo. O sistema radicular da soja é constituído por uma raiz principal pivotante, com ramificações ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (NEVES, 2011).

A parte aérea é constituída de um caule principal ou haste principal, com ausência ou presença de ramificações primárias, raramente secundárias (CÂMARA, 2014). Segundo o autor, quando jovem, observam-se, da base para o ápice da haste principal da planta de soja as seguintes estruturas vegetativas: um par de cotilédones inseridos de forma oposta, seguido de um par de unifólios, também de inserção oposta, que são sucedidos por folhas trifolioladas com inserção simples e alterna, em número variável, de acordo com o cultivar. Nas ramificações vegetativas a planta emite exclusivamente folhas trifolioladas, sendo que as dimensões foliares dependem do vigor da planta (SEDIYAMA, 2009). Todas as estruturas vegetativas encontram-se inseridas nas regiões dos nós (CÂMARA e HEIFFIG, 2000). O desenvolvimento é dependente do tipo de crescimento, sendo que na maioria das cultivares o crescimento é ortótropo, podendo sofrer influência das condições externas (NEVES, 2011).

Existem dois tipos básicos de crescimento de plantas de soja: as com tipo de crescimento determinado (TCD), que paralisam por completo o crescimento vegetativo com o

início do florescimento, e as com tipo de crescimento indeterminado (TCI) que, a partir do início do florescimento, continuam o crescimento vegetativo simultaneamente ao desenvolvimento dos estádios reprodutivos de floração, frutificação e início da granação (CÂMARA, 2014). Nas cultivares de crescimento determinado a gema terminal transforma-se em uma inflorescência terminal. Já nas cultivares cujo crescimento é do tipo indeterminado, o caule continua a crescer após o florescimento (SEDIYAMA, 2009).

As flores são completas e axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por racemo, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a cultivar (NEVES, 2011). É uma espécie autógama e manifesta cleistogamia, ou seja, autopolinização antes da antese (PEREIRA et al., 2012). No período anterior à abertura floral, as anteras liberam os grãos de pólen que caem no estigma da mesma flor (CARLSON; LERSTEN, 2004). Insetos, principalmente abelhas, podem transportar o pólen e realizar a polinização de flores de diferentes plantas, mas a taxa de fecundação cruzada, em geral, é menor que 1 % (GAVA, 2014).

Os frutos, do tipo vagem, são achatados, levemente arqueados, peludos, formados por duas valvas de um carpelo simples, curtos, medindo de 2 a 7 cm de comprimento, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta com número de grãos variando de 1 a 5 por vagem, mas a maioria das cultivares contendo 2 a 3 sementes (BORÉM, 2005; SEDIYAMA, 2009).

As sementes de soja tem aparência típica de uma semente de leguminosa, é composta por um tegumento, normalmente liso, lustro e brilhante, por um tecido de reserva, representado por dois cotilédones, e pelo eixo embrionário, dividido em duas partes: radícula e caulículo; este último divide-se em duas porções: hipocótilo e epicótilo, baseando-se na inserção dos cotilédones, no seu ápice encontram-se ainda uma gema apical chamada gêmula ou plúmula. No tegumento encontra-se o hilo e em sua extremidade a micrópila e abaixo desta, o hipocótilo (MÜLLER, 1981).

A espécie cultivada hoje pertence à divisão das Angiospermas, classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (L.) Merrill (ZANON, 2007).

A soja se destaca de outras oleaginosas em relação à composição química. Em média, ela contém 40% de proteína e 20% de lipídeos, o que a torna a cultura entre as leguminosas com o maior teor protéico e o segundo maior teor de gordura, superado somente pelo amendoim que possui 48 % de lipídeos (BORRMANN, 2009). Esses teores de proteína e óleo em sementes de soja determinam seu valor comercial. O farelo de soja destinado à

exportação é classificado em três categorias de acordo com seu conteúdo de proteína: HyPro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%). Para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nas sementes, respectivamente, com base na matéria seca (MORAES et al., 2006).

As cultivares brasileiras apresentam grande diversidade nos seus ciclos, que variam entre 100 e 160 dias, podendo ser classificados em grupos de maturação como sendo, precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio, dependendo da região (GAVA, 2014).

Para facilitar a descrição e classificação das fases de desenvolvimento da planta de soja, Fehr et al. (1971) estabeleceram uma escala de estádios de desenvolvimento da cultura, com a finalidade uniformizar a comunicação entre pesquisadores, produtores e demais pessoas envolvidas em atividades agrícolas. A proposta é diferenciar os estádios vegetativos e reprodutivos da planta conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos estádios fenológicos de plantas de soja

Estádios vegetativos		
Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifoliadas com as margens não mais se tocando
V2	Segundo nó	Primeiro trifólio aberto
V3	Terceiro nó	Segundo trifólio aberto
Vn	“n” nó	Enésimo nó com trifólio aberto antes da floração
Estádios reprodutivos		
Estádio	Denominação	Descrição
R1	Início da floração	Início da floração: até 50% das plantas com flor
R2	Floração plena	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas
R3	Início da formação das vagens	Vagens com até 1,5cm e presença de flores
R4	Vagens desenvolvidas	Maioria das vagens no terço superior com 2-4cm
R5.1	Início da formação dos grãos	Grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
R5.2	Formação dos grãos	Maioria das vagens com granação de 10%-25%
R5.3	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 25% e 50% de granação
R5.4	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 50% e 75% de granação
R5.5	Formação dos grãos	Maioria das vagens entre 75% e 100% de granação
R6	Grãos desenvolvidos	Vagens com granação de 100% e folhas verdes
R7.1	Início da maturação	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens
R7.2	Maturação em andamento	Entre 51% e 75% de folhas e vagens amarelas.
R7.3	Maturação em andamento	Mais de 76% de folhas e vagens amarelas
R8.1	Maturação fisiológica	Início a 50% de desfolha
R8.2	Secagem dos grãos	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita
R9	Ponto de colheita	Ponto de colheita

Fonte: Adaptado de Fehr et al. (1971).

Originária da região leste da Ásia (XU, 1989), foi domesticada em vários locais na Ásia oriental, onde é cultivada há milênios (LEE et al., 2011). Em pesquisa filogenética com sementes de soja, os autores afirmam que existem registros arqueológicos que apontam que essa domesticação ocorreu no Japão, na China e na Coreia.

No Brasil, seu cultivo comercial para a produção de grãos se deu a partir de 1940 em algumas regiões do Rio Grande do Sul e de São Paulo (RIBEIRO, 2011). E começou a expandir-se a partir de 1951 com incentivo do governo, com a primeira “Campanha da Soja”, em que era utilizada como rotação de cultura juntamente com o trigo (GRAZIANO, 1997). Nos anos 70 e 80, foi significativo o crescimento da cultura da soja na região do Brasil Central, abrangendo os estados de MS, MT e GO (BONETTI, 1977; BONATO e BONATO, 1987). Segundo os autores, a abertura dos solos sob vegetação de cerrado proporcionou o crescimento em área e em produtividade e, desde então, tem apresentado crescimento constante em virtude da demanda crescente, sendo hoje considerada a mais importante de todas as oleaginosas produzidas no país.

2.1.2 Importância e utilização

Trata-se de uma das leguminosas mais importantes do mundo e no cenário mundial o Brasil se destaca o segundo maior produtor deste grão, além de maior exportador mundial, sendo para este ano estimadas 46,77 milhões de toneladas para exportação, segundo CONAB (2015), razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País (EMBRAPA, 2008).

A cultura tem evoluído muito na produção nos últimos anos, devido à expansão da fronteira agrícola e da procura no mercado. O aumento da demanda da soja a nível mundial ocorreu devido diversos fatores como: diversificação das formas de consumo, uso nas indústrias farmacêutica e siderúrgica, condições de cultivo e a boa remuneração para o produtor quando comparado com outras oleaginosas, o que gera cada vez mais vantagens competitivas de preços aos consumidores e expansão do mercado mundial (VALARINI; KUWAHARA, 2007).

Na alimentação animal pode ser fornecida na forma de feno, silagem, farelo e torrada. O óleo de soja pode ser utilizado também como fonte de biodiesel, uma alternativa para diminuição da dependência dos derivados de petróleo, abrindo um novo mercado para a oleaginosa, com excelentes perspectivas econômicas e amplos benefícios ambientais

(DORNELES et al., 2011). Segundo Buainain e Garcia (2015), com uma produtividade média de 600 kg de óleo por hectare, estima-se que a soja é responsável por 70% a 80% do biodiesel produzido no país. A soja também pode ser utilizada como adubo verde, por ser uma leguminosa fixadora biológica de nitrogênio. De acordo com Borrmann (2009), a cultura da soja tem características agrônômicas favoráveis, incluindo boa capacidade de adaptação a uma ampla variedade de solos e climas e a habilidade em fixar nitrogênio da atmosfera, em simbiose com bactérias, o que a torna uma ótima opção de rotação com outras culturas que necessitam de altas concentrações de nitrogênio, como o milho e o arroz.

O complexo soja contribui expressivamente para o equilíbrio da balança comercial brasileira (FARIAS et al., 2001). Os autores afirmam que a contribuição indireta da cultura da soja na movimentação da economia brasileira, embora, não tão facilmente mensurável, é de vital importância para o desenvolvimento do país, seja pela geração de empregos ou pela adição de valor à soja industrializada. Entretanto, a imprevisibilidade das variações climáticas confere à ocorrência de adversidades climáticas, o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja.

O bom desempenho do agronegócio brasileiro da soja pode estar estreitamente relacionado com inovações tecnológicas desenvolvidas para o cultivo da soja no país, com destaque para programas de melhoramento de soja no Brasil, que pode ser verificado por meio de centenas de cultivares disponibilizados aos agricultores (KIIHL; CALVO, 2008). Esses programas de melhoramento vem desenvolvendo novos cultivares com alta estabilidade, adaptabilidade, com características agrônômicas desejáveis e alta produtividade de grãos para todas as regiões produtoras (COSTA, 2013). Entretanto, o efeito das variações climáticas com destaque para as flutuações nas precipitações pluviais, que é considerado como o principal fator responsável pelas oscilações observadas entre localidades, ou em uma mesma localidade, de ano para ano, tem causado efeitos negativos na produtividade da soja.

2.1.3 Teor de proteína e de óleo nos grãos

Além das diversas formas de utilização dos grãos de soja já mencionadas, tanto no Brasil como no resto do mundo, a principal utilização da soja, é como matéria-prima para a indústria de esmagamento, que produz óleo e farelo, sendo o óleo, o líder mundial em consumo se comparado com outros óleos vegetais, representando entre 20 e 24% de todos os óleos e gorduras consumidas (Moreira, 1999). No Brasil este número se eleva acima de 50%

em produtos alimentícios como: lecitina de soja, óleo alimentício, margarina, gorduras emulsionadas, leite de soja, queijo de soja, molho de soja e as proteínas vegetais texturadas (PVT) que são bastante utilizadas em substituição da carne (BERTRAND et al., 1987).

A maioria das cultivares de soja apresenta de 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo (SOUZA et al., 2009). Porém, Fatores genéticos e ambientais afetam a composição química dos grãos, alterando os conteúdos de proteína e óleo, que são compostos determinantes da qualidade da soja (RODRIGUES et al., 2010).

Embora exista variabilidade genotípica para composição de óleo e de proteínas, tem sido difícil melhorar essas características por meio do melhoramento de plantas, devido à correlação negativa existente entre óleo e proteínas e a consistente relação inversa entre produtividade de grãos e concentração de proteínas (Burton, 1985).

Historicamente, a soja foi melhorada geneticamente com intuito de aumentar a produtividade e o conteúdo de óleo nos grãos (TRZECIAK, 2012). Porém, alguns programas de melhoramento de qualidade da soja têm obtido uma série de linhagens de soja com elevados teores de proteínas (maiores que 45%), e com alto potencial produtivo. Entretanto, estes materiais quando submetidos a diferentes condições de plantio, apresentam variações no seu conteúdo protéico (GONÇALVES et al., 2007; SOARES, 2004).

Helms e Orf (1998) aumentaram por melhoramento genético, a concentração de proteína em grãos de soja, chegando até um valor de 50%, mas reduziram a concentração de óleo e a produtividade de grãos. Moraes et al. (2006), também verificaram que o aumento do teor de proteína em grãos de soja foi acompanhado por redução no teor de óleo.

Fatores ambientais, aos quais o vegetal é exposto, por ocasião do cultivo, também podem influenciar as quantidades de proteína e de óleo em grãos de soja (WILCOX e CAVINES, 1992; RAO et al., 1993). Segundo Pípolo (2002) o efeito da temperatura pode explicar as variações na concentração de proteínas, tanto entre locais, como entre anos em um mesmo local. O autor alega que o teor de proteína nos grãos de soja também se altera de acordo com variações de ambiente, principalmente, no que se refere ao regime pluviométrico no período de enchimento de grãos.

Em estudo com 26 genótipos de soja em três regiões do Rio Grande do Sul, Bonato et al. (2000) observaram que os teores de óleo e de proteína diferiram estatisticamente entre os locais estudados. Os autores concluíram que fatores ambientais podem contribuir fortemente para a concentração de proteína nos grãos, independentemente dos genes *per se*. Ainda de acordo com os autores, as diferenças causadas pelas condições físicas e químicas do

solo e condições climáticas variáveis entre as regiões afetaram de forma diferente os genótipos, pois as interações entre os genótipos e os locais também foram altamente significativas, demonstrando que os genótipos de soja estudados reagem diferentemente em relação às condições ambientais nos quais são cultivados.

A caracterização das cultivares de soja quanto ao teor de óleo e proteína possibilita disponibilizar informações sobre as cultivares mais indicadas para determinados usos, agrega valor qualitativo a esses produtos e viabiliza o aumento de sua participação no mercado (FINOTO, 2008).

2.2 Agricultura irrigada

O aumento da população mundial tem exigido, da agricultura, cada vez mais eficiência e competitividade. Para uma produção sempre crescente de alimentos, a alternativa está na produção agrícola sob irrigação, que tem possibilitado um número maior de safras por ano (PAZ et al., 2000). Porém, de acordo com a Agencia Nacional de Águas - ANA (2013), o setor agrícola é responsável pela maior parte do uso consuntivo da água no Brasil, ou seja, é o que mais retira água de mananciais, sendo a agricultura irrigada responsável por aproximadamente 69% desse consumo (ANA, 2014).

De acordo com Bevilacqua et al. (2006), atualmente, a agricultura depende do suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implementados em curto prazo. Entretanto, em regiões com baixa disponibilidade hídrica, a irrigação assume papel primordial no desenvolvimento dos arranjos produtivos. Embora aumente o uso da água, aumenta substancialmente a produtividade e o valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (ANA, 2013).

A ampliação das áreas irrigadas caracteriza-se como potencial redutora das pressões sobre a fronteira agrícola (RICCI, 2010). Christofidis (2007) afirma que o incremento de métodos de irrigação em terras destinadas à agricultura representa ganhos significativos em termos de produtividade. De acordo com o autor, de toda a produção agrícola colhida anualmente no mundo, 82% é de sequeiro e 18% é irrigada, porém a produção dessas áreas representam, respectivamente, 58 e 42%. Esses dados reforçam a necessidade de desenvolvimento e inserção efetiva de novas tecnologias no setor, tendo como

objetivo a sustentabilidade dos recursos hídricos. Por conseguinte, pode-se pensar na manutenção da oferta de alimentos (RICCI, 2010).

Além disso, na agricultura irrigada, há que se considerar, ainda, que as perspectivas envolvem produtividade e rentabilidade, com eficiência no uso da água, da energia e de insumos e respeito ao meio ambiente (RICCI, 2010).

Nesse sentido, a evolução tecnológica dos sistemas de irrigação é por si mesma insuficiente para que se vislumbrem tais perspectivas. É preciso que o irrigante conheça o momento oportuno para irrigar e a quantidade de água que deve ser aplicada em cada cultura (MANTOVANI et al., 2006).

Portanto, existe a necessidade de pesquisar alternativas que possibilitem uma maior eficiência à agricultura irrigada tendo em vista a demanda crescente de alimentos e a perspectiva eminente de escassez de água (SCHMIDT, 2003). Considerando que o abastecimento urbano tem prioridade no consumo de água, e que, segundo a Agência Nacional de águas - ANA (2014), o setor rural é responsável por 83% de toda a água consumida no Brasil, sendo que, deste total, a maioria, 69% é utilizada na agricultura irrigada, ficando a indústria e o abastecimento urbano responsáveis por 7 e 10% desse consumo respectivamente, uma redução de 10% na água destinada para irrigação, seria suficiente para duplicar o consumo doméstico (STRAUSS, 2001; MANCUSO, 2003). Logo, o controle e a administração adequados e confiáveis dos recursos hídricos possibilitarão o manejo justo e equilibrado, preservando a sua qualidade. Sendo, portanto, imprescindível conduzir de forma racional a cultura irrigada em condições de campo, visando maximizar a eficiência do uso da água (BILIBIO et al., 2010).

A elevação do rendimento de grãos em condições de deficiência hídrica tem se constituído um grande desafio para os pesquisadores, especialmente, porque, de acordo com Buttery et al. (1993), as variedades com maior potencial produtivo são mais sensíveis ao estresse hídrico que aquelas com menor potencial.

Há, portanto, a necessidade da busca de novas práticas de manejo que maximizem a utilização dos fatores ambientais disponíveis, sem a elevação dos custos de produção, para que o potencial de rendimento seja atingido.

Os vegetais de cultivos anuais em crescimento apresentam, ao longo de seus ciclos, diferentes estádios fenológicos, caracterizados por alterações que ocorrem na forma do organismo ou nos órgãos em que cada qual possui uma exigência diferenciada de água, visto que diferentes processos fisiológicos são prevaletentes nos diversos estádios de

desenvolvimento das plantas e que alguns desses são mais sensíveis que outros à redução do potencial da água nos solos e, por conseguinte, nos tecidos vegetais (GRIEU et al., 2008). Logo, um manejo adequado da irrigação, requer conhecimento, não apenas da necessidade total da água consumida pela cultura ao longo do ciclo e sim um acompanhamento minucioso de suas demandas em cada fase, levando em conta todas as ocorrências meteorológicas, posto que, o conteúdo de água adequado para suprir a demanda em um dia frio e nublado, pode tornar-se completamente inadequado em um dia quente e ensolarado.

Por isso e considerando que hoje e mais ainda no futuro, a indisponibilidade de água para a irrigação será uma regra, Fereres e Soriano (2007) propuseram o conceito de irrigação deficitária, que consiste na aplicação de lâminas de água inferiores às estimadas pelas metodologias tradicionais, que determinam os requerimentos hídricos, ao longo dos distintos estádios fenológicos. Segundo os autores, essa é uma ferramenta de manejo de irrigação importante para lidar com escassos suprimentos de água, reduzir o uso de água na irrigação e com isso, maximizar a produção por unidade de água consumida, a produção por unidade de área e a produtividade da água.

Toureiro et al. (2007) também defendem essa ideia e alegam que é necessário verificar as dotações mínimas que, mesmo períodos de “stress hídrico”, garantem bons índices de eficiência de utilização de água pela cultura com produções elevadas, próximas mesmo dos máximos potencialmente verificáveis, assegurando um nível interessante de rendimento do agricultor. Segundo os autores, o conhecimento sobre as respostas das espécies vegetais submetidas a um manejo da irrigação com déficit regulado pode ser de grande relevância, diante das condições de restrições hídricas e, sobretudo no que se refere ao aumento da eficiência no uso da água para produção de alimentos. Gava (2014) confirmou essa tendência, avaliando os efeitos do estresse hídrico em soja. Os resultados descritos pelo autor mostram que as lâminas de déficit reduziram a produtividade quando aplicadas no ciclo todo. Porém, quando aplicadas somente em subperíodos, não apresentaram diferenças significativas em relação à irrigação plena.

2.3 Deficiência hídrica

A água atua em muitos processos de uma planta, desempenhando papel importante na manutenção da integridade das moléculas, das células e tecidos, na manutenção e distribuição de calor, além de características funcionais de preenchimento, meio de

transporte, solvente para reações celulares e processos que permitem a entrada de gases, minerais e outros solutos nas células (EMBRAPA, 2008; MARENCO; LOPES, 2005).

O suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera, sendo a entrada de água na célula responsável pela manutenção da turgescência, crescimento e pela forma estrutural dos tecidos TAIZ; ZEIGER (2013). Ferreira (1992) estima que para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, cerca de 500 gramas de água são absorvidas pelas raízes, transportada através do corpo da planta e perdida para a atmosfera, representando de 80 a 95% da massa dos tecidos em crescimento. Para Taiz e Zeiger (2013), as influências recíprocas entre esses componentes do sistema solo-planta-atmosfera, o tornam dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da quantidade de água disponível no solo e da demanda evaporativa, uma vez que quanto maior for à demanda evaporativa da atmosfera, mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera.

Ocorrendo a indisponibilidade de água no solo, ou esta apresentar-se em quantidade insuficiente à demanda das plantas, ou ainda quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender a demanda atmosférica, estabelece-se o déficit hídrico (PEREIRA et al., 1998). O déficit hídrico é um dos principais entraves responsáveis por acarretar reduções na produtividade agrícola, sobretudo, por comprometer processos relacionados ao desenvolvimento das plantas, incluindo mudanças anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, sendo que as magnitudes dos efeitos estão diretamente relacionadas à sua intensidade, duração e estágio de desenvolvimento da cultura (BEZERRA et al., 2003; FONTANA et al., 1992).

Bergamaschi et al. (2006) complementam afirmando que o déficit hídrico reduz a área foliar, a fotossíntese e outros processos do metabolismo, além de alterar o ambiente físico das culturas, por modificar o balanço energético do sistema. Como estratégia para reagirem a essas condições, Pimentel (2004) relata que algumas espécies reduzem o potencial hídrico interno das suas células através do acúmulo de solutos compatíveis que favorecem a absorção de água do solo, ou simplesmente fecham os estômatos nos horários de maior demanda evaporativa para manter o equilíbrio hídrico dentro da célula. Lawlor (2002) e Mittler (2006) consideram uma síndrome esse grupo de respostas simultâneas apresentado pelas plantas diante da falta de água.

Do ponto vista genético sabe-se que as culturas possuem um potencial máximo de produtividade, o qual é condicionado a restrições impostas pelo ambiente. A água disponível no solo é um dos fatores mais importantes na produtividade vegetal (NOGUEIRA; NAGAI, 1988). De acordo com os autores, a deficiência hídrica pode levar a planta a uma diminuição considerável na produção, mesmo em cultivares de excelente potencial genético.

Por todos esses fatores, Hamdy et al. (2003) enfatizam que o déficit hídrico é atualmente o principal fator ambiental que limita o crescimento e a produtividade de plantas em todo o mundo. E alertam para a possibilidade de as mudanças climáticas globais contribuírem para que a falta de água se torne um fator de restrição ainda maior da produção em diversas áreas.

Em relação à suscetibilidade ao estresse hídrico, a soja possui extensa variabilidade genética sendo alguns genótipos capazes de tolerar estresses severos e, mesmo assim, completar o seu ciclo, enquanto outros não sobrevivem ou sofrem danos severos na sua produção. Vivian et al. (2013), em estudo com vistas à determinar lâminas de irrigação suplementar e as funções de produção para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo-RS, estabeleceram nove cenários para as combinações de datas de semeadura e duração de ciclo da cultura. Com base nos resultados, os autores concluíram que, para o período em estudo, em todos os cenários simulados existiu necessidade de complementação hídrica, com médias entre 163,48 e 238,6 mm, sendo observadas expressivas reduções de rendimento em decorrência do déficit de água.

A soja apresenta características de plasticidade (LIMA et al., 2004), ou seja ser capaz de realizar alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, que resultam em mudanças no seu metabolismo, visando minimizar dos efeitos de estresse na sua produtividade, porém, a ocorrência de seca tem se tornado frequente, e, como boa parte da área plantada com soja utiliza cultivares de ciclo precoce, as fases de florescimento e formação das vagens tornam-se mais seriamente prejudicadas pela estiagem.

A deficiência hídrica no início do ciclo da soja provoca redução na emissão de novos ramos reduzindo de forma potencial o número de nós que iriam produzir legumes, porém, se houver melhor disponibilidade de água após o florescimento, a planta pode se recuperar parcialmente, pois, pode emitir e fixar maior número de flores nos nós para produzir legumes (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Kron et al. (2008), avaliando alguns aspectos fisiológicos e produtivos em plantas de soja submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento, confirmaram essa resposta. Os autores verificaram que a

ocorrência de deficiência hídrica não-letal no estágio V4 (vegetativo) induziu uma resposta mais adequada, permitindo que as plantas desenvolvessem um mecanismo de tolerância a um segundo período de falta de água. De acordo com os autores, uma estratégia utilizada pelas plantas foi a redução do crescimento, que provavelmente relacionada à conservação de energia.

Já com boa disponibilidade de água no período vegetativo, mas com falta no florescimento e início da formação dos legumes, os autores alertam que os danos podem ser mais severos, por se tratar o período mais sensível da planta ao déficit, pois os efeitos se darão sobre o abortamento de flores, óvulos e legumes e, posteriormente, sobre o tamanho dos grãos. Fontana et al. (2001) parametrizaram e validaram o modelo multiplicativo de Jensen modificado para a estimativa do rendimento da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul e concluíram que a água é o fator isolado que mais influência exerce na definição do rendimento da soja.

Martonaro (2007) também constatou os efeitos negativos do déficit hídrico na soja, simulando as condições de preparo convencional e sistema de plantio direto, irrigado e não irrigado no Rio Grande do Sul. Segundo a autora, o déficit hídrico no solo causou reduções de índice de área foliar, estatura, biomassa aérea, área foliar específica e eficiência no uso de radiação solar. Além disso, o rendimento de grãos em plantio convencional não irrigado foi de 1.559 kg ha⁻¹, enquanto o plantio direto irrigado foi de 3.816 kg ha⁻¹. Com base em todas essas evidências, a autora concluiu que o melhor desempenho do plantio direto em relação ao plantio convencional ocorre em função da maior disponibilidade hídrica. Portanto, práticas como o plantio direto e irrigação podem contribuir para a redução das perdas de produtividade em ambientes com baixa disponibilidade de água (ZHANG et al., 2004; SANTANA et al., 2009).

Gava (2014) afirma que a utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, pode reduzir a utilização de água e energia elétrica sem prejudicar a produtividade.

2.4 Manejo de irrigação

O manejo dos recursos hídricos disponíveis traduz a sustentabilidade ecológica na irrigação, que pode ser alcançada pelo uso eficiente, prevenção contra salinização e tratamento adequado de poluentes e pesticidas (GONDIM et al., 2000). Jensen (1980) define

manejo da irrigação como atividade de planejamento e tomada de decisão que o agricultor irrigante deve assumir durante o desenvolvimento da cultura.

Monteiro et al. (2006) afirmam que o manejo adequado da irrigação consiste em se aplicar água ao solo, no momento oportuno e em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas. Este procedimento é de fundamental importância para a obtenção de altos rendimentos com economia de água e de energia.

Bernardo et al. (2006) afirmam que qualquer planejamento e operação de um projeto de irrigação em que se vise à máxima produção e a boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerem conhecimentos das relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo de irrigação.

De acordo com Pimentel (2004), o principal processo que gera o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera é a transpiração, pois o maior gradiente possível de potencial hídrico nesse sistema é o que existe entre a folha e a atmosfera, visto que na atmosfera, a água está no estado gasoso, podendo ocupar um menor volume que no estado líquido ou sólido. O autor explica que, com a perda de água da planta para a atmosfera e conseqüentemente uma redução do potencial hídrico da planta, que se torna mais negativo que o do solo, cria-se um gradiente para que haja o fluxo de água do solo para as raízes. De acordo com Taiz e Zeiger (2013), os estômatos são os responsáveis pelo controle desse fluxo, que respondem às variações de potencial hídrico tanto do solo quanto da atmosfera.

Durante todo esse percurso, a água flui por um sistema de resistências hidráulicas a partir do solo, passando através da planta e, finalmente, atingindo a atmosfera (JONG VAN LIER et al., 2008). Segundo Durigon (2011), para a água ser absorvida pela raiz, primeiro é necessário superar a resistência hidráulica do solo, esta resistência é dependente das propriedades hidráulicas do solo, do teor de água e da distância a ser percorrida. Depois que a água é absorvida pelas raízes e chega aos vasos do xilema, encontra uma baixa resistência hidráulica. Já a partir do xilema, a autora explica que a água sobe depositando-se nas paredes das células mesofílicas, ainda como um líquido, depois, a água evapora, e é difusa, em forma de vapor d'água, nos espaços intercelulares das folhas até chegar à atmosfera através da epiderme e da cutícula, e/ou através de estômatos, a via cuticular tem uma alta resistência hidráulica, portanto, os estômatos são a principal via difusão do vapor de água a partir das folhas para a atmosfera. Assim, a principal limitação ao fluxo de água no solo-planta-atmosfera se situa ao nível da absorção da água pelo sistema radicular, pois o gradiente de

potencial hídrico entre o solo e a raiz são bem menores que entre a planta e a atmosfera (KRAMER; BOYER, 1995).

Além da transpiração, numa superfície vegetada ocorre também o processo de evaporação da água da superfície do solo. A ocorrência desses processos simultaneamente dão origem à evapotranspiração (BERNARDO et al., 2006).

Esses dois processos transferem, praticamente, toda água absorvida para a atmosfera e somente uma pequena fração é usada no interior da planta (COUTO; SANS, 2002; PEREIRA et al., 1997). Por isso, o consumo de água das plantas normalmente se refere à água perdida pela evapotranspiração (PEREIRA et al., 1997)

Para Bernardo et al. (2006), a estimativa da quantidade de água necessária para a irrigação é um dos principais parâmetros para os corretos planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. De acordo com Mello et al. (1996), existem entre 50 e 60 equações baseadas em dados meteorológicos para a simulação da evapotranspiração (ET_o). Atualmente, o método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 2006) é considerado padrão, pois estima com maior precisão a evapotranspiração para uma ampla variedade de climas e localidades.

O modelo Penman-Monteith-FAO, é um método combinado, desenvolvido a partir da introdução da relação entre a resistência ao fluxo de vapor pela folha (r_c) e a resistência aerodinâmica (r_a) no modelo original de Penman, na tentativa de descrever o papel da turbulência atmosférica no processo de transporte do vapor d'água e as características fisiológicas da planta (PEREIRA et al., 1997). Para Figueiredo (2010), essa nova equação, de formulação teórica rigorosamente física possibilita o entendimento dos processos físicos e biológicos envolvidos na evaporação da água de superfícies vegetadas.

As plantas, entretanto, apresentam variações em relação à demanda hídrica. De acordo com Allen et al. (2006), para a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ET_c), faz-se necessário o cálculo da evapotranspiração uma cultura de referência (ET_o), normalmente a grama, aplicando-se, posteriormente, coeficiente de cultivo (K_c) que é relacionado com características fisiológicas e morfológicas que são peculiares à cultura em questão.

Portanto, para realização do manejo da irrigação utilizando as variáveis meteorológicas, Pereira et al. (1997) salientam que é preciso conhecer o consumo de água pelas culturas (ET_c), que representa a lâmina que deve ser aplicada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais. Porém, como as condições climáticas

variam muito entre as regiões do planeta, faz-se necessário estudos específicos para determinação mais precisa das necessidades hídricas das culturas em cada localidade. Além disso, formas de manejo que otimizem o uso dos recursos naturais de maneira que a planta expresse seu potencial sem prejuízos em termos de produtividade.

O conhecimento da demanda hídrica da cultura em diferentes fases fenológicas, assim com a eficiência da mesma no uso da água é muito importante para o manejo do ambiente, como a aplicação de água em maior ou menor quantidade em épocas distintas do ciclo (PEREIRA, 1998). Para o autor, sabendo-se em que fase a cultura seria mais susceptível ao déficit hídrico, ou em que fase do ciclo ocorre melhor uso da água, o manejo da irrigação terá maior eficácia e, assim, haverá maior retorno em produção de matéria seca de interesse econômico, no caso da soja, grãos.

Toureiro et al. (2007) defendem a idéia de que deve-se expor as plantas a um manejo de irrigação com déficit. Com isso, de acordo com os autores, é possível explicar a capacidade de tolerância e/ou sensibilidade à deficiência hídrica das culturas quando imposta ao longo de seus diferentes estádios fenológicos, tendo em vista que os efeitos dos déficits hídricos variam com os estádios em que os mesmos se manifestam e cujas respostas podem até apontar efeitos maléficos do déficit sob o crescimento, embora possam resultar em um equilíbrio funcional entre a água empregada e a fitomassa produzida.

Trabalhos de pesquisa relacionando a resposta das culturas ao manejo de água nos diferentes estádios de desenvolvimento mostram que as plantas respondem de maneira diferente às condições hídricas impostas. Sousa e Lima (2010) avaliaram o desempenho da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca comum sob supressão da irrigação em estádios do ciclo vital (vegetativo, pré-floração, plena floração, enchimento de vagens e final ou maturação) e observaram que a supressão da irrigação nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro interferiu significativamente de modo negativo em todas as variáveis analisadas.

Silva et al. (2012) induziram déficit de irrigação nos estádios vegetativo, floração e formação da produção e avaliaram a morfologia, a produção e a partição de fitomassa do girassol cv. Multissol. Os autores observaram que a altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule foram negativamente afetados pelos déficits de irrigação e que nível de irrigação equivalente a 50% da ETo comprometeu a morfologia e a produção de fitomassa quando aplicado em qualquer estágio de desenvolvimento.

Nogueira e Nagai (1988), ao submeterem a cultura da soja à déficit hídrico nos estádios vegetativo, florescimento e enchimento do grão, verificaram que a deficiência hídrica nos três estádios diminuiu a produção e o número de vagens e de grãos em relação à testemunha, porém, o déficit no período do enchimento do grão foi mais prejudicial do que o aplicado no estágio vegetativo.

Kuss et al. (2008), com o objetivo de verificar o efeito do manejo da irrigação e da população de plantas sobre o rendimento de grãos em soja, testaram três manejos de irrigação: não-irrigado, irrigado em todo o ciclo e irrigado nos períodos críticos, os quais foram considerados os períodos da germinação-emergência e do florescimento-enchimento de grãos. Os resultados evidenciaram que para as plantas irrigadas durante todo o ciclo ou somente nos períodos críticos, o rendimento de grãos não diferiu entre as populações testadas

Nessa mesma linha, Ruviaro et al. (2011) também submeteram a soja a diferentes regimes hídricos para avaliar a viabilidade da irrigação suplementar da cultura. Para tanto, compararam três níveis de irrigação suplementar baseados na evapotranspiração da cultura com um tratamento testemunha sem irrigação. Os autores também consideraram a germinação-emergência e o florescimento-enchimento de grãos como períodos críticos ao estresse hídrico e aplicaram lâminas acumuladas de 20, 40 e 60 mm em suplementação à precipitação pluvial. De acordo com os resultados, a suplementação de ETo de 20 mm apresentou rendimento superior aos demais em relação ao número de vagens e nós férteis por planta, além de plantas de maior altura. Porém, a lâmina de água de irrigação com aplicação de 30 mm foi a que proporcionou a máxima eficiência para o peso de mil grãos e capacitou a cultura atingir sua maior produtividade.

Esses trabalhos indicam que a soja apresenta uma resposta de relativa resistência a déficits hídricos controlados, como sugerem Gava (2014), Toureiro et al. (2007) e Fereres e Soriano (2007), que apontam a irrigação com déficit regulado como estratégia para ampliação da produtividade.

2.6 Eficiência do uso da água

Considerando a atual preocupação mundial com a escassez dos recursos hídricos e o seu alto custo em determinadas situações, a busca pelo aumento da eficiência no uso da água pelas culturas tem sido motivo de preocupação pela pesquisa, extensão e produtores rurais (ROZA, 2010).

A eficiência do uso da água (EUA) relaciona a produção de biomassa pela quantidade de água aplicada (KRAMER; BOYER, 1995), considera-se, portanto, a água adicionada desde o plantio até ponto de colheita da cultura, sendo bastante importante o seu reconhecimento na agricultura irrigada, pois auxilia na otimização do uso da água, além de auxiliar nos problemas de déficit provocados pelo aumento da demanda social em relação à oferta (SILVA et al., 2013). No caso específico da cultura da soja, como os componentes de valor econômico são relacionados com os grãos, a EUA seria a produção de grãos dividida pela quantidade de água agregada durante o período de cultivo. Podendo-se mensurar também os outros componentes como óleo e proteína.

Nas plantas, a eficiência do uso da água instantânea e intrínseca é a capacidade que uma dada vegetação possui em assimilar carbono durante o processo de fotossíntese, enquanto limita as perdas de água através dos estômatos (ROZA, 2010), ou seja, é a razão entre a assimilação de carbono e a perda de água por transpiração (FERREIRA et al., 2012) e trata-se de uma importante medida de avaliação do uso da água pelas plantas e da resiliência dos tipos funcionais de plantas às variações na disponibilidade de água (ROZA, 2010).

Para plantas nas quais o primeiro produto estável de fixação do carbono é um composto de três carbonos, denominadas plantas C₃, aproximadamente 500 moléculas de água são perdidas para cada molécula de CO₂ fixado pela fotossíntese, resultando em uma razão de transpiração igual a 500 (PEREIRA, 1998). Logo a transpiração é uma razão inversa à eficiência de uso da água (EUA). Assim a razão de transpiração para uma planta C₃, transformada em EUA, será em torno de 1/500 ou 0,002 (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Estas espécies devem se adaptar morfológica e fisiologicamente às diversas condições ambientais, especialmente ao déficit hídrico, que é responsável por oscilações na produtividade de regiões agrícolas, para que consigam concluir seus ciclos e produzirem de forma razoável.

De acordo com Gloser e Gloser (1996), as adaptações morfológicas podem se manifestar pelo incremento em massa, volume, comprimento ou área das diferentes estruturas da planta, o que é avaliado como crescimento. Plantas expostas à deficiência hídrica geralmente reduzem o crescimento da parte aérea antes que o das raízes, resultando em incremento na relação entre raiz com parte aérea (KRAMER; BOYER, 1995). A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em consequência, na redução da área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2013), que é um importante fator da produção.

Quanto às adaptações fisiológicas, Nogueira et al. (2001) destacam que o déficit hídrico se reflete em diversos processos das plantas, geralmente aumentando a resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO₂ para a realização do processo de fotossíntese. Taiz e Zeiger (2013) apontam outros processos que também são afetados como a produção de ácido abscísico, a abscisão foliar e o ajustamento osmótico.

Qualquer que seja o tipo de adaptação, morfológico ou fisiológico, irá influenciar a planta como um todo. Deste modo, estratégias baseadas na redução deliberada da oferta de água para as plantas, como déficit de irrigação regulado (DIR), que consiste na aplicação de menor quantidade de água do que a estimada pelos os métodos de determinação da necessidade hídrica das culturas, são comumente utilizadas para aumentar a eficiência de uso da água pelas culturas (ROMERO; BUTÍA, 2006). Porém, existem grandes evidências de que a EUA varia entre espécies, no mesmo ambiente, e entre climas, para uma mesma espécie (KRAMER; BOYER, 1995). Nesse sentido, várias pesquisas tem sido realizadas objetivando avaliar o comportamento de diversas culturas quanto a essa questão.

Roza (2010) avaliou os efeitos do déficit hídrico sobre a eficiência no uso da água (EUA) em plantas de pinhão e concluiu que a técnica da irrigação deficitária pode resultar em maior eficiência fotossintética de uso da água. Costa et al. (2012) estudaram o efeito de lâminas de água sobre a produtividade e a eficiência no uso da água da bananeira, 'Nanicão', no segundo ciclo de cultivo e verificaram que a maior lâmina de água aplicada promoveu os maiores ganhos de produtividade, porém, a máxima eficiência do uso da água foi obtida com a aplicação do menor nível de água.

Barros Júnior et al. (2008) por outro lado, estudando o consumo de água e a eficiência do uso da água para duas cultivares de mamona (BRS-149 e BRS-188), submetidas a diferentes conteúdos de água no solo, constataram que ambas mostram comportamento similar ao das plantas conduzidas sem déficit hídrico, apresentando alta produção de fitomassa, o que indica elevada eficiência na transformação da água consumida em matéria seca.

A soja, por sua característica de planta C3, apresenta baixa eficiência no uso da água e que apresenta características de plasticidade (LIMA et al., 2004), e reage diferentemente à deficiência hídrica, em fases distintas de seu ciclo (PEREIRA, 1998), portanto, de acordo com o autor, o conhecimento da EUA com aplicação de água de forma distinta em diferentes fases fenológicas, é muito importante para fundamentar as técnicas de

manejo, a fim de aumentar a EUA na cultura da soja e com isso, aumentar o retorno em produção de matéria seca de interesse econômico (grãos). Costa et al. (1999) avaliaram a eficiência do uso da água em soja sob estresse hídrico e verificaram aumentos de 60 e 100% no uso eficiente da água nos tratamentos em que estresse hídrico foi imposto nas fases de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente, em comparação com o tratamento irrigado durante todo o período.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi conduzido no período de junho a outubro, entressafra de 2014, na estação experimental do campus de Palmas da Universidade Federal do Tocantins. As coordenadas geográficas do local são: latitude 10°12'46" Sul, longitude 48°21'37" Oeste e altitude de 260 metros.

3.2 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', continental tropical úmido, que caracteriza-se por apresentar uma razoável homogeneidade, com duas estações bem definidas, verão úmido e inverno seco. A precipitação média anual é de 1800 mm, sendo os meses de novembro a março, os mais chuvosos e os considerados secos são os de junho, julho e agosto (SEPLAN-GO, 2003). Os dados climáticos do período de execução do experimento foram extraídos de uma estação meteorológica automática instalada na área do experimento (Figura 1) e constam na Tabela 2.

Figura 1 - Estação meteorológica instalada na área do experimento, Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 2 - Valores médios de temperatura do ar e umidade relativa do ar a 1,5 m de altura, velocidade do vento a 2 m de altura, evapotranspiração potencial e precipitação no período do experimento, Palmas, TO, 2014

Mês	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Vento (m s ⁻¹)	ET _o (mm dia ⁻¹)	PPT (mm)
Jun	25,92	69,80	2,48	5,26	0,2
Jul	25,51	66,58	2,73	5,40	0,0
Ago	25,84	63,52	2,74	6,02	1,8
Set	27,29	69,23	2,48	6,19	102,4
Out	27,55	68,53	2,30	6,36	40,0

Fonte: Estação meteorológica.

3.3 Solo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, segundo Embrapa (2006). As características físicas e químicas do solo na profundidade de 0 a 0,2 m encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Características químicas e físicas da camada de 0 a 0,20 m de profundidade do solo da área experimental, Palmas, TO, 2014

Químicas						Físicas						
P	K	Ca	Mg	Al	MO	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Densidade	Granulometria			
(mg dm ⁻³)			(cmol _c dm ⁻³)		(g dm ⁻³)	-	-	(g cm ⁻³)	Argila	Silte	Areia	
										------(%)-----		
1,72	5,23	1,48	0,44	0,07	24,88	5,68	4,90	1,36	16,44	3,83	79,73	

Fonte: Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins - *Campus* de Gurupi/TO.

3.4 Cultivares

Foram utilizadas duas cultivares, M9144RR RR e TMG1288RR RR. Ambas são adaptadas às condições edafoclimáticas do estado do Tocantins e apresentam bons índices de produtividade, além de apresentarem características como resistência ao acamamento e a pragas e doenças. As sementes foram adquiridas junto a produtores do município de Formoso do Araguaia/TO.

3.5 Preparo da área e correção do solo

Os procedimentos de campo iniciaram-se com coletas de amostras de solo nas camadas de 0 - 0,20, que foram devidamente identificadas, acondicionadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da UFT - *campus* de Gurupi para realização das análises quanto às características físicas e químicas.

Antes da instalação do experimento no campo, foi realizada uma aração e uma gradagem (Figura 2). Após esse procedimento, realizou-se a correção do solo por meio da aplicação de 190 kg ha^{-1} de calcário filler, com PRNT de 100%, seguida de uma gradagem para incorporação do mesmo. Nesse período também aplicou-se o formicida Cipermetrina na dosagem de 8 mL L^{-1} de água, para o controle de formigas que são frequentemente encontradas nas dependências do campus.

Figura 2 - Preparo do solo, Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

3.6 Adubação

Na semeadura foi feita adubação de fundação em todas as parcelas correspondendo a 100 e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e K_2O , respectivamente, conforme recomendação de adubação para soja em solos do Cerrado (SFREDO, 2008) e com base na análise de fertilidade do solo. Os adubos utilizados foram superfosfato simples e cloreto de potássio. Por meio do superfosfato simples também foram aplicados 66 kg ha^{-1} de S. Aos 30 dias após a semeadura (DAS) foram aplicados mais 50 kg ha^{-1} de K_2O via do cloreto de potássio (Figura 3). Além desses adubos, foi utilizada uma formulação comercial de micronutrientes, na forma de mistura de quelatos e sais puros contendo: Fe-Cu-Zn-Mn-B-Mo-Ni, nas proporções de 4,4-1,1-0,44-1,1-1,1-0,22-0,2% respectivamente, na ocasião da semeadura.

Figura 3 - Adubação de cobertura, Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

3.7 Semeadura

A semeadura foi realizada no dia 20 de junho de 2014 e procedeu-se com intuito de se obter uma densidade de 14 plantas por metro linear e o espaçamento entre as linhas de plantio foi de 0,5 m. Antes da semeadura, foi realizada a inoculação das sementes com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (Figuras 4A e 4B).

Figura 4 - Inoculação das sementes antes da semeadura (A); Inoculante (B), Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

3.8 Irrigação

3.8.1 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi do tipo gotejamento. Cada linha de plantio tinha uma linha lateral de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm contendo gotejadores espaçados de 0,5 m. A linha principal foi de PVC com diâmetro de 50 mm, contendo um filtro de disco de 2" instalado no início e acoplada um sistema de bombeamento. As linhas laterais foram dispostas na linha principal espaçadas de 0,5 m, sendo que entre um tratamento e outro, foi deixado um espaço de 1 m de distância entre as linhas laterais extremas para evitar interferência entre os mesmos (Figura 5A). Os gotejadores utilizados foram do tipo click tif HD (Figura 5B) da Naandanjain Irrigation que são autocompensantes na faixa de pressão de 1,0 a 4,0 bar com vazão média de 4,0 L h⁻¹.

Figura 5 - Linhas principal e laterais do sistema de irrigação (A); Gotejador instalado sobre a linha lateral (B). Palmas - TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A unidade de bombeamento (Figura 6A) foi constituída por uma motobomba centrífuga monobloco Thebe® com vazão máxima até 16 m³ h⁻¹ e pressão máxima 34 m.c.a., cujas características encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Características técnicas da bomba Thebe TH-16

Vazão média (m ³ h ⁻¹)																
0	3,5	6,0	7,7	9,1	9,6	10,2	10,8	11,2	12,1	12,4	12,9	13,3	14,0	15,0	15,5	16,0
Altura manométrica total (mca)																
34	32	30	28	26	25	24	23	22	20	19	18	17	15	12	10	8

Fonte: catálogo do fabricante.

A água utilizada para a irrigação foi retirada de um poço de drenagem e armazenada em uma caixa d'água instalada ao lado da unidade de bombeamento (Figura 6B).

Figura 6 – Motobomba (A); Caixa d'água utilizada para armazenamento de água durante a condução do experimento (B). Palmas - TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

No início de cada linha lateral foram instalados registros para controle da aplicação de água nas parcelas de acordo com os tratamentos (Figura 7A), assim como tomadas de pressão no início e no final de algumas dessas linhas, onde era possível acoplar um manômetro com glicerina, para a medição da pressão de serviço, para utilização por ocasião avaliação do sistema para determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen, conforme metodologia descrita por Bernardo et al. (2006). A avaliação do sistema foi realizada depois de instalado o sistema, para verificar a uniformidade de distribuição de água (Figuras 7B e 7C), que evidenciaram um coeficiente uniformidade de Christiansen de 96,55%, caracterizando o sistema como adequado, de acordo com Bernardo et al. (2006), estando, portanto, apto a proporcionar a devida aplicação de água às culturas.

Figura 7 - Linha principal e laterais com registros no início das linhas no detalhe (A); Testes para avaliação da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação (B e C). Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

3.8.2 Manejo da irrigação

A lâmina de irrigação que serviu como referência para os tratamentos correspondeu a evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}), obtida a partir da Equação 1.

$$ET_{pc} = K_c E_{To} \quad (1)$$

sendo: ETpc: evapotranspiração potencial da cultura (mm dia^{-1}); ETo: evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Kc: coeficiente de cultivo para cada fase de desenvolvimento da cultura (adimensional). Para a soja, a FAO preconiza que devem ser adotados os valores 0,4 na fase inicial; 0,8 na fase de desenvolvimento; 1,15 na floração e frutificação e 0,5 na fase final (ALLEN et al., 2006).

A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006). Os dados climáticos foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada na área do experimento (FIGURA 1).

O tempo de irrigação será quantificado conforme a Equação 2.

$$T_i = \frac{ET_{pc} \cdot E_L \cdot E_e \cdot F_c}{E_i \cdot q_e} \quad (2)$$

sendo: T_i é o tempo de irrigação (h); ETpc é a evapotranspiração potencial da cultura (mm dia^{-1}); E_L é o espaçamento entre linhas de irrigação (m); E_e é o espaçamento entre emissores (m); F_c é o fator de cobertura do solo (adimensional), que nesta pesquisa foi considerado 1; E_i é a eficiência de irrigação (adimensional) que, de acordo com os testes realizados, foi 0,87; q_e é a vazão do emissor (L h^{-1}).

3.9 Tratos culturais

O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado sempre que necessário. Destaca-se que, a legislação do estado do Tocantins proíbe o cultivo de soja no período da entressafra, conforme disposto na Portaria nº 419 de 1 de dezembro de 2014 da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins - ADAPEC. Essa proibição ocorre para prevenção da ferrugem asiática, porém, são concedidas exceções nos casos de produção de sementes e com fins de pesquisa, havendo necessidade de uma autorização especial. Essa autorização é condicionada à indicação de um engenheiro agrônomo como responsável técnico, que deve se comprometer a realizar aplicação de fungicida de maneira preventiva. Logo, a primeira aplicação preventiva foi realizada quando as plantas chegaram ao estágio R1, conforme Fehr et al. (1971), mesmo não apresentando sinais nem sintomas da doença. Uma reaplicação foi feita 15 dias após a primeira. Sendo que o monitoramento ocorreu diariamente, não se observando nenhuma incidência de esporos do fungo (*Phakopsora*

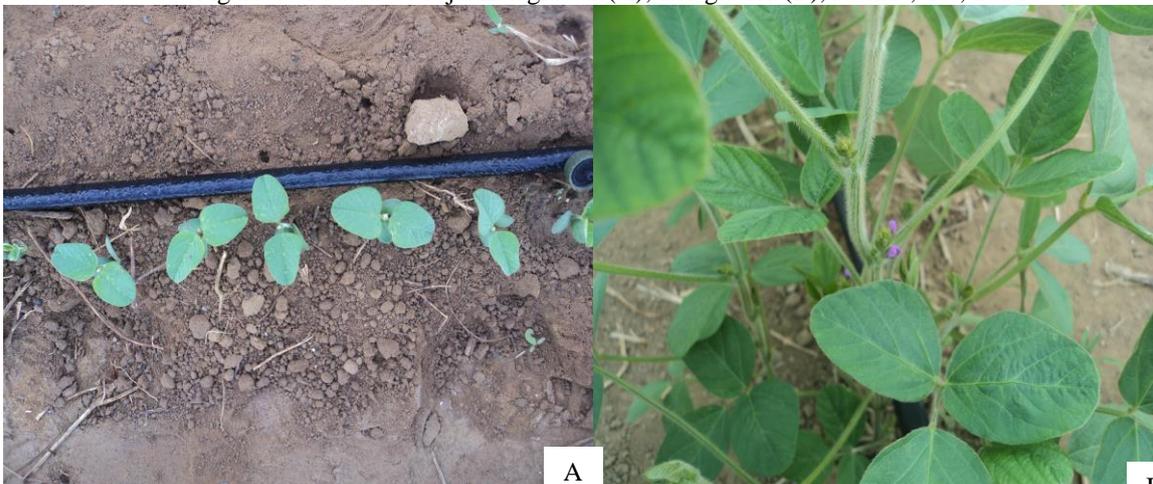
pachyrhizi). O fungicida utilizado foi o Fox (Bayer) e a dose aplicada foi de 300 ml do produto comercial por hectare, numa diluição de maneira para formar uma calda de 200 l por hectare, conforme a recomendação do fabricante.

3.10 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por sete tratamentos e as subparcelas representadas por duas cultivares, totalizando 56 unidades experimentais.

Os tratamentos, que compunham as parcelas, induziram as plantas a déficit hídrico no período vegetativo e reprodutivo da seguinte forma: 25V25R - a cultura sofreu déficit hídrico durante todo o ciclo, sendo irrigada com 25% da ETpc; 50V50R - a cultura foi submetida a déficit hídrico durante todo o ciclo com 50% da ETpc; 100V100R - tratamento em que as plantas não sofreram déficit hídrico, sendo irrigadas com 100% da ETpc durante todo o ciclo; 25V100R - as plantas receberam déficit hídrico, 25% da ETpc, durante toda a fase vegetativa, iniciando a diferenciação em V1 (Figura 8A), de acordo com Fehr et al. (1971); 50V100R: as plantas receberam déficit hídrico, 50% da ETpc, durante toda a fase vegetativa, iniciando a diferenciação em V1 (Figura 8A); 100V25R - as plantas receberam déficit hídrico no estágio reprodutivo, sendo irrigadas com 25% da ETpc, iniciando a diferenciação em R1 (Figura 8B) e 100V50R - déficit hídrico ocorrendo no período reprodutivo, sendo as plantas irrigadas com 50% da ETpc, iniciando a diferenciação em R1 (Figura 8B). A irrigação foi procedida diariamente no início da manhã e quando houve ocorrência de chuva, o valor precipitado foi descontado da lâmina aplicada.

Figura 8 - Plantas de soja: Estágio V1 (A); Estágio R1 (B), Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

As subparcelas corresponderam a dois cultivares de soja, M9144RR e TMG1288RR. Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,5 m. Na colheita foram desprezadas as duas linhas das laterais e 0,5 m das extremidades das fileiras centrais, resultando em uma área útil de 3,6 m² por parcela experimental.

No final do experimento, quando as plantas iniciavam o processo de maturação, a irrigação foi suspensa para que elas pudessem concluir o ciclo e para que os grãos atingissem a umidade ideal.

3.11 Variáveis analisadas

3.11.1 Características Agronômicas

Com base na área útil da parcela foram avaliadas as seguintes características: dias para o florescimento (DF), que foi considerado o número de dias a partir da semeadura até a observação de uma flor aberta na haste principal em 50% das plantas da parcela; dias para a maturação (DM), correspondente ao número de dias a partir da semeadura até o dia em que as plantas apresentaram 95% das vagens maduras em todas as parcelas, quando então era suspensa a irrigação para que ocorresse a secagem dos grãos. Quando constatada a maturação fisiológica das plantas em cada parcela, avaliou-se também as seguintes variáveis em 10 plantas da área útil da parcela: altura da planta (AP), tendo como referência a superfície do solo até o ápice da haste principal da planta; altura da primeira vagem (APV), distância medida a partir da superfície do solo até primeira vagem, sendo estas duas variáveis medidas em centímetros, com o auxílio de trena; número de vagens por planta (NVP), por meio da contagem direta das vagens; diâmetro do caule (DC), mensurado a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo com o auxílio de paquímetro digital, em milímetros.

3.11.2 Área foliar da planta

Avaliou-se a área foliar, por meio de um planímetro ótico eletrônico LI-COR® modelo LI 3100, sendo coletadas, de forma aleatória, quatro plantas de cada tratamento. Essa

análise foi realizada no estádio R5.5 da escala de Fehr et al. (1971), que é o estádio em que a planta atinge seu máximo área foliar, diminuindo rapidamente em seguida.

3.11.3 Produtividade

A produtividade de grãos (PROD) foi determinada, em gramas por parcela e posteriormente transformada em kg ha^{-1} . Para tanto, quando as plantas de cada parcela atingiram a maturidade fisiológica, suspendeu-se a irrigação, deixando as plantas no campo com o intuito de reduzir a umidade dos grãos. Esse procedimento foi adotado para que os grãos fossem colhidos com percentual de umidade de acordo com o que é estabelecido nas normas do ministério da agricultura (BRASIL, 2007). Após esse período, as plantas foram removidas e acondicionadas em sacos de nylon para, posteriormente, ser executado o processo de debulha, que neste caso foi manual. Após a debulha, os grãos foram acondicionados em sacos de papel, que foram devidamente identificados e encaminhados para o laboratório de análises de alimentos do curso de engenharia de alimentos da UFT - *campus* de Palmas, onde foram pesados em balança analítica.

3.11.4 Qualidade dos grãos

Dos grãos colhidos na área útil de cada parcela experimental e enviados para o laboratório de análises de alimentos, foram analisadas as variáveis: peso de mil grãos - P1000G (Figura 9A), determinado multiplicando-se por 10 o peso médio de oito amostras de cem grãos retiradas aleatoriamente do total de grãos produzidos na área útil de cada parcela; diâmetros polar - DPG e equatorial - DEG dos grãos, mensurados com auxílio de paquímetro digital, em milímetros, numa amostra de 10 grãos, também retirados aleatoriamente da produção de cada parcela (Figuras 9B e 9C).

Figura 9 - Análises físicas dos grãos: Peso de 1000 grãos (A); Diâmetro polar do grão (B) e Diâmetro equatorial do grão (C), Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Também foi determinado o teor de água, para tanto, seguiu-se o método da estufa a 105 °C (IAL, 2008). Foram utilizadas três amostras de 10 gramas dos grãos moídos cada tratamento, sendo a pesagem das amostras procedida em cápsula de metal, previamente tarada. Após a pesagem, as amostras foram aquecidas durante 3 horas e resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente. Após esse procedimento, pesou-se as amostras e a operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até peso constante. O percentual de umidade foi obtido pela Equação 3.

$$\%U = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100 \quad (3)$$

Foram avaliados ainda, percentual de óleo dos grãos (%); rendimento de óleo (kg ha⁻¹ - teor de óleo x rendimento de grãos); percentual de proteína e rendimento de proteínas (kg ha⁻¹ - teor de proteínas x rendimento de grãos).

Para a determinação do teor de óleo foi utilizado o método intermitente Soxhlet, usando hexano como solvente, conforme descrito por Silva e Queiroz (2004).

Os grãos oriundos de cada tratamento foram inicialmente homogeneizados, moídos, acondicionados em sacos plásticos e mantidos em dessecador. Na sequência, pesou-se três amostras de aproximadamente 5 g, de cada tratamento, em papel de filtro que foi dobrado de maneira a não ocorrer perda de amostra. Cada amostra foi colocada no interior de um cartucho e esses cartuchos foram introduzidos em tubos reboiler, previamente pesados em balança de precisão com quatro casas decimais. Os tubos reboilers, com os respectivos cartuchos contendo as amostras, foram colocados no aparelho extrator de gordura (Figura 10A), onde adicionou-se o solvente hexano de maneira que o cartucho ficasse totalmente submerso.

Figura 10 - Análises dos teores de óleo em grãos de soja. Aparelho extrator de gordura TE-044-5/50 da Tecnal® (A); Pesagem do tubo reboiler contendo o óleo extraído dos grãos (B). Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Destaca-se que, para não comprometer a pesagem do óleo, todos os procedimentos foram realizados utilizando-se luvas de látex, a fim de evitar a contaminação, tanto das amostras quanto do óleo extraído, pela gordura das mãos.

O aparelho foi então ligado e a temperatura mantida em, aproximadamente 70 °C, no tubo reboiler, com o intuito de manter o solvente em ebulição. O aparelho permaneceu em funcionamento por um período de seis horas. Passado esse tempo, os cartuchos foram removidos dos tubos reboilers e estes foram levados para estufa com circulação forçada de ar a 105 °C, por um período de duas horas, para promover a evaporação completa do solvente. Em seguida os tubos reboilers foram colocados em dessecador para secagem e, posteriormente, foram pesados (Figura 10B). O valor obtido nesta última pesagem foi subtraído da pesagem anterior e resultou na massa de óleo.

O percentual de óleo, que é a média das três repetições, foi calculado multiplicando-se a massa do óleo por 100 e o resultado dividido pela massa da amostra de grãos.

O rendimento de óleo foi obtido pela multiplicação do teor de óleo, que é a massa do óleo dividida pela massa da amostra, pela produtividade de grãos e os resultados expressos em kg ha^{-1} .

O teor de proteína bruta foi obtido pela decomposição das proteínas e outros componentes nitrogenados na presença de H_2SO_4 concentrado a quente, segundo o método Kjeldahl, descrito por IAL (2008) com modificações. Na fase de destilação (Figuras 11A e 11B), recolheu-se a amônia liberada em solução de ácido bórico 4%. O teor de N foi

determinado pela titulação da amônia com ácido clorídrico 0,1 N (Figura 11C). A porcentagem de proteína total da amostra foi calculada empregando-se o fator 6,25 partir do teor de N. Os resultados dos teores de proteína foram expressos em porcentagem com base na matéria seca, constituindo a média de três repetições.

Figura 11 - Análises dos teores de proteína em grãos de soja. Destilação (A e B) e Titulação (C). Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

O rendimento de proteína foi obtido pela multiplicação do teor de proteína pela produtividade de grãos e os resultados expressos em kg ha^{-1} .

3.12 Eficiência de uso da água

Foi determinada a eficiência do uso da água (EUA) em produzir grãos, óleo e proteína em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Para tanto utilizou-se a metodologia proposta por Doorenbos e Kassam (1979), e estabeleceu-se uma relação entre a produtividade de grão, de óleo e de

proteína e a lâmina total de água aplicada na irrigação de cada unidade experimental, conforme equação 3.

$$EUA = \frac{PFEP}{W} \quad (3)$$

em que: EUA é a eficiência de uso da água na produção da fração econômica produzida, neste caso, grãos, óleo e proteína ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); PFEP é produtividade da fração econômica, que no estudo em questão, serão consideradas as produtividades de grãos, de óleo e de proteína (kg ha^{-1}) e W é a lâmina total de água aplicada (mm).

3.13 Análises estatísticas

Os dados coletados foram analisados pela estatística descritiva clássica. Foram aplicados também, testes para verificar a normalidade dos dados, transformando-os nos casos em que a distribuição não apresentou-se normal e posteriormente, mediante análise de variância, avaliou-se a significância dos tratamentos pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Scott & Knott, aos níveis de 5 e 1% de significância. As análises estatísticas foram executadas com o auxílio dos softwares Microsoft Office Excel e Assistat, este desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de soja submetidas a diferentes níveis de irrigação receberam, do início até o final dos seus ciclos, lâminas totais de água conforme Tabela 5. A diferença no consumo hídrico entre as cultivares ocorreu em função da diferença na duração dos estádios fenológicos.

Tabela 5 - Lâminas de irrigação, em milímetros, aplicadas na cultura da soja, de acordo cada tratamento. Palmas, Tocantins, 2014

Cultivar M9144RR				
Tratamento	Lâmina Inicial	Lâmina FV	Lâmina FR	Lâmina Total
25V25R - 25% da ETpc CT*	18,9	33,6	95,9	148,4
50V50R - 50% da ETpc CT	18,9	71,2	185,9	276,0
100V100R - 100% da ETpc CT	18,9	142,4	414,5	575,9
25V100R - 25% da ETpc FV**	18,9	33,6	426,3	478,8
50V100R - 50% da ETpc FV	18,9	71,2	414,5	504,6
100V25R - 25% da ETpc FR***	18,9	142,4	93,0	254,3
100V50R - 50% da ETpc FR	18,9	142,4	207,3	368,6
Cultivar TMG1288RR				
Tratamento	Lâmina Inicial	Lâmina FV	Lâmina FR	Lâmina Total
25V25R - 25% da ETpc CT*	18,9	40,2	86,3	145,4
50V50R - 50% da ETpc CT	18,9	80,5	194,0	293,3
100V100R - 100% da ETpc CT	18,9	160,9	387,9	567,7
25V100R - 25% da ETpc FV**	18,9	40,2	387,9	447,0
50V100R - 50% da ETpc FV	18,9	80,5	387,9	487,3
100V25R - 25% da ETpc FR***	18,9	160,9	86,3	266,1
100V50R - 50% da ETpc FR	18,9	160,9	194,0	373,8

*CT: Ciclo todo; **FV: Fase vegetativa; ***FR: Fase reprodutiva.

Na Tabela 6 encontra-se o resumo das análises de variância das variáveis relacionadas às características agrônômicas e produtividade. De acordo com os resultados, verifica-se que os tratamentos influenciaram, ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F, as características agrônômicas das plantas. A interação entre os tratamentos e as cultivares também foi significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F para as variáveis em questão. Quanto ao fator cultivar, também houve diferença significativa pelo teste F ($p \leq 0,01$) para as características avaliadas, exceto para a área foliar (AF) e o diâmetro do caule (DC), que diferiram ao nível de 5% de probabilidade e para as variáveis altura da planta (AP) e número de vagens por planta (NVP), que não apresentaram diferença significativa.

Tabela 6 - Resumo das análises de variância das características agrônômicas e produtividade de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação. Palmas, Tocantins, 2014

FV	GL	Teste F							
		DF	DM	AP	APV	NVP	DC	AF	PROD
Blocos	3	4,50*	2,12 ^{ns}	7,97**	3,28*	0,64 ^{ns}	4,06*	-	0,13 ^{ns}
Tratamento (T)	6	18,64**	44,68**	33,81**	60,78**	210,04**	64,41**	23,49**	124,28**
Resíduo (T)	18	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultivar (C)	1	1491,86**	46,17**	3,81 ^{ns}	18,47**	1,78 ^{ns}	74,69*	5,05*	19,61**
Interação T x C	6	15,86**	45,22**	4,41**	26,87**	12,09**	26,84**	9,66**	26,81**
Resíduo	21	-	-	-	-	-	-	-	-
CV - T (%)	-	0,75	2,46	7,39	9,70	10,13	4,39	11,24	14,2
CV - C (%)	-	0,92	0,92	6,21	6,68	18,70	4,17	10,00	8,73

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; ^{ns} Não significativo; ** Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste F; * significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; dias para florescimento (DF); dias para maturação (DM); altura da planta (AP); altura da primeira vagem (APV); número de vagens por planta (NVP); diâmetro do caule (DC); área foliar (AF) e produtividade (PROD).

Na Tabela 7 consta o teste de médias das características agrônômicas dias para florescimento, dias para maturação, altura da planta e altura da primeira vagem, observando-se, separadamente, os efeitos dos tratamentos e das cultivares, assim como da interação entre os mesmos. Verifica-se que as plantas de soja, tanto da cultivar M9144RR quanto da TMG1288RR, apresentaram respostas diferentes em relação à duração das fases fenológicas quando submetidas a estresse hídrico. A cultivar M9144RR antecipou o florescimento em relação à cultivar TMG1288RR, assim como encurtou, em dois dias, a fase vegetativa nos tratamentos 25V25R e 25V100R, em relação aos demais. Já a maturidade fisiológica é altamente influenciada pelo déficit hídrico, sendo que as duas cultivares anteciparam o ciclo sob as condições de estresse severo na fase reprodutiva (25V25R e 100V25R).

A variável altura da planta apresentou diferença significativa entre os manejos de irrigação, sendo os menores valores observados nos tratamentos em que as plantas foram submetidas a déficit hídrico na fase vegetativa, porém não variou em relação às cultivares.

A altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante à operação de colheita mecânica dos grãos (GAVA, 2014). Segundo Sedyama et al. (2009), a altura mínima da primeira vagem deve ser de 10 a 12 centímetros em solos de topografia plana e aproximadamente 15 centímetros em terrenos mais inclinados para que não haja perda na colheita pela barra de corte. Em relação a esta variável, observa-se na Tabela 7 que o déficit hídrico a influenciou, contudo as plantas não apresentariam problemas com perdas em caso de colheita mecanizada se fossem semeadas em solos planos.

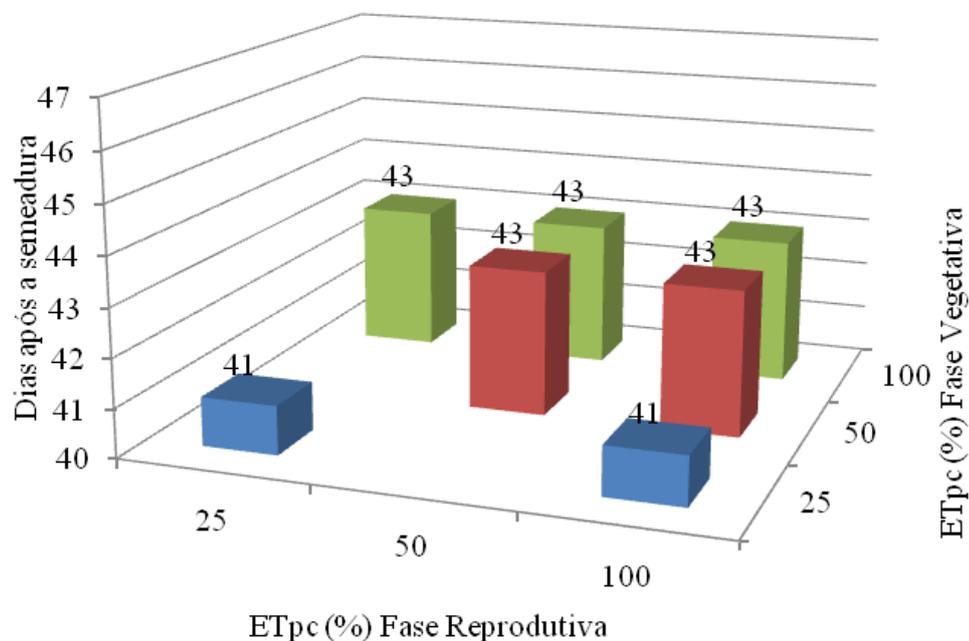
Tabela 7 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura da planta (AP) e altura da primeira vagem (APV). Palmas, Tocantins, 2014

Tratamento	Variável							
	DF		DM		AP (cm)		APV (cm)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	41,0 bB	47,0 aA	98,7 dB	101,5 dA	48,7 dA	47,7 dA	17,7 bA	14,3 dB
50V50R	43,0 aB	47,0 aA	99,5 dB	111,2 cA	56,9 cA	52,7 dA	16,4 bA	13,4 dB
100V100R	43,0 aB	46,0 bA	116,0 aA	114,2 bB	65,2 bB	78,9 aA	14,1 cB	21,5 cA
25V100R	41,0 bB	46,0 bA	113,0 bA	111,5 cB	57,1 cA	60,5 cA	17,8 bA	15,3 dB
50V100R	43,0 aB	47,0 aA	114,2 bB	116,7 aA	59,6 cA	62,5 cA	14,5 cA	14,9 dA
100V25R	43,0 aB	46,0 bA	101,7 cA	102,2 dA	69,2 bA	68,2 bA	23,0 aB	27,8 bA
100V50R	43,0 aB	47,0 aA	112,7 bA	111,2 cB	73,8 aA	74,1 aA	23,6aB	29,9 aA

Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Detalhando separadamente as respostas das cultivares aos manejos de irrigação, é possível observar na Figura 12 que as plantas da cultivar M9144RR sob condições de estresse severo na fase vegetativa (25V25R e 25V100R) anteciparam seu florescimento em relação aos demais tratamentos.

Figura 12 - Dias para florescimento de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



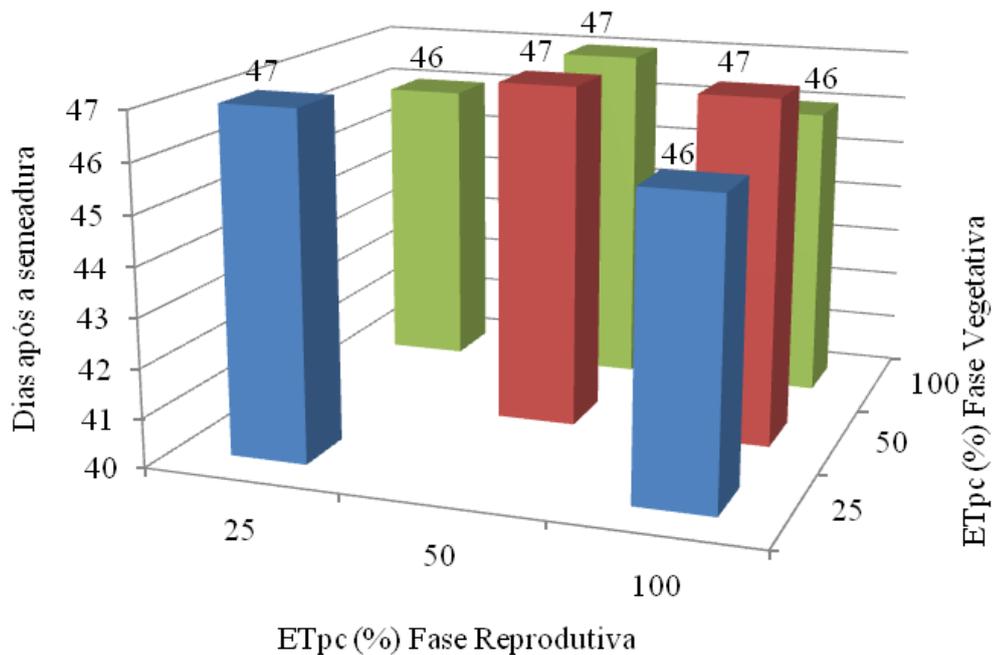
Fonte: Elaborada pela autora.

Essa resposta se caracteriza como uma reação da planta a condições extremas, especialmente relacionadas com alta temperatura do ar e pouca disponibilidade hídrica.

Durante o dia a planta realiza a fotossíntese e acumula os carboidratos sintetizados nas folhas, e à noite metaboliza e transporta esses produtos para os pontos de crescimento. Porém, sob alta temperatura e condições hídricas desfavoráveis, acentua-se o processo de respiração da planta, em prejuízo de ambos os processos, resultando em menor crescimento e aceleração do processo reprodutivo (EMBRAPA, 2010). Além disso, planta de soja é fortemente influenciada pelo fotoperíodo. Em regiões de fotoperíodo mais curto, ou em casos de ocorrer diminuição do fotoperíodo na fase vegetativa, ela tende a induzir o florescimento precoce (BORÉM, 2005).

Em relação a cultivar TMG1288RR, a Figura 13 expõe a quantidade de dias entre a semeadura e o florescimento para esta cultivar, em função dos regimes hídricos aos quais as plantas foram submetidas.

Figura 13 - Dias para florescimento de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



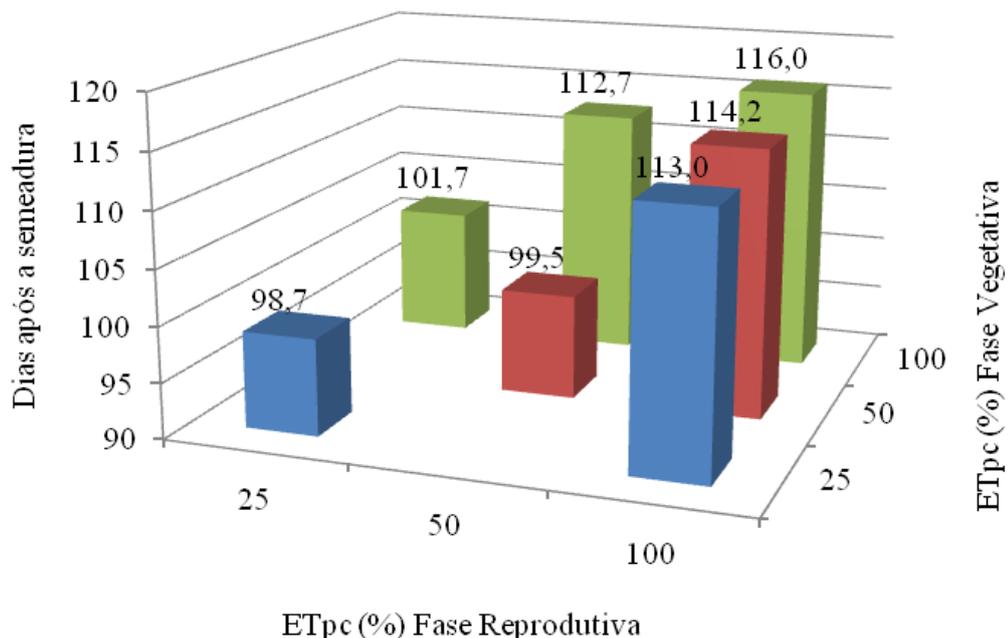
Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que houve diferença de um dia nas médias dos tratamentos 100V100R, 25V100R e 100V25R em relação aos tratamentos 25V25R, 50V50R, 50V100R e 100V50R quanto ao florescimento. Porém, considerando que nos dois grupos contém tratamentos com e sem déficit hídrico, é possível inferir que o déficit hídrico tem pouco efeito sobre o tempo de floração dessa cultivar, sendo, essa pequena diferença, possivelmente,

relacionada com a desuniformidade do processo de florescimento que é comum em algumas cultivares de soja, conforme relata Galli et al. (2007).

Quanto à maturação, verifica-se na Figura 14 que as plantas da cultivar M9144RR anteciparam o ciclo sob as condições de estresse severo na fase reprodutiva (25V25R e 100V25R) e, quando submetidas ao tratamento 50V50R, que correspondeu a déficit hídrico moderado durante todo o ciclo. Destaca-se ainda que, quando submetida ao tratamento 25V100R, a cultivar M9144RR, que antecipou o florescimento em virtude do déficit hídrico no período vegetativo, porém, não repetiu essa precocidade quanto à maturação. Deduz-se com isso que, como as plantas passaram a receber água na quantidade recomendada durante a fase reprodutiva, retomaram os processos fisiológicos normais, demonstrando a capacidade de adaptação e regeneração.

Figura 14 - Dias para maturação de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

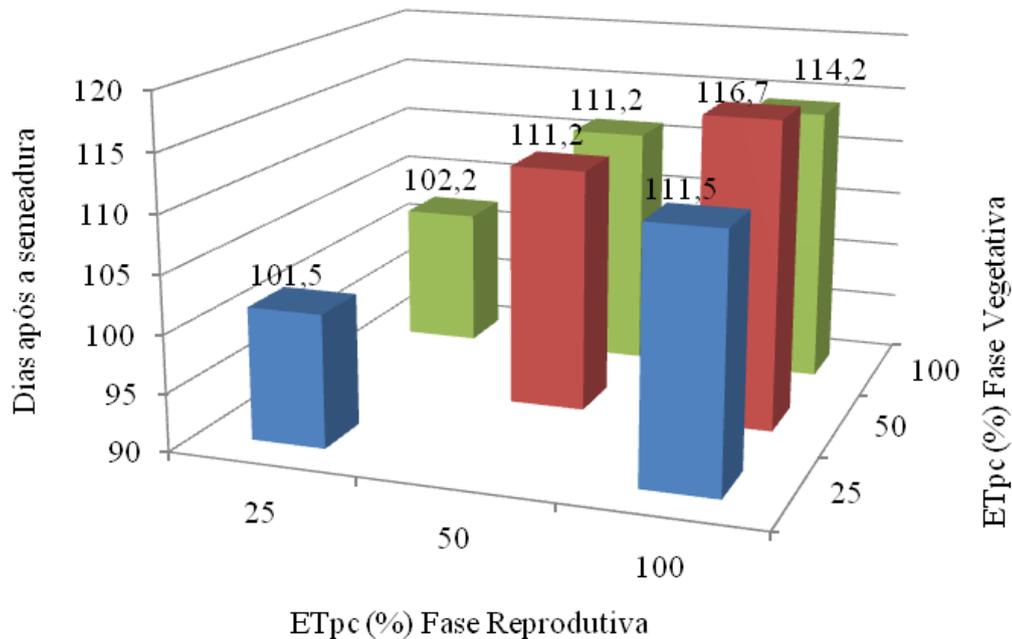


Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 15 expõe as médias da quantidade de dias entre a semeadura e a constatação da maturação fisiológica nas plantas da cultivar TMG1288RR, em função de manejos de irrigação com déficit hídrico. Assim como no caso da cultivar M9144RR, as plantas da cultivar TMG1288RR também apresentaram maturação fisiológica mais precoce sob as condições de estresse severo na fase reprodutiva (25V25R e 100V25R), em relação às

plantas dos demais tratamentos. As plantas do tratamento 50V100R foram as que apresentaram maior duração do ciclo.

Figura 15 - Dias para maturação de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Diversos trabalhos tem sido realizados em que os autores testam melhores épocas de semeadura da soja, com objetivo de evitar “veranicos”, que são comuns nas regiões produtoras, nas épocas consideradas críticas para a cultura. Esses trabalhos enfatizam os efeitos das altas temperaturas associadas à baixa disponibilidade hídrica como os fatores que mais influenciam a antecipação do florescimento e da maturação, ressaltando a sensibilidade de alguns cultivares ao fotoperíodo, que também é considerado indutor do florescimento precoce, conforme relata Borém (2005).

Medina et al. (1997) e Martins et al. (1999) observaram que cultivares de soja reduziram os dias para maturação quando foram semeadas em época tardia, que ocasionou baixos índices de pluviosidade na fase reprodutiva, confirmando a influência dessas condições na redução do ciclo dos cultivares, especialmente para os de maturação precoce.

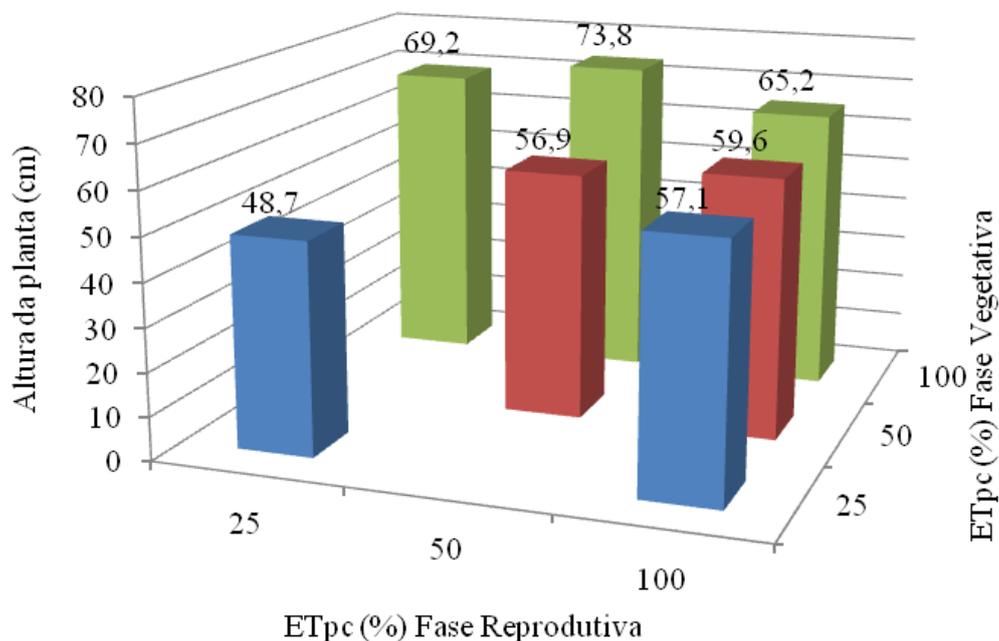
Thomas e Costa (1994) testando os efeitos do déficit hídrico na soja constataram que a partir do estágio R6, o tratamento com irrigação suplementar levou 26 dias para atingir a maturação fisiológica, enquanto o não irrigado chegou a esse estágio em dez dias. Resposta

semelhante à da cultivar TMG1288RR que só apresentou diferença significativa, em relação ao déficit hídrico, quanto à maturação fisiológica.

Cruz et al. (2010), Francisco (2009) assim como Barros et al. (2003) também observaram que cultivares de soja reduziram a quantidade de dias entre a semeadura e a maturação fisiológica quando semeadas em épocas que proporcionaram às plantas condições climáticas desfavoráveis, atribuindo principalmente os baixos índices pluviométricos na fase reprodutiva a esse encurtamento.

A representação gráfica das médias da variável altura da planta da cultivar M9144RR em função dos manejos de irrigação encontra-se na Figura 16. De acordo com o exposto, verifica-se que as plantas que foram submetidas a estresse hídrico severo e moderado no ciclo inteiro (25V25R e 50V50R) e na fase vegetativa (25V100R e 50V100R) apresentaram menores alturas, porém, nas plantas que receberam a irrigação com déficit apenas na fase vegetativa tiveram condições de se recuperar, entretanto, suas alturas ficaram inferiores às das plantas que não sofreram estresse nessa fase.

Figura 16 - Altura de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

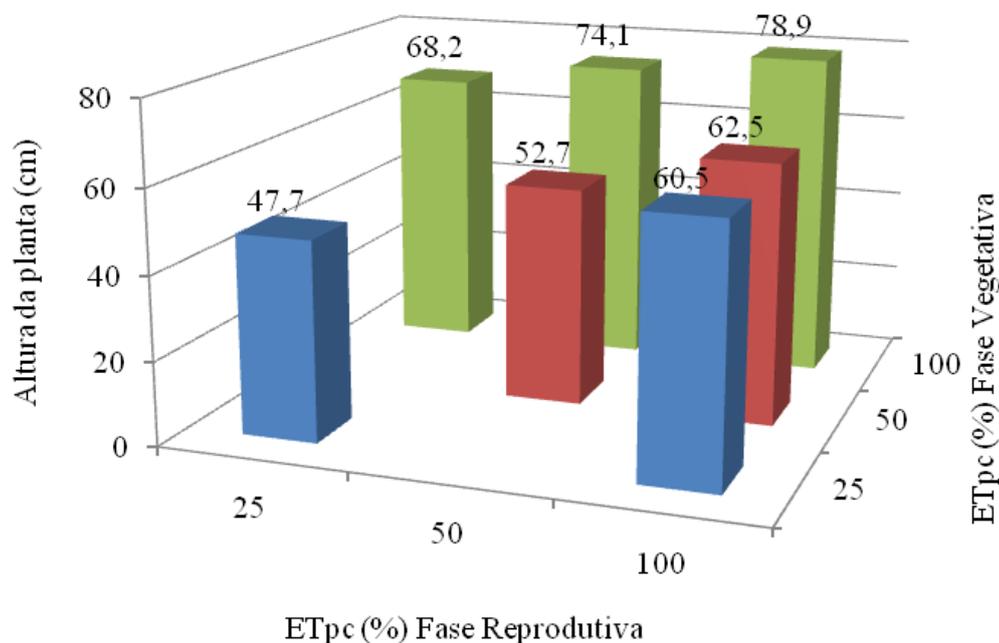


Fonte: Elaborada pela autora.

Assim como foi observado no caso da cultivar M9144RR, as plantas da cultivar TMG1288RR, que foram submetidas a estresse hídrico severo e moderado no ciclo inteiro (25V25R e 50V50R) e na fase vegetativa (25V100R e 50V100R), também apresentaram

menores alturas (Figura 17). De acordo com Bergamaschi et al. (2006), o déficit hídrico no período vegetativo reduz o crescimento da planta em função de decréscimos na área foliar, no teor de clorofila nas folhas, na interceptação de radiação solar, na condutância estomática, na taxa fotossintética e conseqüentemente na biomassa total, mas os danos são reversíveis. A reação da soja sob estresse nessa fase é de direcionar a energia mais para a diferenciação celular, que leva a novos estádios do ciclo vital, em detrimento da multiplicação celular, isso reduz o crescimento (EMBRAPA, 2010).

Figura 17 - Altura de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Santos e Carlesso (1998) complementam explicando que, quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico, exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), uma das primeiras respostas das plantas ao estresse é a redução no crescimento. Os autores afirmam que a perda de turgidez é o primeiro efeito biofísico da carência hídrica, logo, as atividades relacionadas com a turgidez são as mais sensíveis ao déficit hídrico. Por ser dependente da turgidez e, conseqüentemente, sensível à deficiência hídrica, o crescimento celular é um processo que é extremamente prejudicado à medida que o conteúdo de água diminui (MORANDO et al., 2014). Os autores

explicam que, nessas condições, a célula encolhe e as paredes relaxam, os solutos ficam mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa, uma vez que cobre uma área menor.

Cruz et al. (2010), em pesquisa testando épocas de semeadura da soja, observaram que plantas que foram semeadas em épocas que proporcionaram condições favoráveis de precipitação pluvial logo após a emergência das plântulas, apresentaram altura de planta significativamente superior, o mesmo não ocorrendo nas demais épocas de semeadura, em que, nas fases iniciais, verificou-se a ocorrência de “veranico”. Braccini et al. (2004) também encontraram resultados semelhantes. Bonato (2000) alerta que secas severas na fase vegetativa levam as plantas a apresentarem redução de crescimento.

Ruviaro et al. (2011) confirmaram essa resposta comparando os efeitos de três níveis crescentes de irrigação suplementar, baseados na evapotranspiração da cultura com um tratamento testemunha sem irrigação. Os resultados mostraram que ocorreu redução da estatura das plantas com o aumento do estresse hídrico, e associaram esses resultados à diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

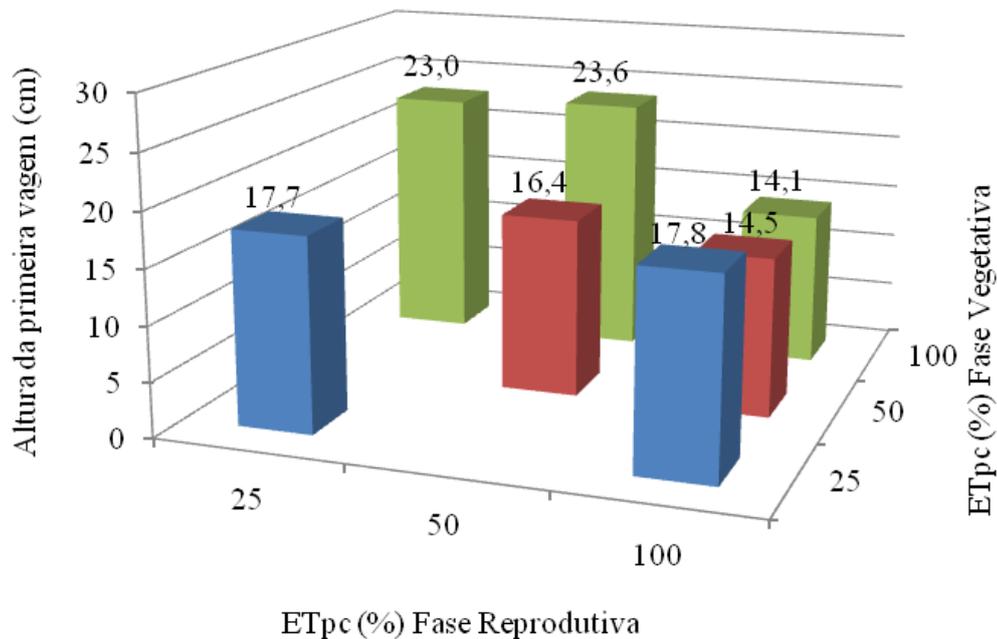
A soja, em condições déficit hídrico, tende a apresentar uma altura menor e sistema radicular mais profundo, aumentando sua tolerância à seca (PITOL; BROCH, 2012). Segundo Salinet (2009), o melhoramento genético de soja para aumentar a tolerância à seca tende a provocar redução de porte das plantas.

Já para Tomich et al. (2003), a altura de plantas é uma característica importante por ser, normalmente, positivamente correlacionada com as características de produção. Neste caso, porém, o porte mais baixo das plantas, que foram submetidas a déficit hídrico moderado apenas na fase vegetativa (50V100R), não implicou em prejuízos às plantas quanto à capacidade de produção, o que será discutido adiante. Resultados semelhantes foram encontrados por Kron et al. (2008), que verificaram que a ocorrência de deficiência hídrica no estágio vegetativo permitiu que as plantas desenvolvessem um mecanismo de tolerância à falta de água, e consideraram a redução do crescimento das plantas uma estratégia de conservação de energia.

No que concerne à altura de inserção da primeira vagem, a Figura 18 apresenta as médias desta variável para as plantas da cultivar M9144RR submetidas a manejos de irrigação com déficit hídrico. Constata-se, comparando as médias, que no caso da cultivar M9144RR, os menores valores de altura da primeira vagem corresponderam aos tratamentos 100V100R e 50V100R. Estes tratamentos, conforme será discutido adiante, proporcionaram os maiores

valores de produtividade. Deduz-se com isso, que as plantas desta cultivar, que sofreram déficit hídrico, com exceção das que foram submetidas a déficit hídrico moderado apenas na fase vegetativa, tratamento 50V100R, apresentaram abortamento de vagens em posições mais baixas, que correspondem às frações mais velhas da planta e com isso as vagens concentraram-se nas posições superiores, ocasionando maiores alturas das primeiras vagens. No tratamento 25V100R, apesar de as plantas terem recebido a quantidade de água recomendada na fase reprodutiva, como estresse na fase vegetativa foi severo, seu efeito pode ter se prolongado, além disso, as plantas floresceram antecipadamente, portanto, o mesmo pode ter ocorrido.

Figura 18 - Altura de inserção da primeira vagem de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

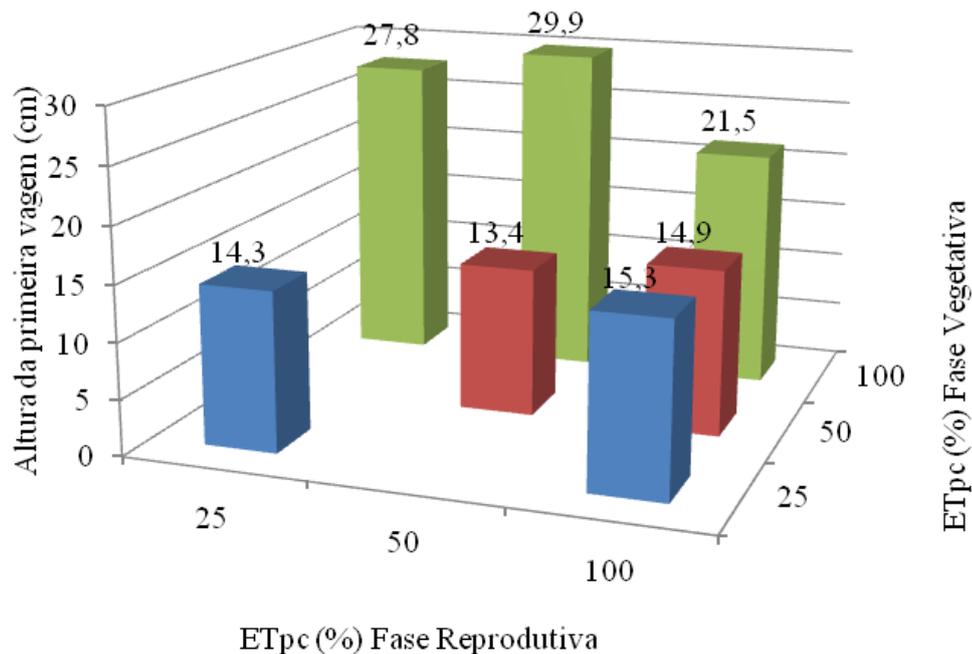


Fonte: Elaborada pela autora.

As respostas da cultivar TMG1288RR aos manejos de irrigação, em relação à variável altura de inserção da primeira vagem, são expostas por meio da representação gráfica da Figura 19. Observa-se que os menores valores de altura de inserção da primeira vagem da cultivar TMG1288RR corresponderam aos tratamentos 25V25R, 50V50R, 25V100R e 50V100R, os quais proporcionaram déficits hídricos severo e moderado na fase vegetativa e durante todo ciclo. Como já foi comentado, esses tratamentos também foram relacionados com os menores valores de altura das plantas desta cultivar. Deduz-se, portanto, que os menores valores da altura da primeira vagem nas plantas da cultivar TMG1288RR submetidas

a esses tratamentos, seguiram a mesma tendência da altura das plantas. Essa resposta pode estar relacionada com certa tolerância ao déficit hídrico que a cultivar pode apresentar, tendo em vista não ter apresentado abortamento de vagens nas posições mais baixas da planta sob déficit hídrico.

Figura 19 - Altura de inserção da primeira vagem de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Kuss (2006) argumenta que, se a altura da primeira vagem estiver dentro dos limites estabelecido para a colheita mecânica, os menores valores para esta variável são mais adequados, pois representam maiores números de nós férteis. Borges (2014) explica que as fontes de fotoassimilados tendem a exportá-los para os drenos mais próximos, logo, na fase vegetativa as folhas do terço inferior exportam esses nutrientes para o sistema radicular. No estágio reprodutivo, a autora relata que aquelas folhas precisam exportar os fotoassimilados para o sistema radicular e vagens em desenvolvimento, e como são folhas mais velhas, a redistribuição desses compostos é menor e possivelmente a interceptação de luz também é reduzida, restando baixa disponibilidade dos mesmos para ambos os órgãos e, assim maior abortamento de vagens nesta posição da planta.

De acordo com Barbosa et al. (2013), a altura de inserção da primeira vagem pode ser característica da própria cultivar, entretanto, fatores como época de semeadura e tipo de solo também podem estar envolvidos com a tendência de apresentar plantas com altura

reduzida e, conseqüentemente, desenvolvimento de vagens próximas ao solo, especialmente em se tratando de solos mais arenosos, com baixa capacidade de retenção de água.

A Tabela 8 contém as médias da interação entre os tratamentos e as cultivares para as variáveis: número de vagens por planta, diâmetro do caule, área foliar e produtividade. De acordo com os dados, os tratamentos 100V100R e 50V100R resultaram em maiores valores médios para todas as variáveis mencionadas na cultivar M9144RR. No caso da cultivar TMG1288RR, além dos tratamentos 100V100R e 50V100R, o que proporcionou déficit hídrico moderado durante todo o ciclo (50V50R), também apresentou-se superior para as variáveis número de vagens por planta, diâmetro do caule e área foliar, não diferindo estatisticamente do tratamento 100V100R. O tratamento 100V50R também foi semelhante estatisticamente aos tratamentos mencionados para variável área foliar da cultivar TMG1288RR.

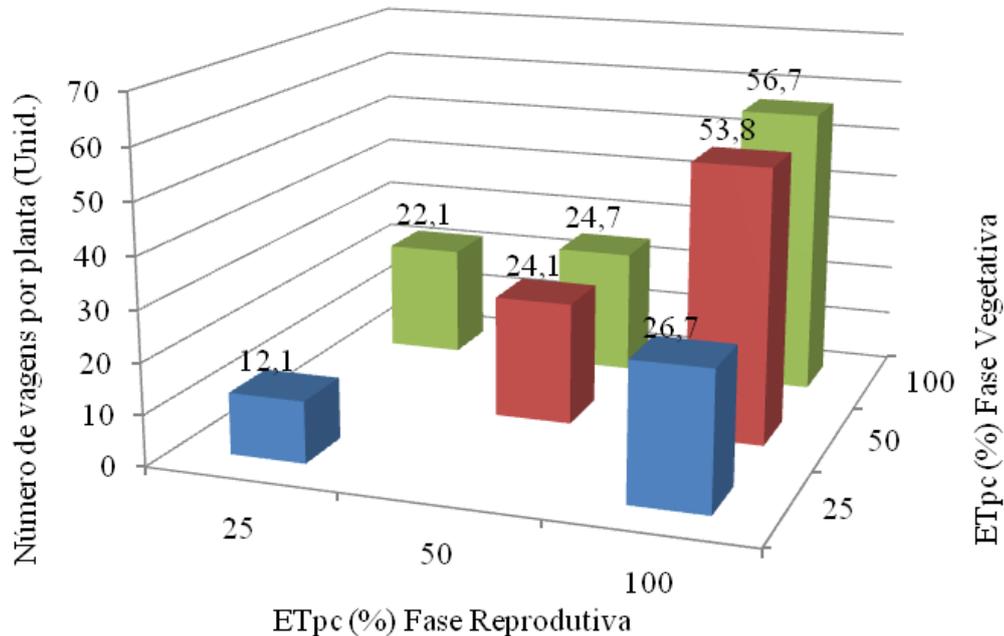
Tabela 8 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: altura da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP); diâmetro do caule (DC), área foliar (AF) e produtividade (PROD). Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Variável							
	NVP (Unid)		DC (mm)		AF (cm ²)		PROD (kg ha ⁻¹)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	12,1 cB	28,4 bA	4,19 cB	5,09 cA	496,50 cA	631,05 cA	706,15 fA	918,65 fA
50V50R	24,1 bB	37,8 bA	5,71 bA	5,48 bA	645,90 dB	1302,39 aA	1.342,62 eB	2.326,05 dA
100V100R	56,7 aA	36,5 bB	6,70 aA	5,42 bB	2399,49 aA	1309,03 aB	4.781,99 bA	3.643,14 bB
25V100R	26,7 bA	24,4 cA	4,49 cA	4,43 dA	1276,58 bA	1065,83 bA	3.375,35 cA	2.672,80 cB
50V100R	53,8 aB	74,5 aA	6,56 aA	5,93 aB	2188,74 aA	1506,27 aB	5.271,26 aA	3.994,66 aB
100V25R	22,1 bA	14,7 cA	5,99 bA	4,46 dB	1431,45 bA	1024,69 bB	1.395,13 eA	1.636,30 eA
100V50R	24,7 bA	19,1 cA	5,68 bA	4,87 cB	1446,46 bA	1561,10 aA	1.994,51 dA	1.820,93 eA

Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Analisando cada variável isoladamente, quanto aos manejos de irrigação e as cultivares, a começar pelo número de vagens por planta, verifica-se na Figura 20 que as plantas do cultivar M9144RR apresentaram os maiores valores médios nos tratamentos 100V100R e 50V100R, que correspondiam a 100% da ET_{pc} durante todo o ciclo e 50% da ET_{pc} na fase vegetativa e irrigação com 100 % da ET_{pc} no restante do ciclo, respectivamente. Observa-se que, com exceção deste, que proporcionou às plantas um estresse moderado, todos os outros tratamentos com déficit hídrico causaram redução no número de vagens por planta, sendo que o tratamento que propiciou estresse severo durante todo o ciclo, 25V25R, foi o que mais prejudicou essa variável.

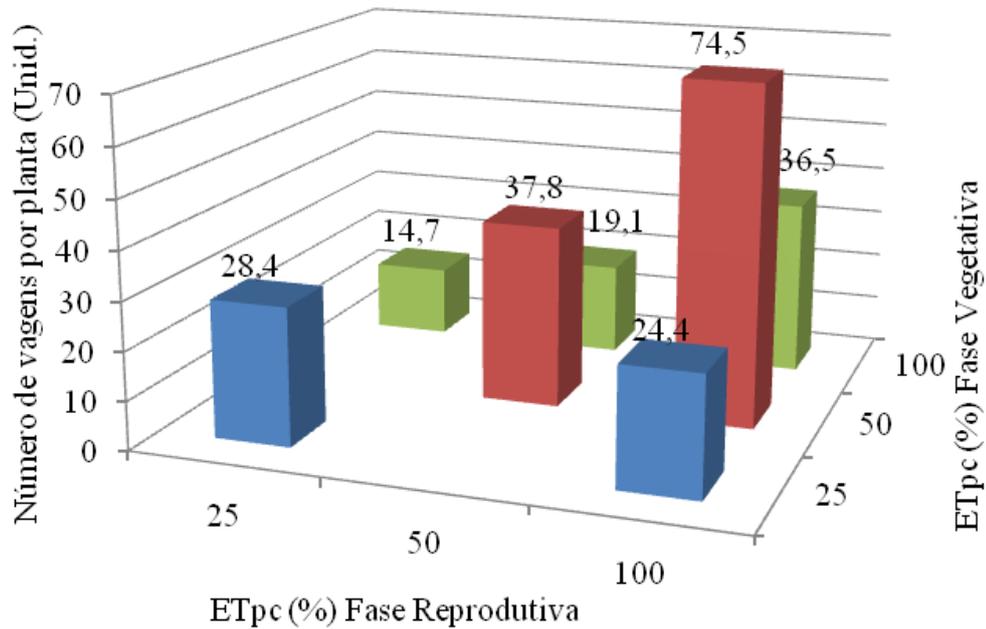
Figura 20 - Número de vagens por planta de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 21 expõe a representação gráfica da variável número de vagens por planta para a cultivar TMG1288RR. Observa-se que esta cultivar apresentou maior número de vagens no tratamento 50V100R, seguido dos tratamentos 50V50R, 100V100R e 25V25R que não diferiram estatisticamente entre si, que dá uma indicação de que as plantas que vinham estressadas desde o início do ciclo, nos casos dos tratamentos 25V25R e 50V50R, fizeram um ajustamento na sua morfologia reduzindo a altura da planta e aumentando o número de vagens. Entretanto, as vagens na sua maioria tinham um ou dois grãos e alguns chochos, resultado semelhante ao encontrado por Maehler et al. (2003) que observaram um aumento do número de vagens vazias e com um grão, em detrimento ao de vagens contendo três grãos em razão do menor suprimento de água e assimilados durante o período de formação das vagens e enchimento de grãos. Além disso, os grãos apresentavam peso reduzido como pode ser conferido na Tabela 10 e será discutido adiante. Os tratamentos 25V100R, 100V25R e 100V50R conferiram os menores valores para esta variável, que apesar de serem considerados estatisticamente semelhantes, quando se considera os valores, observa-se que o tratamento 25V100R apresenta maior número de vagens por planta.

Figura 21 - Número de vagens por planta de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



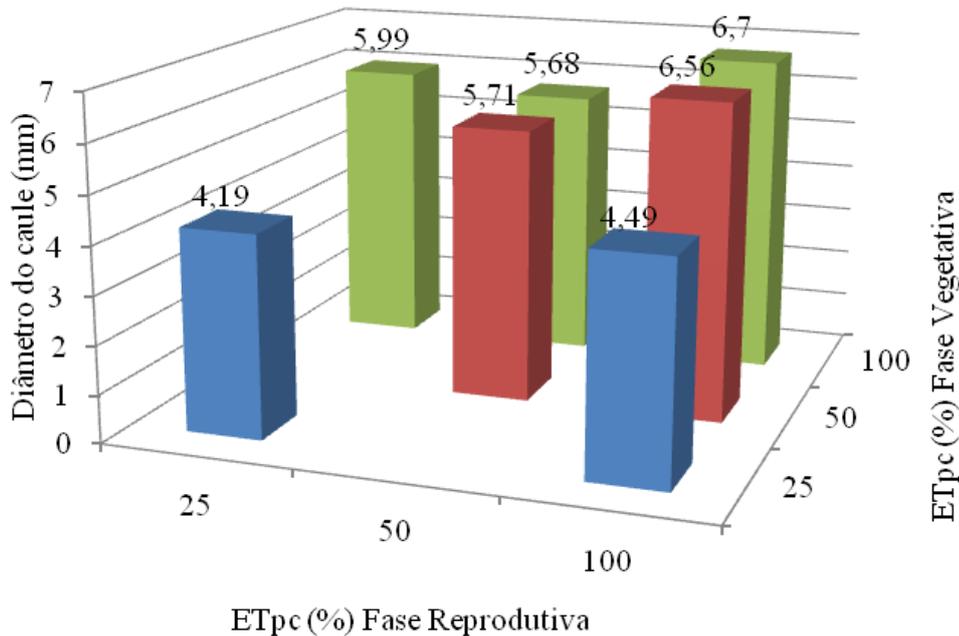
Fonte: Elaborada pela autora.

Esses resultados refletem os efeitos negativos do estresse hídrico na fase reprodutiva e estão de acordo com os encontrados por Thomas e Costa (1994). Os autores atribuem esse comportamento ao fato de as plantas sob estresse hídrico na fase reprodutiva apresentarem menores índices de área foliar, que deve ter reduzido a quantidade total de fotoassimilados sintetizados pelas plantas, assim como a disponibilidade deles para translocação aos órgãos reprodutivos. Em consequência disso, pode ter ocorrido aborto de flores e vagens, bem como redução do tamanho dos grãos. Minuzzi et al. (2009) complementam que, em condições de estresse hídrico, os processos de macrosporogênese e microsporogênese não acontecem, tendo como possível consequência, o aparecimento de plantas totalmente estéreis.

O diâmetro do caule é uma característica que está relacionada com a capacidade de sustentação da planta, assim como com a resistência ao acamamento. Na Figura 22 estão contidas as médias da variável diâmetro do caule das plantas da cultivar M9144RR. Pelos resultados constata-se que os maiores valores relacionados com o diâmetro do caule foram obtidos nos tratamentos 100V100R e 50V100R. Percebe-se, portanto que, com exceção do tratamento 50V100R, que proporcionou estresse moderado apenas na fase vegetativa e, pelo que se observa, teve efeito positivo, as plantas apresentaram os menores valores de diâmetro do caule quando submetidas a condições hídricas desfavoráveis. É possível inferir ainda, que

o déficit hídrico em todas as fases da cultura ou, severo, em uma fase específica com irrigação plena em fases remanescentes, não é suficiente para recuperar os efeitos do déficit nesta variável, conforme pode ser conferido pela inferioridade dos valores médios observados nos tratamentos que proporcionaram essas condições.

Figura 22 - Diâmetro do caule de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

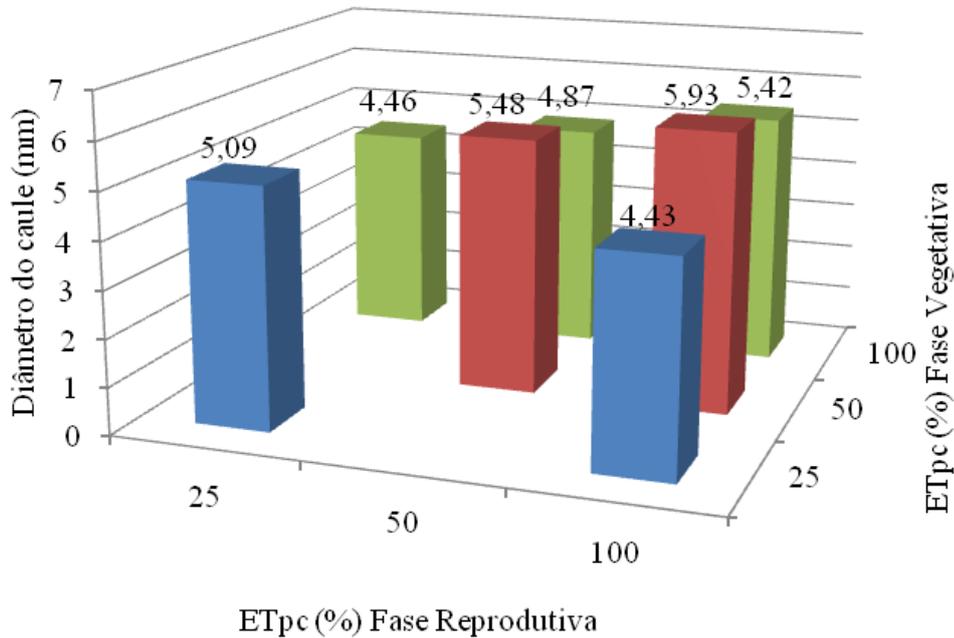


Fonte: Elaborada pela autora.

Esses resultados podem ser explicados levando-se em conta que a deficiência hídrica acarretou reduções no potencial da água das células componentes do caule (NEZAMI et al., 2008). Taiz e Zeiger (2013) cogitam que o crescimento do caule seja influenciado pelos mesmos princípios que governam a restrição do crescimento das folhas, diante do déficit hídrico.

Os valores médios da variável diâmetro do caule para a cultivar TMG1288RR submetida a manejos de irrigação encontram-se na Figura 23. Constata-se que essa cultivar apresentou o maior valor médio para a variável diâmetro do caule, 5,93 mm, nas condições do tratamento que proporcionou déficit hídrico moderado apenas na fase vegetativa (50V100R), sendo, inclusive, superior estatisticamente ao tratamento em que as plantas não sofreram déficit hídrico (Tabela 8), o que mais uma vez indica uma tendência dessa cultivar a responder positivamente a déficit hídrico moderado na fase inicial de desenvolvimento.

Figura 23 - Diâmetro do caule de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

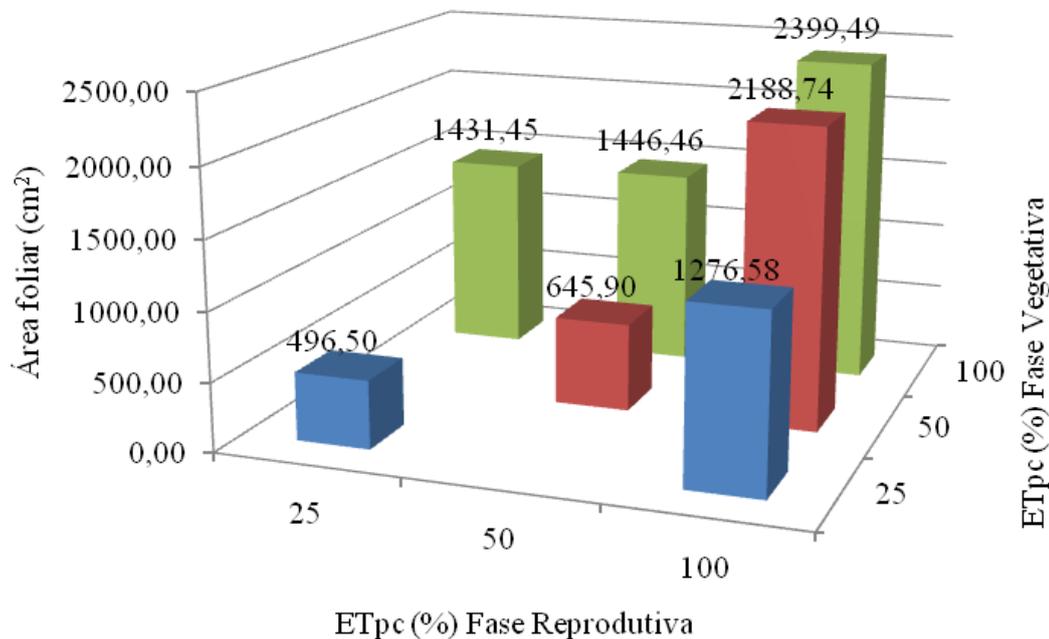


Fonte: Elaborada pela autora.

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (FERNÁNDEZ et al., 1996).

Analisando a Figura 24, que apresenta as médias da variável área foliar para a cultivar M9144RR, observa-se que as plantas, sob condições de déficit hídrico, com exceção das que foram submetidas ao tratamento 50V100R, apresentaram menores valores de área foliar. Essa resposta, segundo Taiz e Zeiger (2013) pode ser considerada como uma das primeiras reações das plantas em relação ao déficit hídrico e trata-se de um mecanismo morfofisiológico das plantas em função da necessidade em se resolver este conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos. De acordo com os autores, o déficit hídrico leva a planta a desenvolver estratégias como decréscimo da produção da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores, levando-as a tentarem atingir a produção de grãos.

Figura 24 - Área foliar de plantas de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Todavia, é possível observar, ainda analisando a Figura 24, que as plantas que sofreram deficiência hídrica apenas no período reprodutivo, mantiveram valores consideráveis de área foliar. Essa resposta pode ter relação com que Mundstock e Thomas (2005) chamam de “retenção foliar”, que segundo os autores, trata-se de um sintoma causado por um desbalanço na relação de nutrição entre as folhas e vagens provocado pelo déficit hídrico.

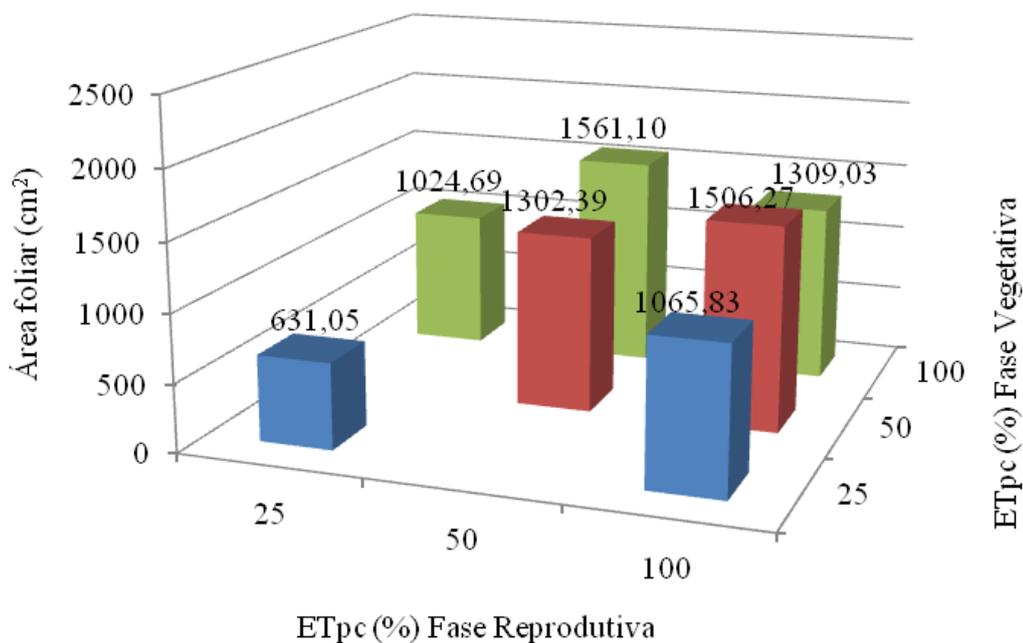
De acordo com Mundstock e Thomas (2005), a “retenção foliar” ocorre quando as folhas e as hastes do caule e dos ramos permanecem verdes, ou seja, não entram em senescência quando as vagens já estão formados. Os autores explicam que, na inserção do pecíolo da folha com o caule, ou seja, no nó do caule, desenvolve-se a gema axilar que dá origem a ramos ou flores, podendo estas originar ou não as vagens. Quando formadas, a nutrição dessas vagens é feita preferencialmente pelos carboidratos originados daquela folha que se insere no caule junto a eles. Esta relação mútua se estabelece durante todo o período de formação das vagens e dos grãos até que, quando estes são formados, há a senescência da folha, iniciada pelo amarelecimento e posterior secagem e queda. A senescência é um processo desencadeado na folha que se caracteriza pela remobilização das reservas solúveis das células que são translocadas para outros órgãos da planta, em especial para os grãos.

Logo, o desbalanço na relação de nutrição entre as folhas e as vagens provocado pelo déficit hídrico nesse período se estabelece devido ao aborto de flores e legumes que

diminui a demanda por assimilados, causando assim o fenômeno de “retenção foliar” (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

As plantas da cultivar TMG1288RR, diferentemente das da cultivar M9144RR, expressaram os menores valores de área foliar apenas nos tratamentos que submeteram as plantas a déficit hídrico severo no ciclo todo, na fase vegetativa e na fase reprodutiva, 25V25R, 25V100R e 100V25R, respectivamente (Figura 25). Essa resposta, mais uma vez, dá indicativo de que essa cultivar apresenta certa tolerância a déficit hídrico.

Figura 25 - Área foliar de plantas de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

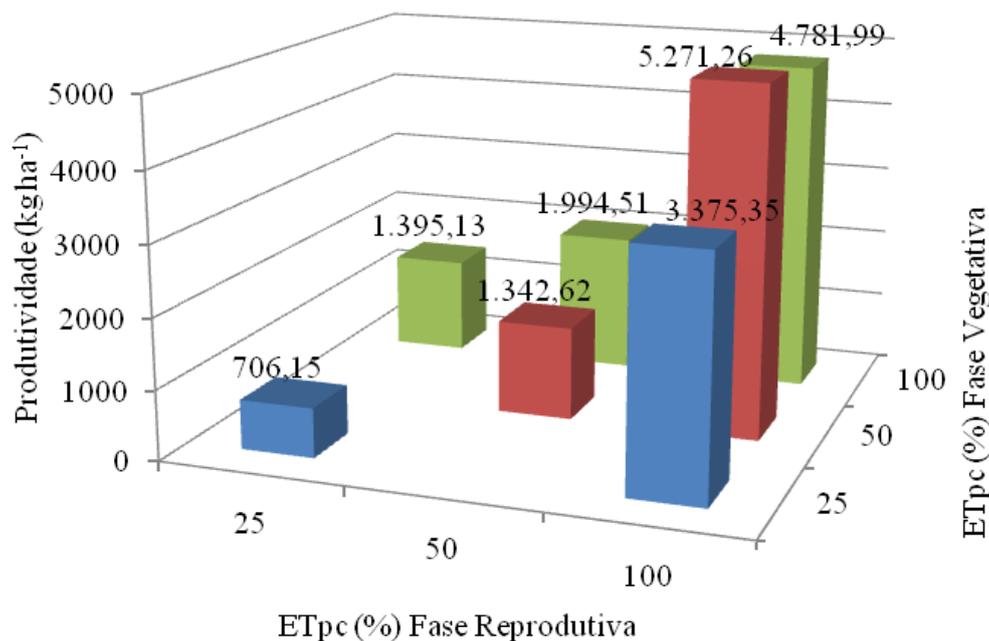


Fonte: Elaborada pela autora.

Ainda em relação à área foliar, comparando as duas cultivares, quando submetidas ao tratamento 100V100R, em que as plantas não sofreram déficit hídrico, é possível observar que a cultivar TMG1288RR apresentou valores foliar inferiores aos da cultivar M9144RR (Tabela 8). Essa característica pode justificar o que vem sendo discutido sobre a tolerância da cultivar TMG1288RR ao déficit hídrico, tendo em vista que com menores valores área foliar, as plantas aumentam a eficiência no uso da água, já que apresentam menores superfícies de exposição à perda de água através da transpiração. Entretanto, essa característica, apesar de favorável nesse sentido, limita a fotossíntese, o que pode ter contribuído para que os índices de produtividade da cultivar TMG1288RR tenham sido inferiores aos da cultivar M9144RR sob condições hídricas favoráveis, conforme será discutido adiante.

Quanto à produtividade, observa-se na Figura 26, onde constam as médias desta variável para a cultivar M9144RR, quando submetida aos manejos de irrigação, que o maior valor médio, 5.271,26 kg ha⁻¹, foi obtido nas condições do tratamento 50V100R, que correspondeu a déficit hídrico moderado - 50% da ET_{pc} somente na fase vegetativa. Esse resultado representou um incremento de 87,65% na produtividade em relação ao que foi estimado para safra 2014/2015 para cultura da soja no estado do Tocantins, de acordo com a CONAB (2015). A companhia em seu sexto levantamento estimou em 2.809,00 kg ha⁻¹ a produtividade média de grãos de soja para o estado do Tocantins e em 2.967,00 kg ha⁻¹ para o Brasil. Na sequência ficaram os tratamentos 100V100R e 25V100R que proporcionaram incrementos de 70,24 e 20,16%, respectivamente, sendo os demais inferiores às expectativas, conforme pode ser conferido pelos valores médios expostos na Figura 26.

Figura 26 - Produtividade da soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Estes resultados estão de acordo como Bergamaschi et al. (2006), que explicam que deficit hídrico durante o período vegetativo reduz o crescimento, porém, durante o período vegetativo não estão sendo formados os componentes do rendimento, logo, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos. Tavares et al. (2013) também observaram resultados semelhantes. Os autores avaliaram a influência da

deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas na geração F1 e concluíram apesar de a deficiência hídrica nos primeiros estágios da cultura ter reduzido o crescimento de fitomassa seca e área foliar das plantas cultivadas, os dados obtidos demonstraram que o rendimento e a qualidade fisiológica das sementes produzidas não foram afetados.

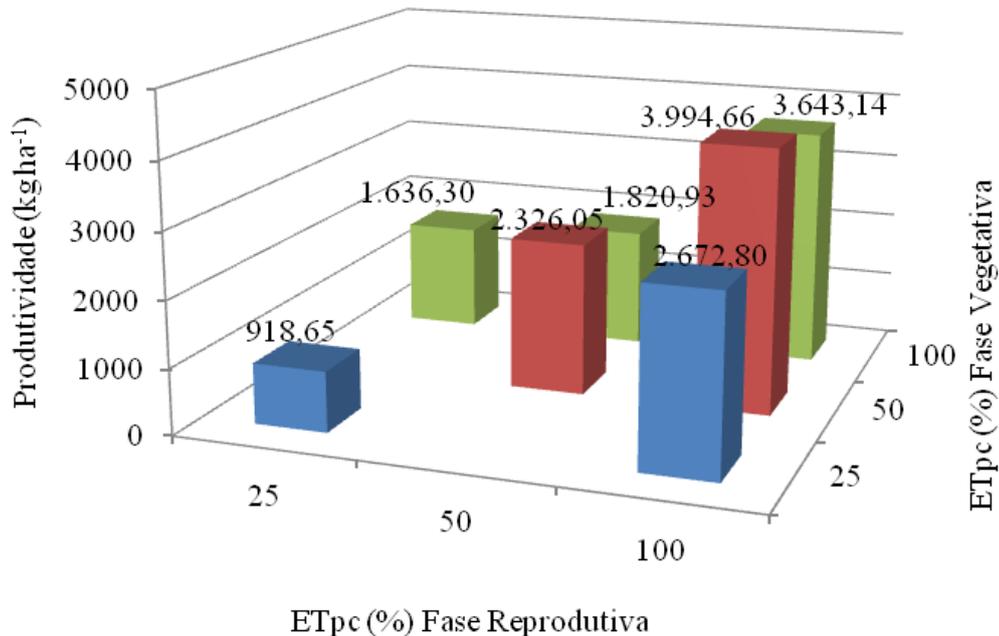
Por outro lado, a ocorrência de déficit severo durante o ciclo total da cultura ocasionou as maiores quedas na produção, sendo que o tratamento com déficit hídrico severo (25V25R) resultou em perda de 74,86% em relação à estimativa da CONAB (2015), com produtividade de 706,15 kg ha⁻¹ e o déficit hídrico moderado (50V50R) reduziu a produtividade em 52,20%, também em relação ao estimado para o estado do Tocantins, apresentando valor médio de 1.342,62 kg ha⁻¹. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Neumaier et al. (2000).

Nascimento Júnior et al. (2015) explicam que a ocorrência de déficit hídrico provoca o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água para a atmosfera e que, como é através dos estômatos que a planta realiza as trocas gasosas, tal fechamento reduz a fotossíntese, prejudicando a produção de fotoassimilados. Com isso, há menor crescimento da parte aérea da planta e, conseqüentemente, menor translocação de nutrientes e fotoassimilados para os grãos. Muitas vezes, pode ocorrer aborto de flores e de frutos. Tudo isso provoca diminuição da produtividade.

A Figura 27 apresenta as médias de produtividade da cultivar TMG1288RR submetida aos diferentes manejos de irrigação. Observa-se que essa cultivar, assim como a M9144RR, também expressou seu potencial genético de maneira mais satisfatória quando submetida ao tratamento 50V100R, ou seja, uma restrição hídrica moderada, de até 50% da ET_{pc} na fase vegetativa, não prejudica a produção, podendo até mesmo ser considerada um estímulo, tendo em vista que esse tratamento foi estatisticamente superior ao tratamento sem déficit hídrico (100V100R), conforme se verifica na Tabela 8, ambos representando um aumento de 42,21 e 29,69 % de produtividade, respectivamente, em relação à estimativa para o estado do Tocantins, 2809 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Esses resultados evidenciam a adaptabilidade das cultivares às condições edafoclimáticas da região em estudo e aos manejos adotados para a cultura nessas condições experimentais. Destaca-se que a cultivar M9144RR foi, estatisticamente, superior à cultivar TMG1288RR nas condições impostas pelos tratamentos 100V100R, 25V100R e 50V100R, sendo esses, os tratamentos que resultaram em maiores valores médios de produtividade para ambas as cultivares. Esses resultados estão de

acordo com Buttery et al. (1993), que afirmam que as cultivares de soja com menor potencial produtivo são menos sensíveis ao estresse hídrico que aquelas com maior potencial.

Figura 27 - Produtividade da soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

O efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas (KELLING, 1995). Para Chaves (1991) a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Kron et al. (2008) ressaltam que plantas sob deficiência hídrica moderada frequentemente apresentam um aumento na eficiência do uso da água, uma vez que uma redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO₂.

Essa eficiência pode estar relacionada com o ajustamento osmótico, que tem sido considerado um dos processos cruciais na adaptação das plantas à seca, por sustentar a atividade metabólica no tecido e permitir a retomada do crescimento após o retorno das condições hídricas favoráveis (SALINET, 2009).

O ajuste osmótico, ou acúmulo de solutos pela célula, é o processo que ocorre no interior da célula, cuja finalidade é manter o equilíbrio hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2013). Durante a seca, as plantas acumulam açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol para

diminuir o potencial osmótico e, conseqüentemente, manter o potencial hídrico (ψ_w) e o turgor de suas células próximo do nível ótimo (BRAY, 1997).

Apesar de não ter sido avaliado nesta pesquisa, cogita-se que também pode ter ocorrido um aumento na taxa de crescimento radicular, que, segundo Pereira (1998), é provocado pelo estresse hídrico na fase vegetativa, e, com isso, maior exportação de nutrientes quando da retomada das condições hídricas favoráveis, justificando assim essas respostas das plantas. Segundo o autor, esse maior crescimento radicular é uma estratégia da planta com objetivo de aumentar a captura de água e ocasiona, então, diminuição na relação parte aérea/raiz, podendo ser positivo para a cultura, caso a deficiência hídrica ocorrida seja apenas suficiente para aumentar a taxa de crescimento radicular e não afete de modo irreversível a parte aérea e desde que, nas próximas fases, não ocorram estresses de grande intensidade. O autor complementa que, a cultura submetida a déficit hídrico nessa fase, poderá recuperar-se, mediante a reposição da umidade do solo em tempo hábil.

Na fase reprodutiva, o déficit hídrico provocou uma redução significativa na produtividade, chegando a perdas de 73,5 e 62,2% nos tratamentos 100V25R e 100V50R, respectivamente no caso da cultivar M9144RR e de 59 e 54,4%, respectivamente, nos mesmos tratamentos da cultivar TMG1288RR em relação ao tratamento 50V100R, que correspondeu ao tratamento com melhor desempenho quanto a esta variável. Destaca-se que, nessas condições, as cultivares não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 8). Essa resposta também foi observada por Stülp et al. (2009) que relacionaram as baixas médias de produtividade à restrição hídrica associada a altas temperaturas nos estádios reprodutivos da cultura. Segundo os autores, a menor disponibilidade de água promove decréscimo da fotossíntese e abrevia o período de enchimento de grãos, com prejuízo à produção.

O déficit hídrico ocorrendo no período da floração ao início do enchimento de grãos, a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo (BERGAMASCHI et al., 2006; MATZENAUER et al., 2003). De acordo com Embrapa (2004), sob estresse hídrico não há germinação do grão de pólen ou formação do tubo polínico, impedindo a fertilização do óvulo e, conseqüentemente, a formação do grão.

Maehler et al. (2003) avaliando o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas, mensuraram uma redução de 34% no potencial do tratamento não irrigado em comparação com o irrigado, em razão de uma

deficiência hídrica de 85 mm, que ocorreu no período de formação de legumes e enchimento de grãos das plantas.

Outra questão que cabe ser considerada é a duração dos estádios da cultura nos quais foram impostos os déficits hídricos. O período vegetativo tem duração inferior em relação ao período reprodutivo, logo, esses resultados podem ter relação com a duração do período em que as plantas foram expostas às condições de déficit hídrico e, portanto de acordo com os relatos de Kelling (1995) e Kramer e Boyer (1995) que afirmam que os efeitos do déficit hídrico sobre as culturas variam de acordo com a duração e a intensidade.

Com o aumento na produtividade e das exportações de grãos de soja surge a necessidade de armazenamento da produção, porém o país ainda apresenta problemas nesse sentido, sendo comum, em algumas regiões, a perda de parte das colheitas devido à insuficiência da capacidade de armazenamento ou mau armazenamento, demonstrando a necessidade de desenvolver estudos e investimentos nesse setor (MILANI et al., 2009).

As propriedades físicas dos grãos são características relevantes na otimização dos processos industriais e no desenvolvimento de novos projetos e equipamentos utilizados nas operações pós-colheita (RIBEIRO et al., 2005), bem como na definição dos parâmetros a serem adotados na regulagem de implementos agrícolas, como colhedoras e plantadoras (MILANI et al., 2009).

O teor de água nos grãos é uma propriedade física que está entre os requisitos de qualidade da soja. De acordo com Instrução normativa nº 11, de 15 de maio de 2007, o percentual máximo de umidade em grãos de soja deve ser de 14% para sua comercialização (BRASIL, 2007). Os teores de umidade nos grãos de soja encontrados na presente pesquisa estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação em vigor no país, conforme pode ser conferido na Tabela 9.

Tabela 9 - Médias dos percentuais de umidade em grãos de plantas de soja submetidas a déficit hídrico, Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Teor de umidade (%)	
	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	6,66	7,59
50V50R	5,90	7,75
100V100R	7,39	8,27
25V100R	6,46	6,67
50V100R	7,14	7,52
100V25R	5,83	6,91
100V50R	6,86	7,37

A Tabela 10 expõe o resumo das análises de variância das variáveis relacionadas com as características físicas dos grãos de soja produzidos em diferentes manejos de irrigação. Observa-se que todas as variáveis foram influenciadas significativamente pelos fatores tratamento (T) e cultivares (C), e houve interação entre os tratamentos e as cultivares (T x C), pelo teste F ($p \leq 0,01$).

Tabela 10 - Resumo das análises de variância das variáveis diâmetro polar dos grãos (DPG), diâmetro equatorial dos grãos (DEG), relação entre diâmetro equatorial e polar dos grãos (DEG/DPG) e peso de mil grãos (PMG) de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014

FV	GL	Teste F			FV	GL	Teste F
		DPG	DEG	DEG/DPG			PMG
Blocos	3	0,44 ^{ns}	1,14 ^{ns}	2,47 ^{ns}	Tratamento (T)	6	207,44**
Tratamento (T)	6	6,11**	26,47**	42,13**	Resíduo (T)	49	-
Resíduo (T)	18	-	-	-	Cultivar (C)	1	271,84**
Cultivar (C)	1	62,88**	7,26**	169,35**	Interação T x C	6	51,48**
Interação T x C	6	4,84**	7,81**	15,31**	Resíduo	49	-
Resíduo	21	-	-	-	CV - T (%)	-	2,61
CV - T (%)	-	2,71	2,34	2,60	CV - C (%)	-	2,69
CV - C (%)	-	2,86	2,28	2,19			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Grãos de soja tem aparência típica de grãos de leguminosa, com forma variável, mas normalmente esférica, as vezes um pouco alongada ou ovalada (MENEZES et al., 1997). Logo a relação entre os diâmetros polar e equatorial é uma variável importante, tendo em vista que grãos mais alongados são resultado de má formação. Nesse sentido, formatos irregulares são indicadores que podem atestar a qualidade dos grãos.

Na Tabela 11 constam as médias das variáveis diâmetro polar dos grãos, diâmetro equatorial dos grãos, relação entre diâmetro equatorial e polar dos grãos e peso de mil grãos de plantas de soja submetidas a déficit hídrico, observando-se os efeitos dos tratamentos e das cultivares e a interação entre os mesmos.

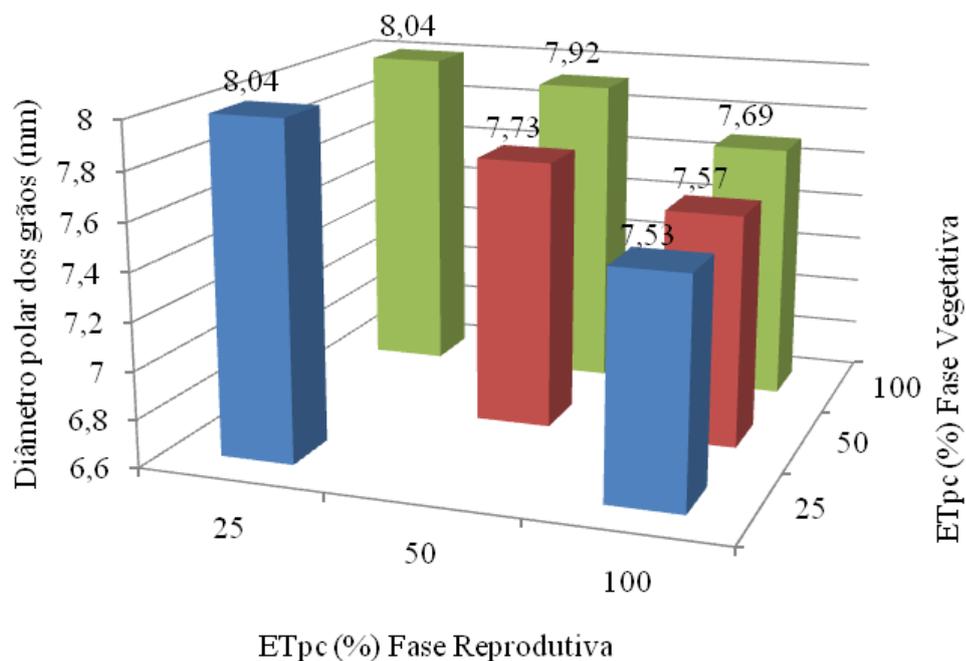
Tabela 11 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: diâmetro polar dos grãos (DPG), diâmetro equatorial dos grãos (DEG), relação entre diâmetro equatorial e polar dos grãos (DEG/DPG) e peso de mil grãos (PMG). Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Variável							
	DPG (mm)		DEG (mm)		DEG/DPG		P1000G (g)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	8,04aA	7,56aB	5,80cB	6,14bA	0,72cB	0,81cA	136,16fB	141,43dA
50V50R	7,73bA	7,81aA	5,93cB	6,36aA	0,77bB	0,81cA	151,67eA	146,90cB
100V100R	7,69bA	7,38bA	6,59aA	6,54aA	0,86aB	0,89aA	190,24aA	157,90bB
25V100R	7,53bA	7,13bB	6,57aA	6,31aB	0,87aA	0,88aA	162,18dA	139,16dB
50V100R	7,57bA	7,17bB	6,63aA	6,45aA	0,88aA	0,90aA	185,74bA	165,04aB
100V25R	8,04aA	7,03bB	5,73cB	6,10bA	0,72cB	0,87bA	138,94fB	144,59cA
100V50R	7,92aA	7,22bB	6,14bA	6,22bA	0,78bB	0,86bA	169,69cA	148,28cB

Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

A Figura 28 representa graficamente os valores médios para a variável diâmetro polar dos grãos para a cultivar M9144RR submetidas aos manejos de irrigação. Verifica-se que, a cultivar M9144RR, conforme resultados expostos na Figura 28, apresentou os maiores valores para a variável diâmetro polar dos grãos nos tratamentos com déficit hídrico severo no ciclo todo e na fase reprodutiva, 25V25R e 100V25R, respectivamente, e moderado na fase reprodutiva, 100V50R. Isso indica que os grãos dessa cultivar produzidos sob essas condições apresentaram-se mais alongados, ou seja, mais sujeitos a deformações.

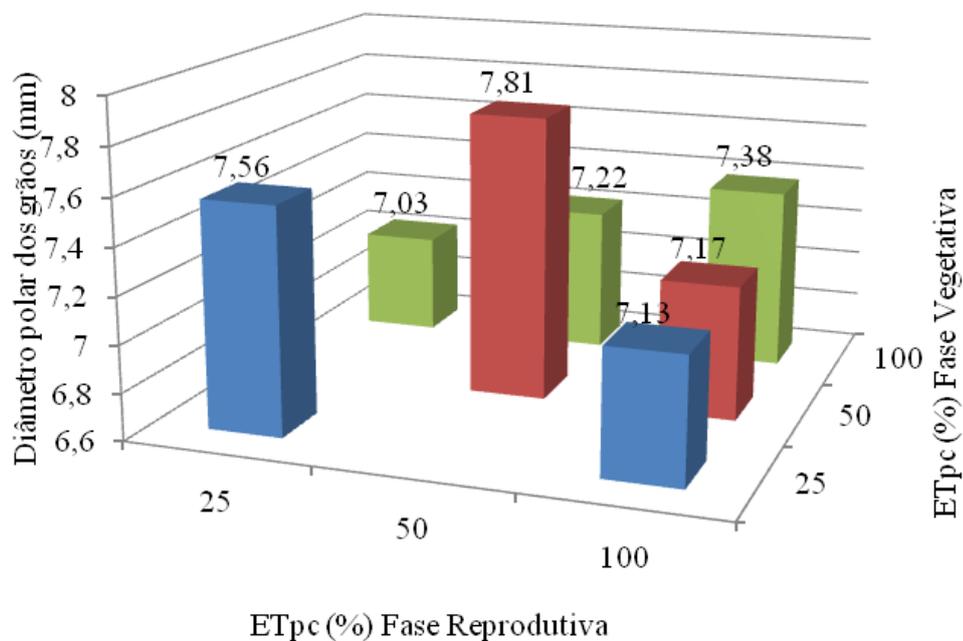
Figura 28 - Diâmetro polar de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Já na cultivar TMG1288RR, o que verifica-se, observando as médias da variável diâmetro polar dos grãos na Figura 29, é que os déficits hídricos severo e moderado durante todo o ciclo da planta foram os responsáveis pelos maiores valores desta variável, porém, observando as médias, percebe-se que no caso desta cultivar, apesar de haver diferença estatística significativa, as diferenças nos valores foram menores, ou seja, os grãos apresentaram-se menos sujeitos a deformação, ou seja com maior uniformidade, apesar do estresse hídrico, o que, mais uma vez sugere maior resistência da cultivar à deficiência hídrica.

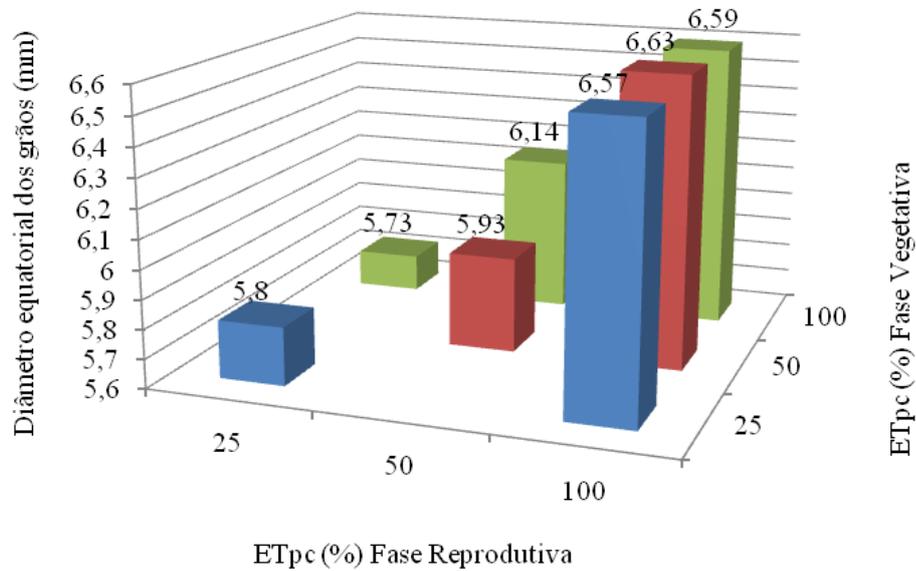
Figura 29 - Diâmetro polar de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação ao diâmetro equatorial (DEG), o que se observa é que a cultivar M9144RR também apresentou maior variação nos valores em relação a cultivar TMG1288RR e que os maiores valores para esta variável na cultivar M9144RR foram obtidos nos tratamentos 100V100R, 25V100R e 50V100R, sem déficit e com déficit severo e moderado na fase vegetativa, respectivamente (Figura 30).

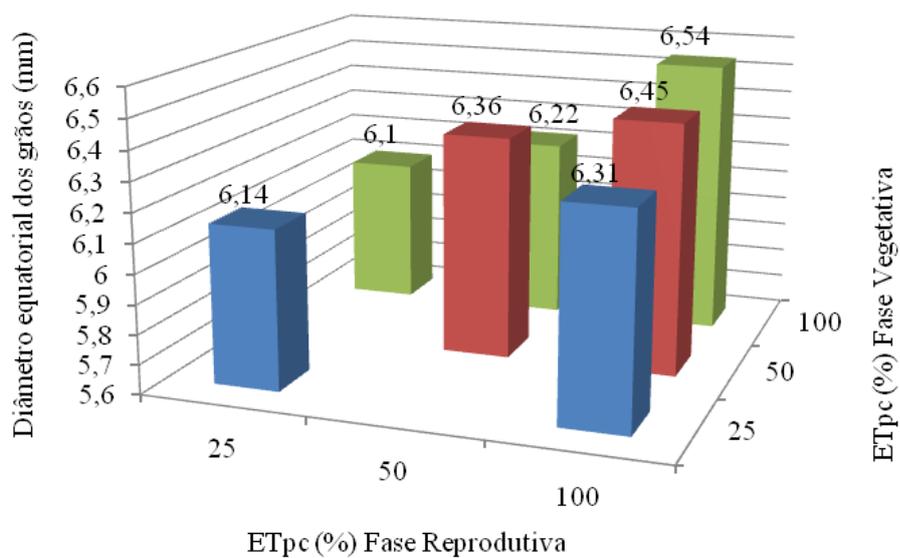
Figura 30 - Diâmetro equatorial de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A cultivar TMG1288RR, apresentou maior uniformidade quanto à variável diâmetro equatorial dos grãos em relação a cultivar M9144RR, apesar disso, observa-se na Figura 31 que o déficit hídrico severo no ciclo todo e severo e moderado na fase reprodutiva, 25V25R, 100V25R e 100V50R, respectivamente, prejudicaram esta variável.

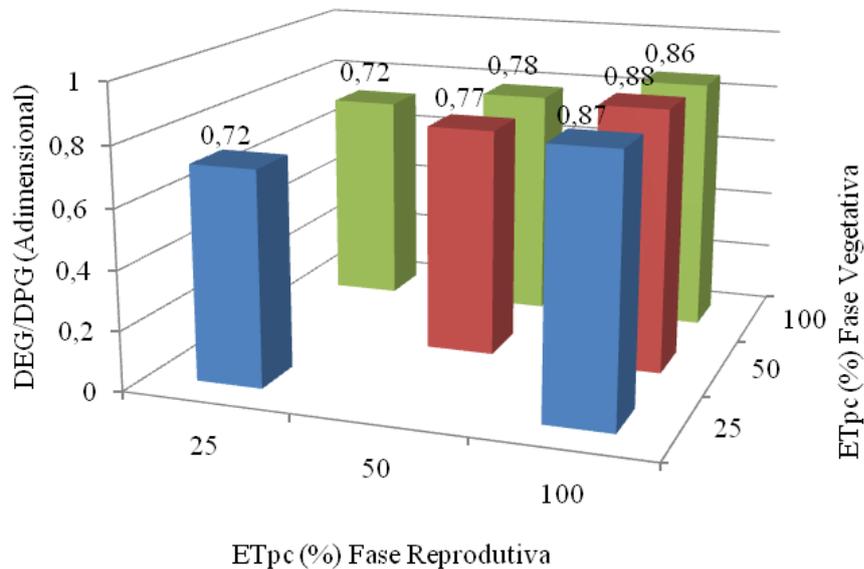
Figura 31 - Diâmetro equatorial de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 32 aponta os valores médios da relação entre os diâmetros equatorial e polar dos grãos da cultivar M9144RR submetidas aos manejos de irrigação com déficit hídrico. Observa-se que os maiores valores foram encontrados nas condições dos tratamentos 100V100R, 50V100R e 25V100R. Sendo, portanto, esses manejos de irrigação, os que proporcionaram as condições para que os grãos pudessem se formar de maneira que seus formatos se aproximassem do formato arredondado, já que o valor da relação é bastante próximo de 1 (MEDEIROS et al., 2009).

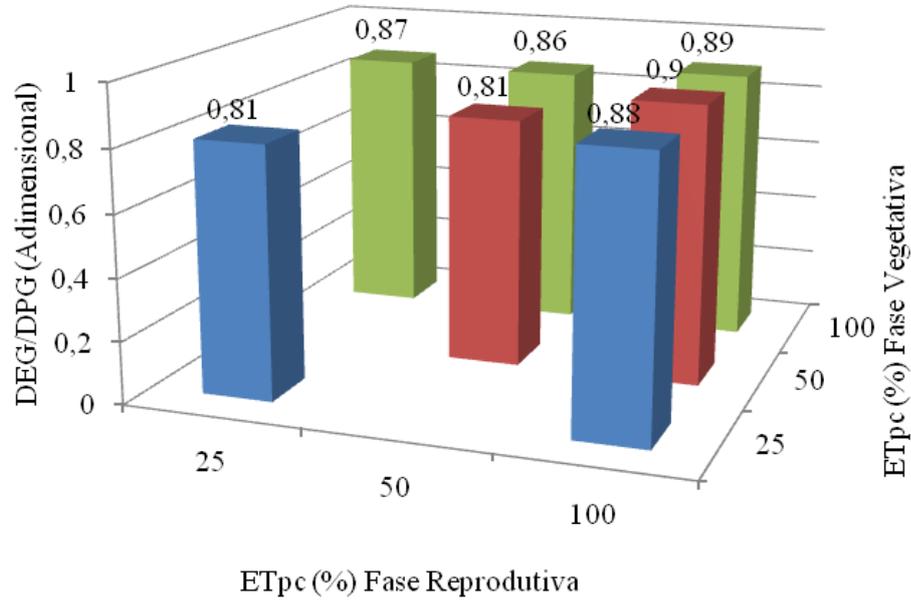
Figura 32 - Relação entre os diâmetros equatorial e polar (DEG/DPG) de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Assim como a cultivar M9144RR, verifica-se na Figura 33, que a TMG1288RR também apresentou maiores valores para a relação entre os diâmetros equatorial e polar, 0,89, 0,9 e 0,88, nas condições dos tratamentos 100V100R, 50V100R e 25V100R, respectivamente, tornando evidente que o déficit hídrico somente na fase vegetativa não acarreta danos no processo de formação dos grãos. É possível constatar ainda que, no caso da cultivar TMG1288RR, os valores médios desta variável, diferentemente do que foi observado na cultivar M9144RR, apresentaram-se mais uniformes, o que mais uma vez indica certa resistência da cultivar ao déficit hídrico

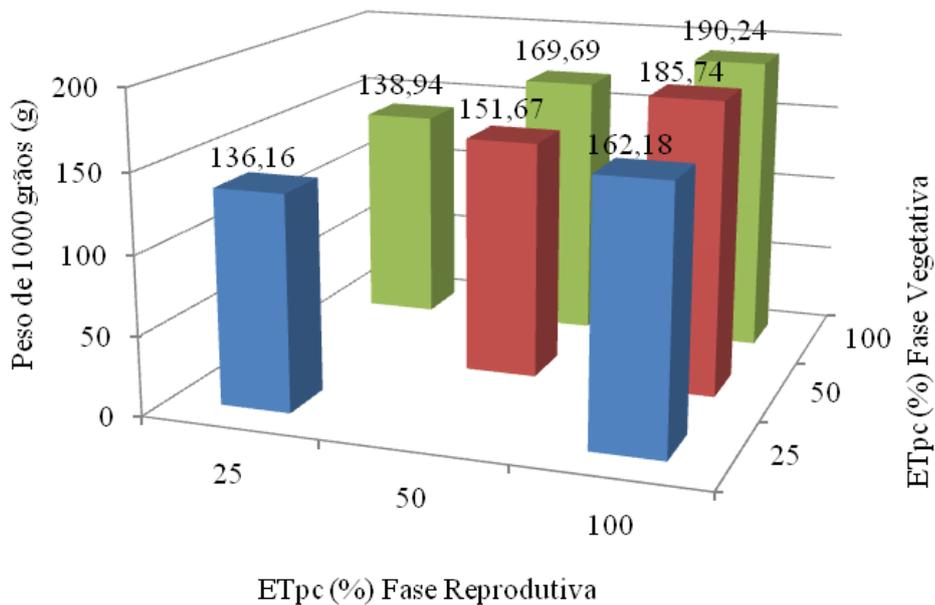
Figura 33 - Relação entre os diâmetros equatorial e polar (DEG/DPG) de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Quanto ao peso de mil grãos, observa-se na Figura 34, que os tratamentos com déficit hídrico severo durante todo o ciclo e na fase reprodutiva foram responsáveis pela maior redução no peso dos grãos da cultivar M9144RR.

Figura 34 - Peso de 1000 grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

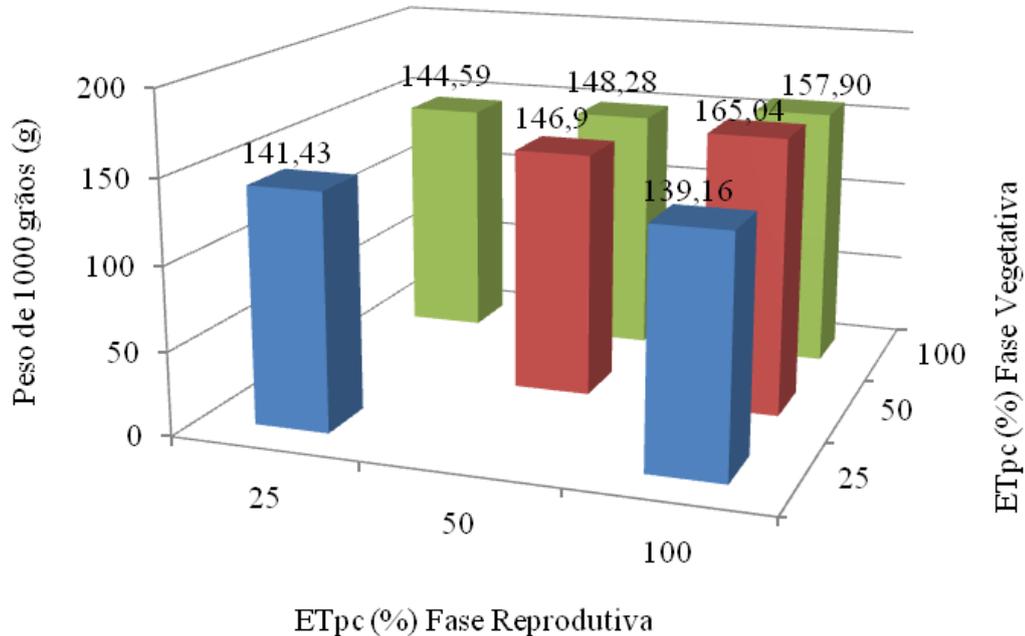


Fonte: Elaborada pela autora.

Ainda em relação à cultivar M9144RR, o tratamento que proporcionou o maior valor médio para esta variável foi o 100V100R, tratamento em que as plantas não sofreram déficit hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados por Maehler et al. (2003). Os autores verificaram que as plantas que não sofreram déficit hídrico produziram grãos mais pesados, sendo o peso de 100 grãos, em média, 3,3 g superior ao das plantas que foram submetidas a déficit hídrico.

Já a cultivar TMG1288RR apresentou maior valor médio para o peso de mil grãos, quando submetida ao tratamento 50V100R, déficit hídrico moderado apenas na fase vegetativa (Figura 35), sendo a média deste tratamento, diferentemente do que se observou em relação à cultivar M9144RR, superior à do tratamento 100V100R, sem déficit hídrico. Por esses resultados é possível inferir que, para a cultivar em questão, o déficit hídrico moderado e aplicado apenas na fase vegetativa pode ser considerado como estímulo para a produção de grãos mais pesados.

Figura 35 - Peso de 1000 grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A análise de variância das características relacionadas com a composição centesimal dos grãos encontra-se na Tabela 12. Observa-se que houve diferença significativa quanto aos tratamentos (T), às cultivares (C), exceto para a variável teor de proteína. Verifica-

se também que a interação entre os tratamentos e as cultivares (T x C) foi significativa ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis.

Tabela 12 - Resumo das análises de variância do teor de óleo (ÓLEO), rendimento do óleo (REND ÓLEO), teor de proteína (PROT) e rendimento da proteína (REND PROT) em grãos de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014

FV	GL	Teste F			
		ÓLEO	REND ÓLEO	PROT	REND PROT
Tratamento (T)	6	6,09**	214,65**	36,87**	169,87**
Resíduo (T)	14	-	-	-	-
Cultivar (C)	1	105,82**	54,54**	3,01 ^{ns}	13,77**
Interação T x C	6	12,59**	67,78**	5,09**	56,28**
Resíduo	14	-	-	-	-
CV - T (%)	-	1,98	9,50	1,54	10,38
CV - C (%)	-	1,26	5,06	1,43	5,24

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Os teores de óleo e proteína dos grãos de soja são governados geneticamente, porém fortemente influenciados pelo ambiente, principalmente durante o período de enchimento dos grãos (ALBRECHT et al., 2008; MINUZZI et al., 2009; PÍPOLO, 2002; RANGEL et al., 2004). Pípolo (2002) acrescenta que a forma de manejo da cultura também pode ser um fator determinante para variações nos teores de proteínas e óleo de grãos de soja.

A Tabela 13 apresenta as médias dos teores de óleo e proteína das duas cultivares em função dos manejos de irrigação. Observando os dados, percebe-se que os maiores valores de teor de proteína para as duas cultivares foram obtidos no tratamento com estresse hídrico severo durante todo o ciclo, 25V25R, o que está de acordo com Bewley e Black (1985); Dornbos e Mullen (1992) e Trzeciak (2012) que também observaram que restrições hídricas podem causar aumento no teor de proteína em grãos. Esse aumento nos teores de proteína nos grãos de soja sob déficit hídrico severo durante todo o ciclo pode estar relacionado com o "fator diluição", que, de acordo com Santos (2009) trata-se do acúmulo de proteína nos grãos de soja sob déficit hídrico, em função das plantas apresentarem menores quantidades de grãos, ou seja, menos drenos devido ao abortamento de flores e legumes. O inverso também ocorrendo, conforme relatos de Souza et al. (2009) que verificaram que houve uma redução no teor de proteína nos grãos de soja com o aumento da produtividade e os autores relacionaram esses resultados ao "fator diluição", resultados semelhantes foram encontrados de Sfredo et al. (1997).

Maehler et al. (2003) também associaram a elevação nos teores de proteína em grãos de soja sob déficit hídrico ao “fator diluição”. Os autores verificaram que o percentual de proteína foi mais elevado nos grãos das plantas de soja que sofreram deficiência hídrica e atribuíram esses resultados ao fator diluição uma vez que o rendimento de grãos nessas condições foi inferior.

Outra possível causa para essa elevação dos teores de proteínas em grãos de soja sob condições de déficit hídrico pode ser o acúmulo de aminoácidos e aminas livres, pois de acordo com Ferreira et al. (2002), alguns metabólitos nitrogenados, como o aminoácido prolina, tendem a acumular nos tecidos vegetais sob estresse hídrico.

Tabela 13 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: teor de óleo (ÓLEO) e teor de proteína (PROT) nos grãos. Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Variável			
	PROT (%)		ÓLEO (%)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	40,28aA	41,11aA	21,90dA	21,13cB
50V50R	38,46bB	40,37aA	22,70cA	21,90bB
100V100R	38,47bA	38,56bA	23,30bA	21,40cB
25V100R	37,42cA	37,90bA	23,80aA	22,00bB
50V100R	37,62cA	36,19cB	23,30bA	22,10bB
100V25R	36,75cA	36,81cA	22,30dA	22,60aA
100V50R	37,23cA	37,29cA	22,70cA	22,60aA

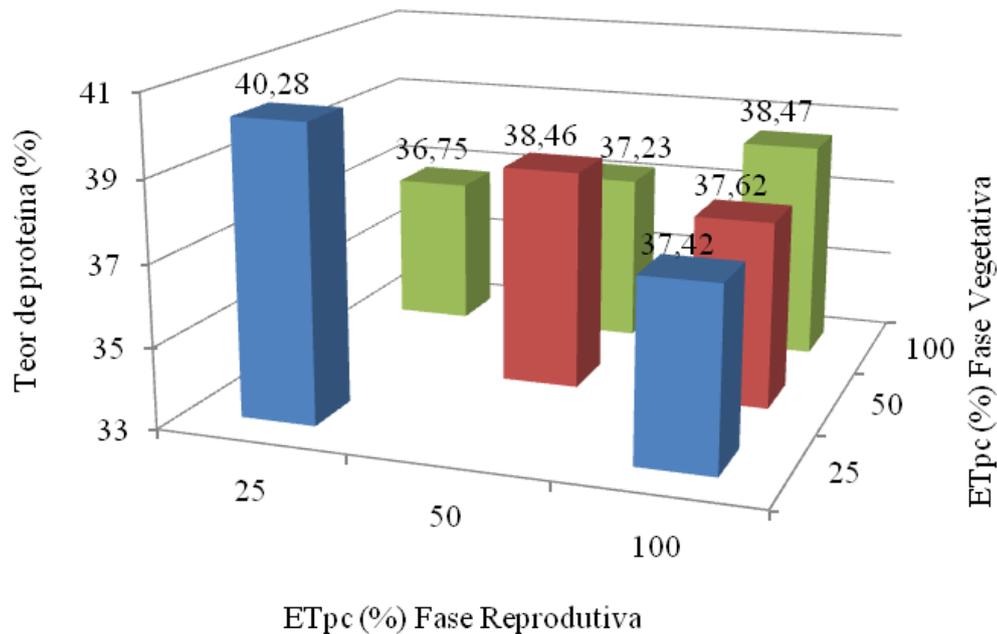
Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade.

Analisando as cultivares separadamente, observa-se que os tratamentos 25V100R, 50V100R, 100V25R e 100V50R, que induziram as plantas da cultivar M9144 a déficit hídrico apenas em um estágio fenológico, sendo as mesmas irrigadas com 100% da ET_{pc} na outra fase, resultaram em menores valores médios de teor de proteína (Figura 36). Já o tratamento apresentou maior valor médio de teor de proteína nos grãos desta cultivar, conforme já comentado, foi o que submeteu as plantas a déficit hídrico severo durante todo o ciclo (25V25R), seguido dos tratamento sem déficit (100V100R) e déficit moderado durante todo o ciclo (50V50R).

Destaca-se que o déficit hídrico na fase reprodutiva, tratamentos 100V25R e 100V50R, prejudicou tanto o teor de óleo quanto o de proteína na cultivar M9144RR, conforme pode ser observado na Tabela 13. Albrecht et al. (2008) também verificaram comportamento diferente dos padrões para grãos de soja em três genótipos que foram semeados em época que proporcionou severo estresse ambiental com nítida deficiência

hídrica na fase de enchimento dos grãos. Os autores alegam que essa condição ocasionou efeitos fisiológicos, acarretando distúrbios bioquímicos nas biossínteses de óleo e de proteínas.

Figura 36 - Teor de proteína em grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A redução nos teores de óleo e proteína na cultivar M9144RR observada nos tratamentos 100V25R e 100V50R, sugere a possibilidade de ter ocorrido, nesses casos, um aumento nos teores de carboidratos, que, assim como a prolina, seria um indicativo de reação das plantas a déficit hídrico, segundo Morando et al. (2014). Os autores argumentam que estudos sobre déficit hídrico nas plantas apontam um aumento progressivo no valor total dos carboidratos solúveis como o sorbitol, sacarose e amido, que são extremamente solúveis e permeáveis sendo acumulados em células e desta forma melhoram a resistência das plantas. De acordo com os autores, tal efeito é caracterizado como adaptação da cultura ao déficit hídrico.

Turner (1986) explica que o acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos, ajustamento osmótico, em resposta às condições estressantes de baixa disponibilidade de água é um importante mecanismo desenvolvido pelas plantas que toleram a seca com baixo potencial hídrico, que é o caso da soja. Meyer e Boyer (1981) em estudo sobre osmoregulação em plantas de soja em resposta à baixa disponibilidade de água, concluíram que os principais

solutos acumulados foram os aminoácidos, a glicose, a frutose e a sacarose. Hoekstra et al. (2001) explicam que o nível de sacarose é aumentado progressivamente nas plantas sob estresse hídrico, devido a biossíntese de sacarose e que este aumento provavelmente é promovido pelo conseqüente aumento da atividade da enzima sacarose fosfato sintase que atua com a função de proteger a integridade de membranas e proteínas, em condições de deficiência hídrica.

De acordo com Turner (1986), as plantas são classificadas em três categorias principais quanto aos mecanismos desenvolvidos para resistirem à seca: a) espécies que escapam da seca (rápido desenvolvimento fenológico), b) espécies que toleram a seca com alto potencial hídrico (adiam a desidratação) e c) espécies que toleram a seca com baixo potencial hídrico (toleram a desidratação). A cultura da soja apresenta tanto características de “escape” como de “tolerância” à desidratação com baixo potencial hídrico (FAGERIA, 1989).

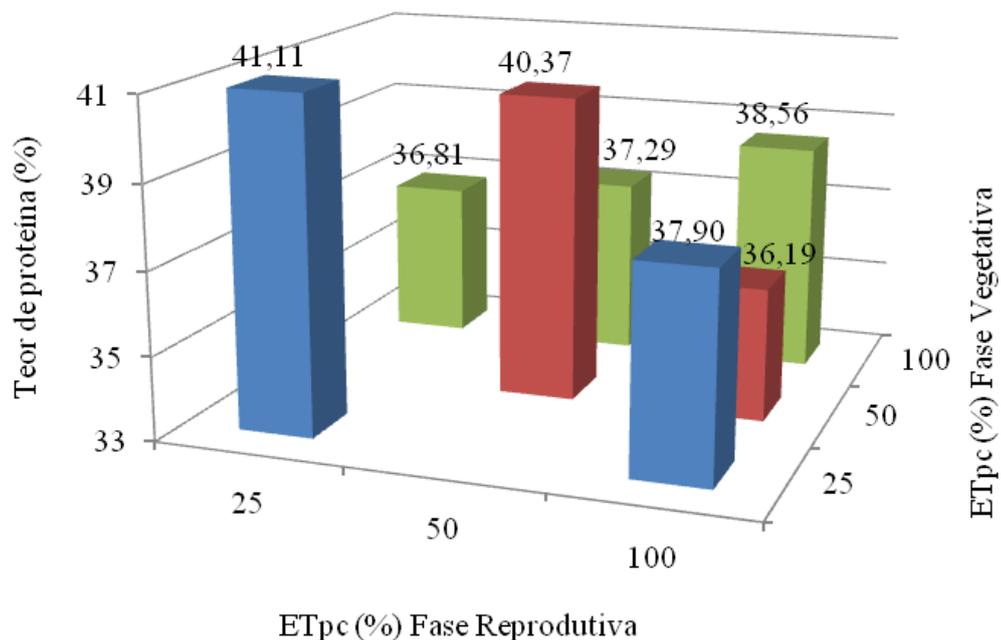
Complementando as observações em relação aos resultados obtidos para cultivar M9144RR nos tratamentos 100V25R e 100V50R, ressalta-se que as plantas vinham submetidas a condições favoráveis ao seu desenvolvimento, então elas cresceram e se desenvolveram, porém, subitamente essas condições foram retiradas. Logo, as plantas foram obrigadas a se ajustarem, portanto, reduziram o número de folhas, para evitar as perdas de água por transpiração e, conseqüentemente, reduziram também a sua capacidade de fotossíntese e ainda tiveram que dividir seus fotoassimilados para produção de grãos e manutenção de uma estrutura incompatível com as novas condições impostas, tendo em vista que elas apresentavam estatura elevada e precisavam mantê-la. Logo, isso deve ter provocado essa redução nos teores de óleo e proteína. Já a cultivar TMG1288RR submetida às mesmas condições também precisou fazer ajustes para se adaptar às novas condições impostas, mas teve as reduções nos teores de proteína compensadas pela elevação nos teores de óleo (Tabela 13). Santos e Carlesso (1998) alertam que a deficiência hídrica provoca alterações nas respostas dos vegetais cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta, neste caso, fica comprovado que o déficit hídrico na soja causa danos que se refletem a nível molecular.

A Figura 37 expõe as médias dos teores de proteína da cultivar TMG1288RR em respostas aos manejos de irrigação com déficit. Observa-se que o tratamento 25V25R, assim como verificado para a cultivar M9144RR, resultou em maior valor médio para a variável em questão. No caso desta cultivar, além do tratamento 25V25R, o que provocou déficit hídrico moderado durante todo o ciclo (50V50R), também proporcionou elevação no teor de proteína,

sendo os mesmos semelhantes estatisticamente (Tabela 13). Conforme já foi apontado, essas respostas das plantas podem estar relacionados com o acúmulo de aminoácidos e aminas livres, pois, de acordo com Ferreira et al. (2002), alguns metabólitos nitrogenados, como o aminoácido prolina, tendem a acumular nos tecidos vegetais sob estresse hídrico. De acordo com Fumis e Pedras (2002), o acúmulo desses compostos em condições hídricas desfavoráveis tem sido associado com a tolerância das plantas a essa condição, podendo representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante aumento da osmolaridade celular (potencial hídrico).

Segundo Ferreira et al. (2002), a concentração de prolina livre aumenta em função da deficiência hídrica, retornando aos níveis normais com a recuperação do estresse, sendo, provavelmente, essa a razão pela qual as plantas dos tratamentos 25V100R e 50V100R, que sofreram déficit hídrico na fase vegetativa, mas passaram a receber água na quantidade recomendada em seguida, não terem apresentado valores elevados nos teores de proteína.

Figura 37 - Teor de proteína em grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A mudança nas proporções dos aminoácidos e, frequentemente, o aumento na concentração de prolina é uma característica marcante de um distúrbio no metabolismo das proteínas (FERREIRA et al., 2002; LARCHER, 2000). Ferreira et al. (2002) explicam que, como a assimilação do nitrogênio é reduzida sob condições de déficit hídrico, pode-se supor

que tais compostos se originam da rotatividade de proteínas e, de acordo com os autores, é neste contexto que as enzimas envolvidas na incorporação de amônia a compostos orgânicos, os quais podem agir como precursores para diferentes metabólitos, podem ter importante papel na sobrevivência de plantas durante estresse.

Albrecht et al. (2008), Marcos Filho (2005) e Santos (2009) confirmam, em parte, esses resultados. Os autores associaram períodos de maiores restrições hídricas à elevação nos teores de proteína, porém essa restrição ocorrendo na fase reprodutiva. Isso pode sugerir que as cultivares apresentam respostas diferenciadas ou que outros fatores podem ter influenciado os incrementos de proteína nos trabalhos mencionados, conforme Bonato et al. (2000) que verificaram que os teores de proteína de 26 genótipos de soja diferiram estatisticamente entre três regiões do Rio Grande do Sul e concluíram que os fatores ambientais podem contribuir fortemente para a concentração de proteína nos grãos, independentemente das características genéticas. Os autores constataram ainda que as condições do solo e as condições climáticas variáveis entre as regiões afetaram de forma diferente os genótipos, pois as interações entre os genótipos e locais também foram altamente significativas, demonstrando que os genótipos de soja estudados reagem diferentemente em relação às condições ambientais onde são cultivados. A temperatura, por exemplo, segundo Pípolo (2002), pode explicar variações na concentração de proteína tanto entre locais, quanto entre anos no mesmo local.

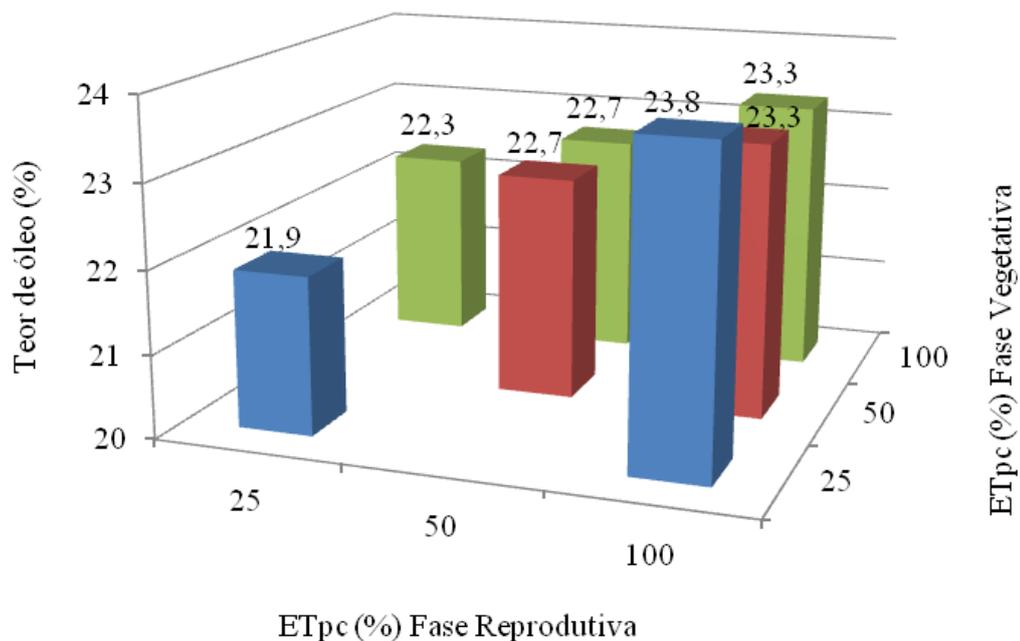
Dornbos e Mullen (1992) afirmam que, sob restrição hídrica, os aumentos nos teores de proteínas ocorrem a custas de reduções nos teores de óleo. Os resultados desta pesquisa estão de acordo com os relatos dos autores. Analisando a Tabela 13, observa-se que as duas cultivares, quando submetidas aos tratamentos 25V25R, apresentaram os menores valores de teor de óleo e os maiores valores de teor de proteína. Esses resultados comprovam o que já vem sendo constatado por vários outros autores ao avaliarem teores de óleo e proteína em soja (BEWLEY; BLACK, 1985; SEDIYAMA et al. (1993); MORAES et al., 2006; MINUZZI et al., 2009; RODRIGUES et al., 2010; SANTOS et al., 2010). A seleção direta para teor de proteína produziu redução no teor de óleo (HELMS; ORF, 1998; WILCOX, 1995).

Em relação ao teor de óleo nos grãos, analisando as cultivares separadamente, observa-se na Tabela 13 que no caso da cultivar M9144RR, os tratamentos que induziram as plantas a déficit hídrico severo durante todo o ciclo e na fase reprodutiva, 25V25R e 100V25R, respectivamente, não diferiram estatisticamente entre si e resultaram em menores valores de teor de óleo, seguidos dos tratamentos 50V50R e 100V50R, déficit hídrico

moderado durante todo o ciclo e na fase reprodutiva, respectivamente, que também foram semelhantes estatisticamente. Esses resultados demonstram os efeitos negativos do déficit hídrico na fase reprodutiva sobre a cultivar em questão, no tocante à produção de óleo.

Ainda sobre o teor de óleo nos grãos da cultivar M9144RR, a Figura 38 expõe, graficamente, as médias desta variável. Nela é possível observar que os tratamentos 100V100R, 25V100R e 50V100R resultaram em maiores valores de teor de óleo nos grãos, sendo que, estes tratamentos também foram os que proporcionaram os maiores valores de produtividade de grãos, conforme pode ser observado na Tabela 8, corroborando os relatos de Montañó-Velasco (1994) e Barbosa et al. (2011), que alegam haver associação positiva entre teor de óleo e produtividade de grãos de soja.

Figura 38 - Teor de óleo em grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

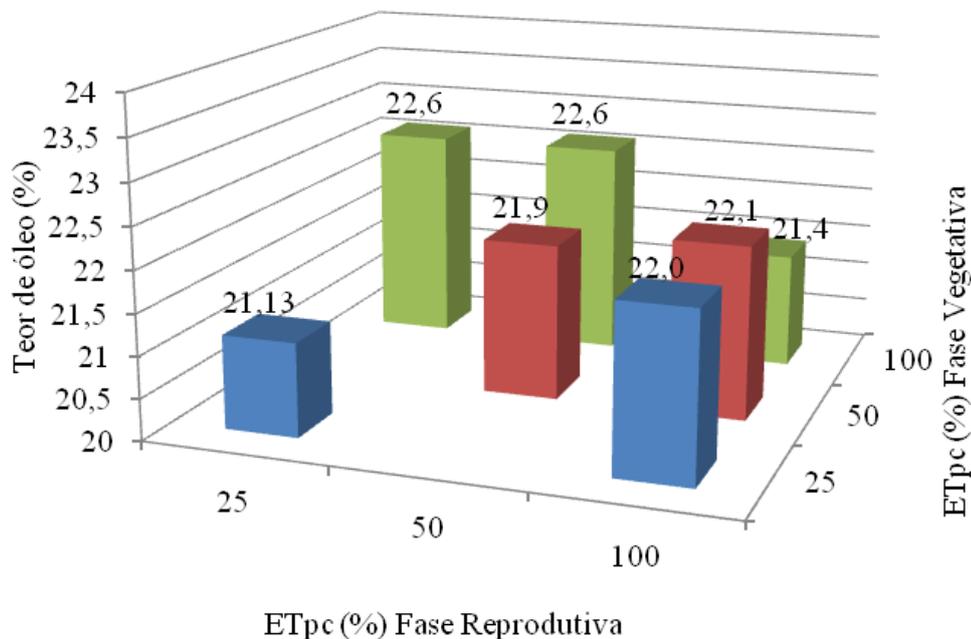


Fonte: Elaborada pela autora.

Já a cultivar TMG1288RR apresentou os maiores teores de óleo quando submetida aos tratamentos 100V25R e 100V50R, que corresponderam a déficit hídrico severo e moderado na fase reprodutiva, respectivamente, conforme pode ser conferido na Figura 39. Cabe destacar que estes tratamentos foram associados com valores inferiores de teor de proteína nos grãos desta cultivar (Tabela 13), confirmando os relatos de Bewley; Black (1985); Sediya et al. (1993); Moraes et al. (2006); Minuzzi et al. (2009); Rodrigues et al. (2010) e Santos et al. (2010), que afirmam que existe uma associação negativa entre teor de

óleo e de proteína em grãos de soja, ou seja, segundo os autores, elevação dos teores de óleo em grãos de soja ocorre a custos da redução dos teores de proteína. Na sequência constam os tratamentos que induziram as plantas a déficit hídrico na fase vegetativa (50V100R e 25V100R). Chama atenção o tratamento 50V50R, que apresentou-se estatisticamente semelhante aos tratamentos 50V100R e 25V100R. Essa resposta pode estar relacionada à ocorrência de chuvas quando as plantas estavam chegando ao final de seus ciclos (Tabela 2). Apesar dessas precipitações terem ocorrido já no final do ciclo, as plantas deste tratamento retardaram a maturação o que provavelmente favoreceu a biossíntese de óleo nesta cultivar.

Figura 39 - Teor de óleo em grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Esses resultados evidenciam o quanto os genótipos respondem de maneiras diferentes frente às condições ambientais impostas durante seus ciclos. Albrecht et al. (2008) também destacam a resposta diferencial entre os genótipos, quanto à regulação metabólica que determina a síntese de proteínas e óleo, e ressaltam que, possivelmente, essa alteração fisiológica deve afetar outras macromoléculas, estendendo-se, provavelmente, a influência na síntese de vários outros compostos, ou primários ou secundários.

Quanto aos rendimentos, tanto de proteína quanto de óleo, as médias dessas variáveis e a interação entre os tratamentos e as cultivares estão dispostas na Tabela 14.

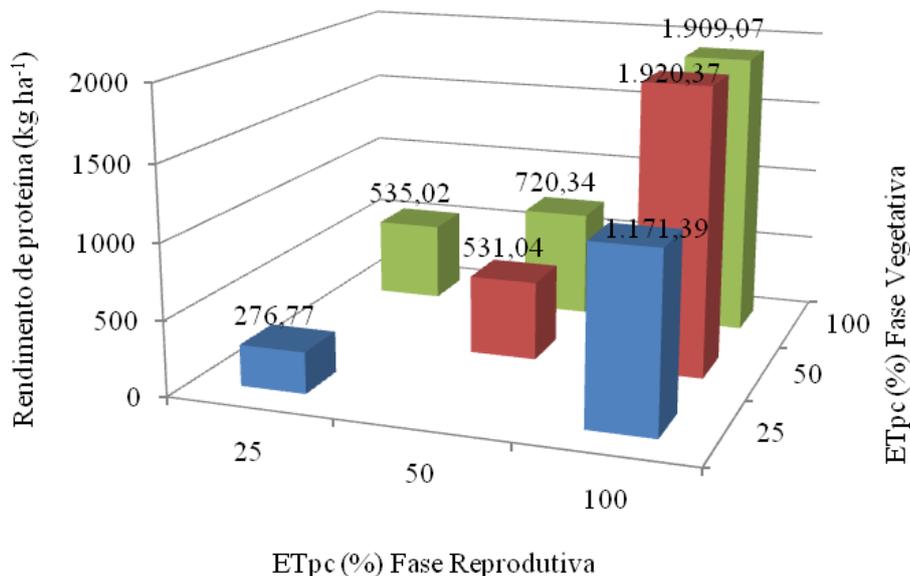
Tabela 14 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: rendimento do óleo (REND ÓLEO) e rendimento da proteína (REND PROT). Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Variável			
	REND PROT (kg ha ⁻¹)		REND ÓLEO (kg ha ⁻¹)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	276,77eB	367,75eA	150,48eA	188,84fA
50V50R	531,04dB	965,44cA	313,40dB	523,57dA
100V100R	1.909,07aA	1.458,71aB	1.155,39aA	809,62bB
25V100R	1.171,39bA	1.074,04bB	744,43bA	623,87cB
50V100R	1.920,37aA	1.478,59aB	1.189,19aA	902,34aB
100V25R	535,02dB	636,57dA	324,89dB	391,18eA
100V50R	720,34cA	671,55dA	439,19cA	407,01eA

Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade

Observa-se que os menores valores de rendimento de proteína tanto para a cultivar M9144RR quanto para a TMG1288RR foram obtidos no tratamento 25V25R (Figuras 40 e 41), pois, apesar desse tratamento ter resultado em maiores teores de proteína, foram relacionados com os menores índices de produtividade de grãos, conforme pode ser conferido nas Tabelas 8 e 13. Esses resultados estão de acordo com alguns autores que sugerem que o teor de proteína tem associação negativa com a produtividade de grãos (WILCOX; CAVINES, 1995; CHUNG; BUHR, 1997 e RODRIGUES et al., 2010). A redução no rendimento de proteína nesse tratamento foi de 85,5 e 74,8% nas cultivares M9144RR e TMG1288RR, respectivamente em relação à testemunha, tratamento 100V100R.

Figura 40 - Rendimento de proteína de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

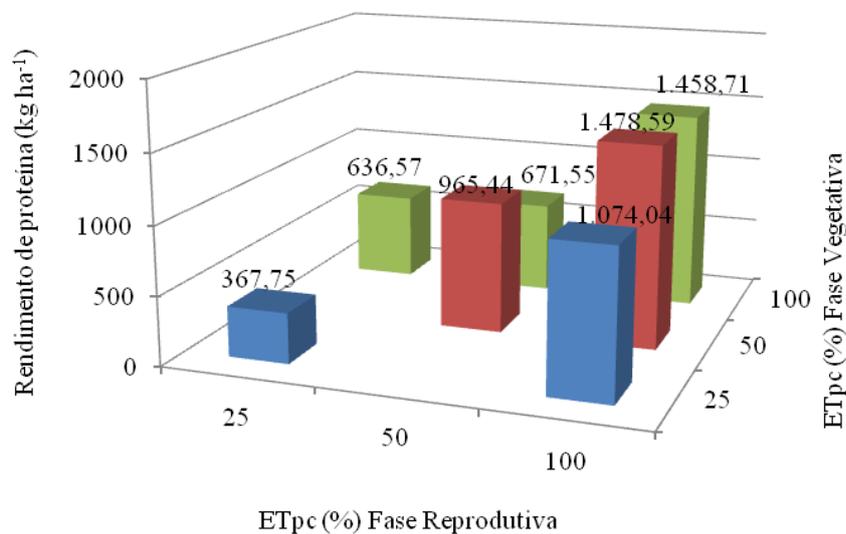


Fonte: Elaborada pela autora.

Respostas semelhantes foram verificadas por Souza et al. (2009) avaliando os teores de proteína e de óleo em grãos de soja. Os autores concluíram que as médias de produtividade obtidas foram até 25% superiores às descritas para a cultivar estudada, BRS 206, porém, houve redução nos teores de proteína. Tanaka et al. (1995), também observaram que o aumento da produtividade de grãos, reduziu as concentrações de proteína dos grãos.

Os maiores valores de rendimento de proteína foram obtidos nos tratamentos 100V100R e 50V100R nas duas cultivares, apesar desses tratamentos terem apresentado percentuais inferiores de teor de proteína, o que indica que os índices de produtividade compensam a redução nos teores de proteína.

Figura 41 - Rendimento de proteína de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

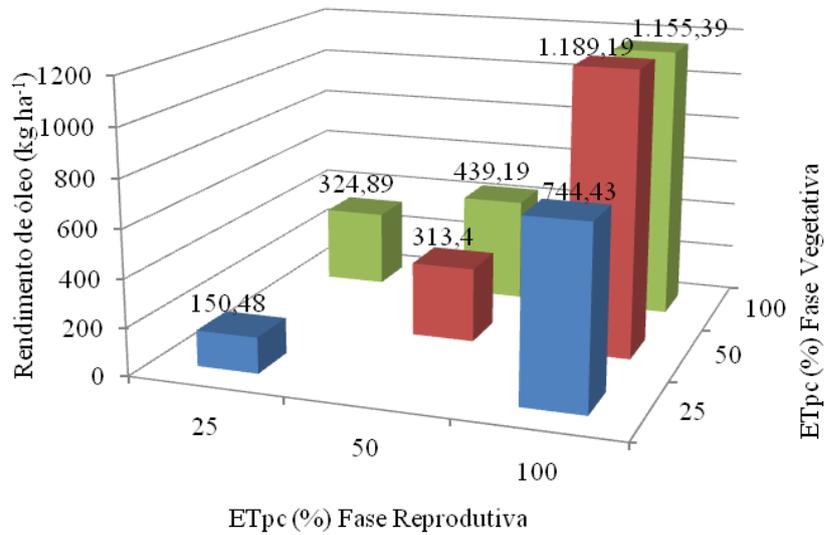


Fonte: Elaborada pela autora.

Quanto ao rendimento de óleo, as Figuras 42 e 43 ilustram as médias desta variável. Observa-se que os resultados também foram superiores nos tratamentos com maior produtividade nas duas cultivares, porém neste caso, o teor de óleo também contribuiu para os resultados, ao contrário do que aconteceu com o teor de proteína.

Esses resultados corroboram os encontrados por Montañó-Velasco (1994), que concluiu que existe uma associação positiva e significativa ($R = 0,99$) entre produtividade de grãos e rendimento de óleo, logo, maiores produtividades de grãos estão diretamente relacionadas a maior rendimento de óleo. Barbosa et al. (2011) também confirmam esses resultados. Os autores concluíram que a época de semeadura mais favorável à produção de grãos de soja também favorece o rendimento de óleo.

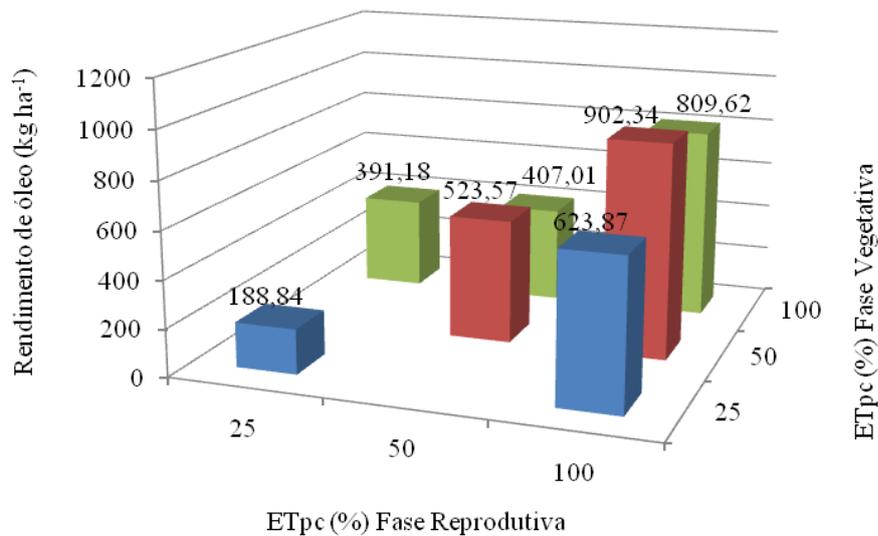
Figura 42 - Rendimento de óleo de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Já nos tratamentos com déficit hídrico severo e moderado, tanto no ciclo todo quanto na fase reprodutiva (25V25R, 50V50R, 100V25R e 100V50R), observou-se os menores valores de rendimento de óleo, evidenciando os efeitos danosos do estresse hídrico às plantas de soja.

Figura 43 - Rendimento de óleo de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 15 expressa o resumo das análises de variância dos valores referentes à eficiência do uso da água nos componentes de produção. Verifica-se que os tratamentos e a

interação entre tratamentos e cultivares influenciaram a eficiência do uso da água pelas plantas de soja ao nível de 1% de probabilidade. Já os cultivares não apresentaram diferença significativa.

Tabela 15 - Resumo das análises de variância da eficiência do uso da água na produção de grãos (EUAgrãos), eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) e eficiência do uso da água na produção de proteína (EUAproteína) de duas cultivares de soja submetidas a manejos de irrigação, Palmas - Tocantins, 2014

FV	GL	Teste F		
		EUAgrãos	EUAóleo	EUAproteína
Tratamento (T)	6	42,21**	45,57**	34,77**
Resíduo (T)	14	-	-	-
Cultivar (C)	1	2,99 ^{ns}	1,89 ^{ns}	4,38 ^{ns}
Interação T x C	6	54,41**	56,54**	50,58**
Resíduo	14	-	-	-
CV - T (%)	-	8,14	8,18	8,47
CV - C (%)	-	4,53	4,83	5,22

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Em relação à eficiência do uso da água, observa-se na Tabela 16 que, o tratamento 50V100R, déficit hídrico moderado na fase vegetativa, apresentou as maiores médias para as duas cultivares, com exceção da cultivar TMG1288RR, quanto à eficiência do uso da água na produção de proteína, sendo esse tratamento superior estatisticamente aos demais no caso da cultivar M9144RR (Tabela 16), inclusive ao 100V100R, que foi o tratamento em que as plantas não sofreram déficit hídrico. Toureiro et al., (2007) obtiveram resultados semelhantes nas culturas de milho e girassol. Os autores submeteram as plantas a condições de irrigação deficitária, reduzindo em 10 e 30% a lâmina de água aplicada, sendo que, durante as fases de desenvolvimento da cultura mais sensíveis ao déficit de água no solo, as plantas foram irrigadas com fornecimento de água igual ao valor de ETc. Os resultados evidenciaram que, nessas condições, as plantas apresentaram um rendimento superior, com isso, os autores concluíram que a eficiência do uso da água pela cultura é superior.

Tabela 16 - Médias da interação entre os manejos de irrigação e as cultivares de soja para as variáveis: eficiência do uso da água na produção de grãos (EUAgrãos), eficiência do uso da água na produção de óleo (EUAóleo) e eficiência do uso da água na produção de proteína (EUAproteína). Palmas - Tocantins, 2014

Tratamento	Variável					
	EUAgrãos (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		EUAóleo (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		EUAproteína (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR	M9144RR	TMG1288RR
25V25R	4,62eB	6,14bA	1,01eB	1,30bA	1,86dB	2,53cA
50V50R	5,00eB	8,14aA	1,13dB	1,79aA	1,92dB	3,29aA
100V100R	8,61bA	6,66bB	2,01bA	1,43bB	3,31bA	2,57cB
25V100R	6,53cA	6,33bA	1,55cA	1,39bB	2,45cA	2,40cA
50V100R	10,11aA	8,37aB	2,36aA	1,85aB	3,80aA	3,03bB
100V25R	5,72dB	6,49bA	1,28dB	1,47bA	2,10dB	2,39cA
100V50R	5,24eA	4,81cA	1,19dA	1,09cA	1,95dA	1,79dA

Colunas - letras minúsculas; Linhas - letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade

As Figuras 44 e 45 ilustram graficamente as médias da eficiência do uso da água na produção de grãos das duas cultivares estudadas em função dos manejos de irrigação aplicados. Verifica-se que as cultivares apresentaram respostas diferentes em relação a esta variável.

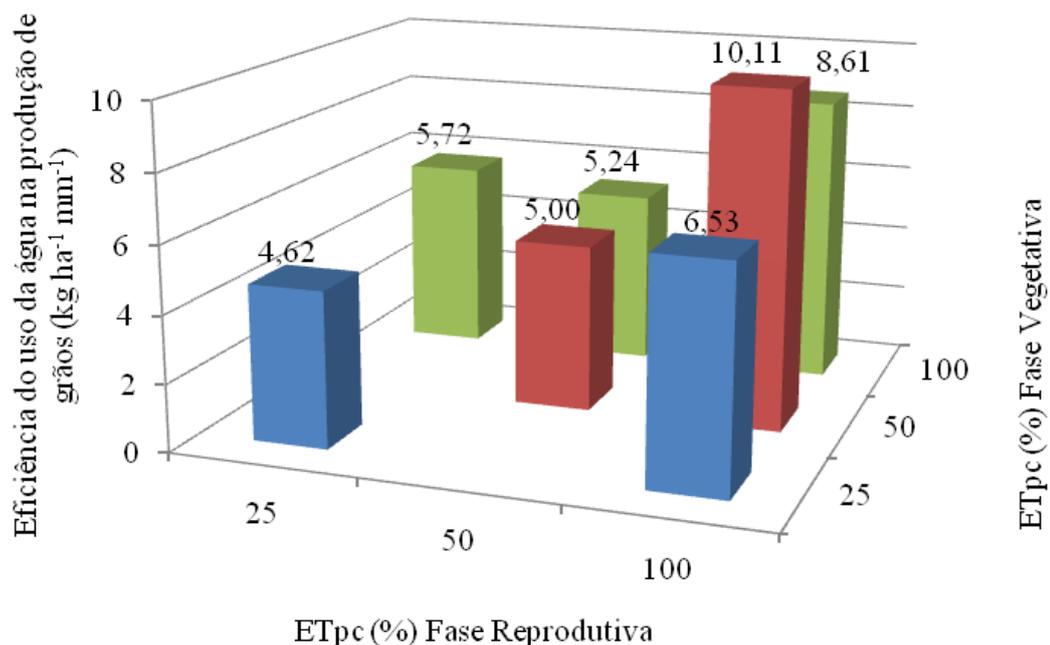
A cultivar M9144RR apresentou maior variação nas respostas, apresentando os menores valores de eficiência no uso da água para a produção de grãos quando submetida a déficit hídrico severo e moderado durante todo o ciclo e na fase reprodutiva. Isso reflete a sensibilidade dessa cultivar a déficit hídrico quando este se estende por todo o ciclo e sua pouca capacidade de produção por unidade de água, quando o déficit hídrico se restringe à fase reprodutiva, mesmo sendo esse estresse moderado, tendo como consequência a pouca eficiência no uso da água.

Isso pode estar relacionado com questões de ordem morfológica e fisiológica, posto que a planta ao ser submetida a boas condições hídricas no período vegetativo, investe energia no seu crescimento e desenvolvimento e chega à fase reprodutiva com estatura elevada e altos valores de área foliar, logo ela precisará de energia para manter toda essa estrutura de parte aérea e ainda para produção de grãos. Se, a partir de então, a planta é submetida a déficit hídrico, ela será prejudicada em ambos os processos, tendo em vista que haverá menor produção e distribuição de fotoassimilados ocasionando, segundo Maelher et al. (2003), o aborto de flores e a abscisão de vagens na tentativa de a planta manter equilíbrio entre a produção de fotoassimilados e a fixação de estruturas reprodutivas. Para Cunha e Bergamaschi (1992), por envolver diretamente a formação dos componentes do rendimento, um dos períodos mais sensíveis da soja à falta de água no solo é o de enchimento de grãos.

De acordo com Santos e Carlesso (1998), a água, além de ser necessária ao crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência, que por sua vez se faz necessário às células por permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese (PETRY, 1991). Segundo Taiz e Zeiger (2013), o déficit hídrico provoca diminuição da área foliar em função da aceleração da senescência e da abscisão das folhas, porém, o déficit hídrico no período reprodutivo pode ocasionar uma alteração fisiológica descrita por Mundstock e Thomas (2005) como “retenção foliar”, que trata-se de um desbalanço na relação de nutrição entre as folhas e legumes devido ao aborto de flores, o que diminui a demanda por assimilados, fazendo com que as folhas não entrem em senescência quando os grãos já estão formados. Nesse caso, esse processo pode ter sido o motivo da baixa eficiência das plantas no uso da água para a produção de grãos, agravado pelas perdas de água pela transpiração que são inevitáveis, considerando que as folhas continuam em atividade.

Bergonci et al. (2001) confirmam e alertam que, no caso de possibilidade de suplementação hídrica, deve-se sempre dar preferência à irrigação no período crítico da cultura, compreendido entre o início da floração e o início do enchimento de grãos, pois é quando a planta apresenta maior eficiência na utilização da água.

Figura 44 - Eficiência do uso da água na produção de grãos de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

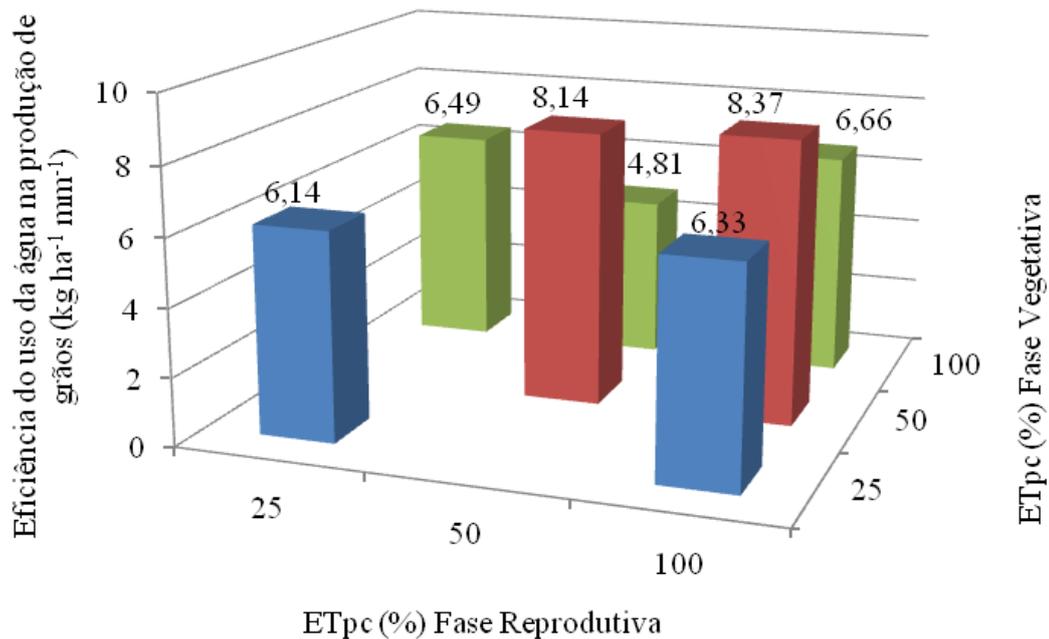


Fonte: Elaborada pela autora.

A cultivar TMG1288RR, nas condições do tratamento 50V50R, que correspondeu a déficit hídrico moderado durante todo o ciclo apresentou comportamento semelhante ao 50V100R, que proporcionou déficit hídrico moderado apenas na fase vegetativa, e os dois apresentaram valores superiores aos tratamentos 25V25R, 100V100R, 25V100R e 100V25R que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 16). Isso revela certa adaptação dessa cultivar a períodos até prolongados de seca e eficiência no uso da água, apesar de apresentar menores índices de produtividade em relação ao M9144RR em condições normais.

Resultado semelhante foi observado por Pereira (1998) na variedade de soja Capinópolis. O autor verificou que a eficiência no uso da água para a produção de grãos não variou para as condições de estresse hídrico na fase vegetativa, na fase de enchimento de grãos e quando os tratamentos foram irrigados por todo o ciclo.

Figura 45 - Eficiência do uso da água na produção de grãos de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

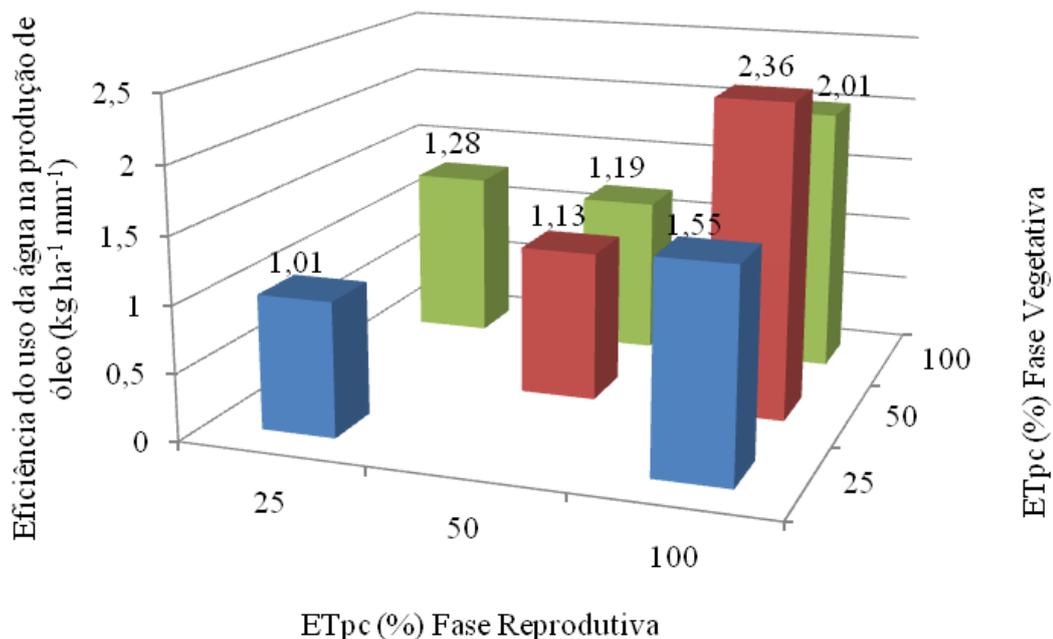
Como já mencionado, a cultivar TMG1288RR, quando submetida ao tratamento 50V100R foi superior quanto à eficiência no uso da água em relação aos demais, porém, foi estatisticamente semelhante ao tratamento 50V50R, que proporcionou déficit hídrico moderado durante todo o ciclo. Isso mais uma vez sugere que essa cultivar apresenta características de tolerância à seca. Cabe observar mais uma vez que, em função de ter ocorrido precipitações no final dos ciclos das plantas, como pode ser conferido na Tabela 2, o

que levou as plantas deste tratamento a retardarem a maturação fisiológica, deduz-se que elas podem ter se beneficiado com isso, pois tiveram mais tempo e condições para concluir o processo de enchimento dos grãos, benefício que também se refletiu em relação à biossíntese de óleo, conforme discutido anteriormente.

As Figuras 46 e 47 expõem as médias da variável eficiência no uso da água na produção de óleo das cultivares M9144RR e TMG1288RR, respectivamente. Verifica-se que as médias desta variável acompanharam a mesma tendência da eficiência no uso da água para produção de grãos, sendo os maiores valores relacionados com o tratamento 50V100R (déficit hídrico moderado na fase vegetativa). E, no caso da cultivar TMG1288RR, o tratamento 50V50R, sendo semelhante estatisticamente ao 50V100R.

Essa tendência pode estar relacionada com um maior controle das perdas de água pelos estômatos em relação às plantas não-estressadas, tendo em vista que as plantas já cresceram em condições de restrição hídrica e puderam fazer adaptações logo no início do ciclo. Portanto, é possível que tenha ocorrido um fechamento estomático controlado de tal maneira que não prejudicou a assimilação de CO₂. Além disso, ao começarem a receber água no período que se seguiu ao estresse, a planta apresentou crescimento foliar, principalmente em termos de expansão, que levou a diminuições de perda de água por evaporação do solo.

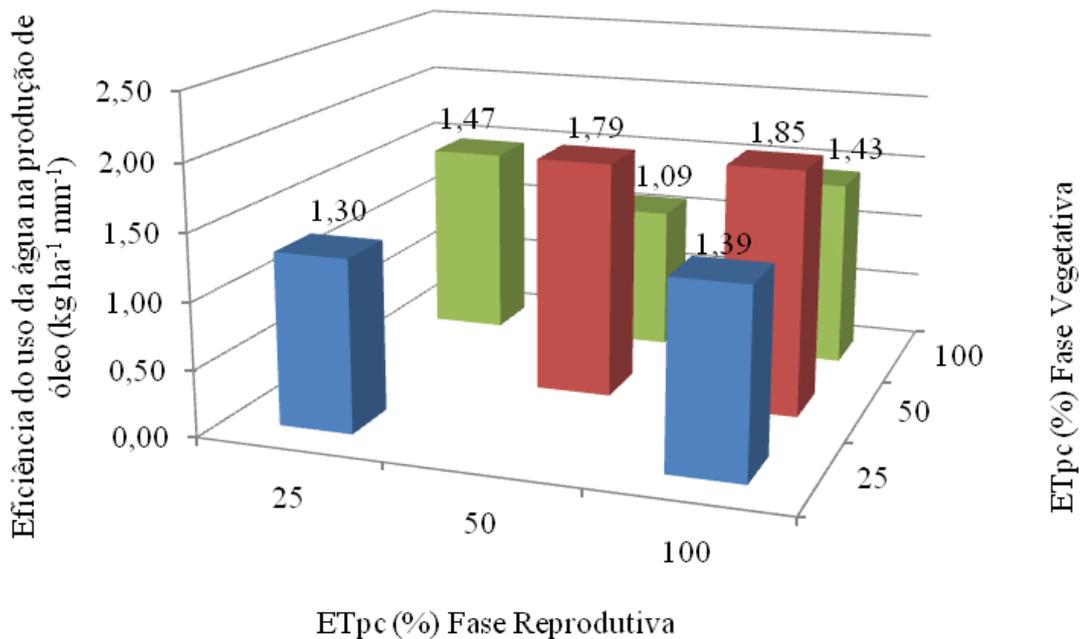
Figura 46 - Eficiência do uso da água na produção de óleo de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Com exceção do tratamento 50V50R, no caso da cultivar TMG1288RR, que também mostrou-se superior aos demais, mas neste caso, possivelmente devido à ocorrência de chuvas intensas no final dos ciclos das plantas, o que pode ter favorecido as mesmas, posto que com isso as plantas deste tratamento prorrogaram a maturação fisiológica, os tratamentos em que as plantas sofreram déficit hídrico durante todo o ciclo e na fase reprodutiva foram os que apresentaram os menores valores de eficiência no uso da água para produção de grãos e de óleo. Isso pode ser decorrente do maior fechamento estomático, o que pode ter ocasionado prejuízo na absorção de CO₂ e, conseqüentemente, na fotossíntese. Além das perdas por evaporação da água do solo, tendo em vista que houve menor autosombreamento.

Figura 47 - Eficiência do uso da água na produção de óleo de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014

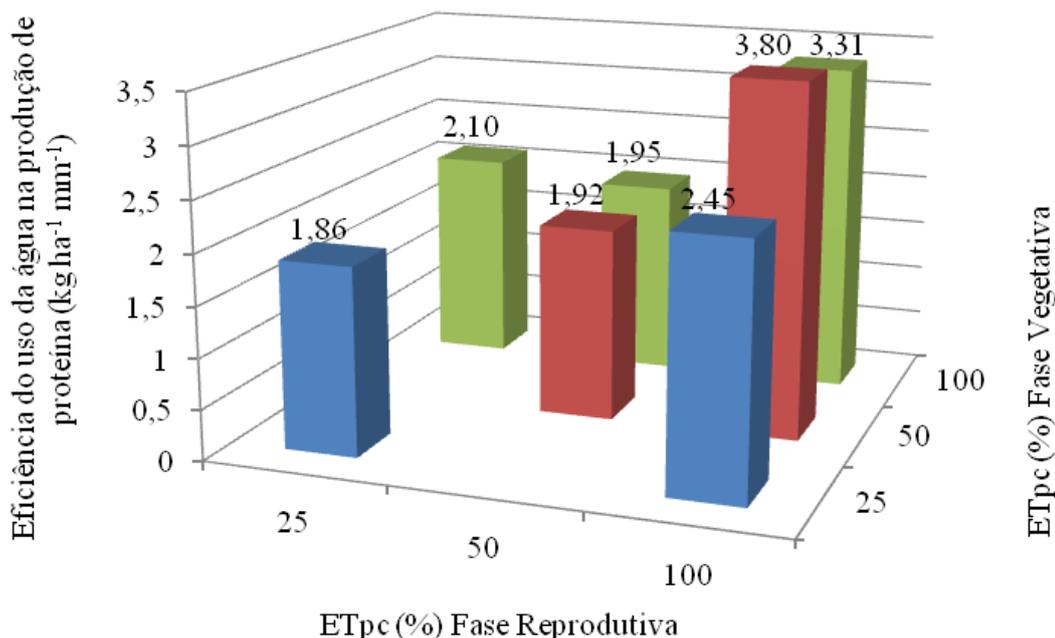


Fonte: Elaborada pela autora.

Destaca-se que os tratamentos que disponibilizaram os maiores volumes de água para as plantas foram os que apresentaram maior eficiência no uso da água para produção de óleo. Resultados semelhantes aos encontrados por Lacerda (2006) e Silva e Beltrão (2000), em trabalhos com amendoim e mamona, respectivamente. Os autores constataram que as plantas dessas oleaginosas quando conduzidas no nível mais alto de disponibilidade de água no solo, apresentaram maior eficiência no uso da água consumida para produção de óleo.

Em relação à eficiência no uso da água na produção de proteína, avaliando o efeito dos tratamentos na cultivar M9144RR, verifica-se na Figura 48 que o tratamento 50V100R foi superior aos demais tratamentos e que alcançou o valor máximo de $3,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Figura 48 - Eficiência do uso da água na produção de proteína de soja, cultivar M9144RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



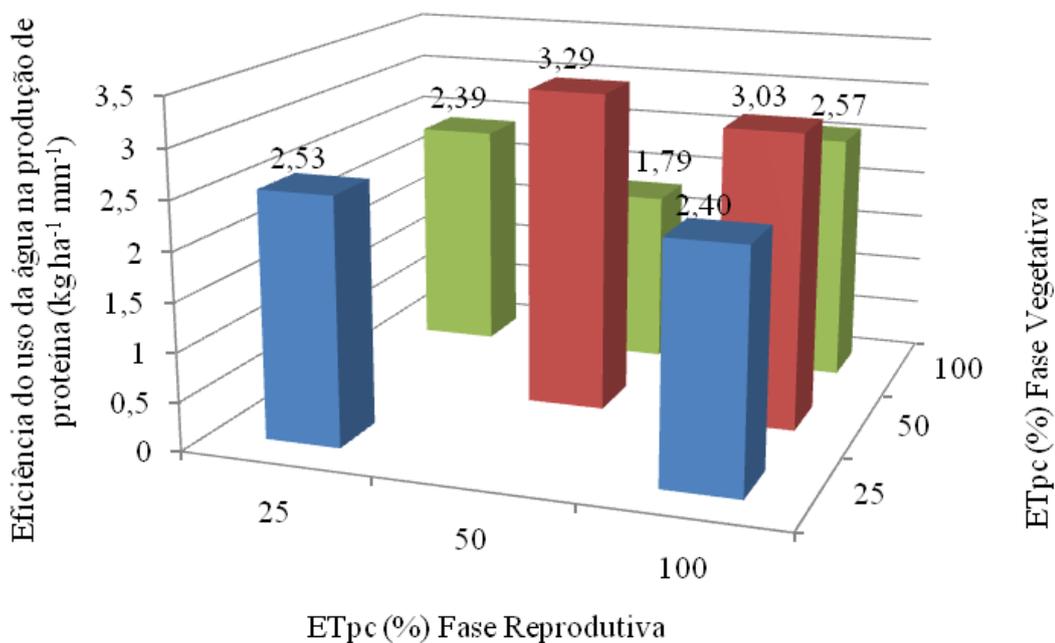
Fonte: Elaborada pela autora.

Já a cultivar TMG1288RR apresentou maior eficiência do uso da água na produção de proteína, quando submetida ao tratamento 50V50R (déficit hídrico moderado durante todo o ciclo) com valor de $3,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, apesar de este valor ser bem próximo do obtido no tratamento 50V100R, $3,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Figura 49).

Portanto, apesar desta pequena variação, nota-se que ambas as cultivares foram beneficiadas pelo manejo com déficit hídrico moderado na fase vegetativa. Esses resultados podem ser consequência das adaptações morfológicas feitas pelas plantas em função da restrição hídrica durante a fase vegetativa. De acordo Taiz e Zeiger (2013), sob condições de déficit hídrico moderado, a planta diminui a expansão foliar, porém a taxa fotossintética se mantém por ser menos sensível ao turgor. Além disso, a planta promove o fechamento estomático, que inibe a transpiração, resultando em menor consumo de água. Consequentemente, mais CO_2 pode ser absorvido por unidade de água transpirada. Portanto,

muitas plantas tendem a apresentar aumentos na eficiência do uso de água em condições de déficit hídrico moderado (CHAVES et al., 2003).

Figura 49 - Eficiência do uso da água na produção de proteína de soja, cultivar TMG1288RR, em resposta a manejos de irrigação. Palmas, TO, 2014



Fonte: Elaborada pela autora.

Por sua característica de planta C₃, a soja apresenta baixa eficiência no uso da água, em relação a outras culturas (PEREIRA, 1998). Logo, para que haja uma maximização na eficiência do uso da água, Aiken e Lamm (2011) argumentam que se faz necessário um gerenciamento do abastecimento de água durante o período vegetativo com o objetivo de minimizar as perdas por evaporação, além de assegurar o suprimento hídrico adequado durante os estádios de floração e enchimento de grãos.

5 CONCLUSÃO

1. O manejo da irrigação com déficit hídrico moderado, 50% da ET_{pc}, no período vegetativo proporcionou os melhores resultados para características agronômicas e para a produtividade das cultivares de soja avaliadas e também resultou em condições para a maior eficiência no uso da água pelas plantas das duas cultivares.

2. A cultivar TMG1288RR apresentou-se mais resistente a períodos de seca, porém a M9144RR, nas condições de manejo de irrigação com déficit hídrico moderado, 50% da ET_{pc}, na fase vegetativa, apresentou maiores índices de produtividade.

3. O déficit hídrico na fase reprodutiva afeta mais a produtividade do que na fase vegetativa.

4. Diferentes cultivares de soja refletem resultados diferentes quando submetidas às mesmas condições hídricas.

REFERÊNCIAS

- ADAPEC - Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins. Portaria nº 419, de 1 de dezembro de 2014.
- AIKEN, R.; LAMM, F. Water use of oil seed crops. In: Annual Central Plains Irrigation Conference, 23. Burlington, CO. **Proceedings...** February 22-23, 2011.
- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. de L. e; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.); SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v.67, n.4, p. 865-873, 2008.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiração do cultivo - Guias para a determinação dos requerimentos de água dos cultivos**. Estudo FAO de irrigação e drenagem, 56. Roma, 2006, 300 p.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013. 432 p.: il.
- ANA. Agencia Nacional de Águas. A água no Brasil e no mundo. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/AAguaNoBrasilENoMundo2014.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.
- AZEVEDO, D. M. P. de; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- BARBOSA, M. C.; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; ALBRECHT, L. P.; PICCININ, G. G.; ZUCARELI, C. Desempenho agrônômico e componentes da produção de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no arenito caiuaú. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 945-960, 2013.
- BARBOSA, V. da S.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; SIQUEIRA, G. B. de. Comportamento de cultivares de soja, em diferentes épocas de semeaduras, visando a produção de biocombustível. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 742-749, 2011.
- BARRETO, C. de A. **Os impactos socioambientais do cultivo da soja no Brasil. II** Encontro da Associação Nacional Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. 26 a 29 de maio de 2004. Indaiatuba - São-Paulo - Brasil.
- BARROS JUNIOR, G; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. de. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v. 12, n. 4, 2008.

BARROS, H. B., PELUZIO, J. M.; SANTOS, M. M., BRITO, E. L., ALMEIDA, R. D. Efeito das épocas de semeadura no comportamento de cultivares de soja, no sul do estado do Tocantins. **Revista Ceres**, v. 50, n. 291, p. 565 - 572, 2003.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. M. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, 2, p. 243-249. 2006.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.

BERTRAND, J.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V. **O mundo da soja**. São Paulo: HUCITEC, 1987.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; LANNA, E. A. T. Uso de Esgotos Tratados para Produção Animal. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p.: il.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum, 1985. 367 p.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. dos. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 34, n. 01, p. 5-10, 2003.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.

BONATO, E. R. **Estresses em soja**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

BONATO, E. R.; BERTAGONOLLI, P. F.; CANGE, C. E.; RUBIN, S. A. L. Teores de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.

BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1987. 61 p. (EMBRAPA. CNPSo. Documentos, 21).

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1977. p. 1-6.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. Ed. Viçosa. Ed. UFV, 2005. 969 p.

BORGES, L. P. **Redução do abortamento de vagens e produtividade de plantas de soja tratadas com benziladenina**. 2014. 27 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Unidade Universitária de Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2014.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores**. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BRACCINI, A. de L. e; MOTTA, I de S.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, M. do C. L.; ÁVILA, M. R.; MESCHEDÉ, D. K. Características agrônômicas e rendimento de sementes de soja na semeadura realizada no período de safrinha. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 81-92, 2004.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 11**. Brasília. 15 de maio de 2007.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 2, p. 48-54, 1997.

BUAINAIN, A. M; GARCIA, J. R. Biodiesel sem a agricultura familiar. Ciasoja, Brasília: [200]. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/index.php?p=artigo&idA=87>>. Acesso em: 11 set. 2015.

BURTON, J. W. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. In: World Soybean Research Conference, 3. 1984, Ames. **Proceedings...** Boulder: Westview, 1985. p. 361-367.

BUTTERY, B. R.; TAN, C. S.; BUZZELL, R. I.; GAYNOR, J. D.; MACTAVISH, D. C. Stomatal numbers of soybean and response to water stress. **Plant and Soil**, v. 149.p. 283-288, 1993.

CÂMARA, G. M. de S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **International plant nutrition intitute**. Informações Agrônômicas, n. 147, 2014.

CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. **Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja**. In: CÂMARA, G. M. (Ed.). Soja: tecnologias da produção II. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 81-120.

CARLSON, J. B.; LERSTEN, N. R. Reproductive morphology. In: BOERMA, R.; SPECHT, J. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production, and uses**. 3 ed. Madison: Soil Science Society of America, 2004. p. 59-95.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought from the genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239-264, 2003.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, p. 1-16, 1991.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

CHRISTOFIDIS, D. Água: um desafio para a sustentabilidade do setor agropecuário. Anuário da Agricultura Brasileira. **Agrianual**, 2007, p. 37-42.

CHUNG, C.; BUHR, B. Market level economic impacts of modified soybeans. **Agribusiness**, v. 13, n. 5, p. 469-482, 1997.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2014. V.1. Safra 2013/2014 - Brasília : Conab, abril, 2014.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 6, Brasília: Conab, março, 2015.

COSTA, E. D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja**. 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013. 60.

COSTA, F. da S.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S. de; BRITO, M. E. B.; MESQUITA, E. F. de. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**. v. 25, n. 4, p. 26-33, 2012.

COSTA, L. C.; CONFALONE, A.; PEREIRA, C. R. . Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Science**, v. 39, p. 1-7, 1999.

COUTO, L; SANS, L. M. A. Requerimento de água das culturas. Sete Lagoas: **Embrapa**, 2002. 10 p. (Circular Técnica, 20).

CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 33-42, 2010.

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. **Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas**. In: BERGAMASCHI, H. et al. Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 85-97.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Riego y drenage, 33).

DORNBOS, D. L. J. R.; MULLEN, R.E. Soybean seed protein and oil contents and and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 69, n. p. 228-231, 1992.

DORNELES, L. M. C.; HAMAWAKI, O. T.; REZENDE, D. F.; SOUSA, L. B. de; OLIVEIRA, V. M. de. Produtividade de grãos e óleo em linhagens de soja semiprecoce no estado de Goiás, safra 2009/2010. **Revista Verde**, v. 6, n. 3, p. 38 – 42, 2011.

DURIGON, A. **Soil-plant-atmosphere water transfer mechanisms and their relation to crop water stress**. 2011. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Considerações sobre florescimento precoce. EMBRAPA, CNPSo, 2010. (EMBRAPA. CNPSo. Nota Técnica). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=214&cultura=1>. Acesso em: 2 mar. 2015.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil**. Londrina: Fundação Meridional, 2004. 239 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produções de Soja - Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 208 p. (Embrapa Soja, Sistema de Produções, 12).

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-CNPAF, 1989. 425 p.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N. e NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 415-421, 2001.

FEHR, W. R., CAVINESS, R. E., BURMOOD, D. T., PENNINETON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* L. Merrill. **Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

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

FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia Vegetal: Relações Hídricas**. 1. ed. Fortaleza: Edições UFC, 1992, 138 p.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetida à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, L. E. M. de; PURCINO, A. Á. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 13-17, 2002.

FIGUEIREDO, W. S. C. **Evapotranspiração e efeito do déficit hídrico na floração do cafeeiro arábica**. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FINOTO, E. L. **Variabilidade fenotípica dos teores de óleo e proteína de cultivares de soja em diferentes ambientes**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 5, p. 661-669, 1992.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H.; MELLO, R. W. de. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 3, p. 399-403, 2001.

FRANCISCO, E. R. **Desempenho agrônômico de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no cerrado do distrito federal**. 2009. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FUMIS, T. de F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 4, p. 449-453, abr. 2002.

GALLI, J. A.; PANIZZI, R. de C.; VIEIRA, R. D. Efeito de *Colletotrichum dematium* var. *truncata* e *Phomopsis sojae* na qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja. **Summa Phytopathol**, v. 33, n. 1, p. 40-46, 2007.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2014. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GLOSER, V.; GLOSER, J. Acclimation capability of *Calamagrostis epigejos* and *C. arundinaceae* to changes in radiation environment. **Photosynthetica**, v. 32, p. 202-212, 1996.

GONÇALVES, C. A.; SOARES, N. S.; BOLINA, C. de O.; BARROS, E. G. de. Influência da temperatura no acúmulo de proteínas em sementes de soja. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 1038-1040, 2007.

GONDIM, R. S.; AGUIAR, J. V. de; COSTA, R. N. T. Estratégias de manejo de água em caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 14-18, 2000.

GRAZIANO, J. R. **Manual Técnico das Culturas - CATI**, 2. ed. Graça D’Auria, 1997, p. 457 - 516.

GRIEU, P.; MAURY, P.; DEBAEKE, P.; SARRAFI, A. Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: Apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Revue Innovations Agronomiques**, v. 2, p. 37-51, 2008.

HAMDY, A.; RAGAB, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA, E. Coping with water scarcity: Water saving and increasing water productivity. **Irrigation and Drainage**, v. 52, n. 1, p. 3-20. 2003.

HEERDEN, P. D. R.; VILLIERS, O. T. Evaluation of proline accumulation as an indicator of drought tolerance in spring wheat cultivars. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 13, p. 17-21, 1996.

HELMS, T. C.; ORF, J. H. Protein, oil and soybean lines selected for increased protein. **Crop Science**, v. 38, n. 3, p. 707-711, 1998.

HELMS, T. C.; ORF, J. H. Protein, oil and yield of soybean lines selected for increased protein. **Crop Science**, v. 38, p. 707-711, 1998.

HESPAHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, p. 431-438, 2001.

IAL. Instituto Adolfo Lutz **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p.

JESSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, ASAE, Amer Society of Agricultural, 1980. 829 p.

JONG VAN LIER, Q. de; VAN DAM, J. C.; METSELAAR, K.; JONG, R. de; DUIJNISVELD, W. H. M. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. **Vadose Zone Journal**, v. 7, p. 1065-1078, 2008.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

KIIHL, R. A. S.; CALVO, E. S. A soja no Brasil: mais de 100 anos de história, quatro décadas de sucesso. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas - produção e produtividade**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v. 1, p. 199-218.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p.43-49, 2008.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. I. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, 2008.

LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188-Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p. LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v. 89, p. 871-885, 2002.

LEE, G-A.; CRAWFORD; G. W.; LIU, L.; SASAKI, Y.; CHEN, X. Archaeological Soybean(*Glycine max*) in East Asia: Does Size Matter? **Plos one**. v.6, n. 11, 2011.

LIMA, F. Z.; COSTA, L. C.; PEREIRA, C. R. DOURADO NETO, D.; CONFALONE, A. E. Efeito do estresse de luz e água na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2004.

LIZANA, C.; WENTWORTH, M.; MARTINEZ, J. P.; VILLEGAS, D.; MENESES, R.; MURCHIE, E. H.; PASTENES, C.; LERCARI, B.; VERNIERI, P.; HORTON, P.; PINTO, M. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 3, p. 685-697, 2006.

LOBO, J. V. **Respostas moleculares fisiológicas de dois genótipos de cafeeiros submetidos a diferentes períodos de restrição hídrica**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MAEHLER, A. R.; CONSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; RAMBO, L. Qualidade de grãos de duas cultivares de soja em função da disponibilidade de água no solo e arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 213-218, 2003.

MAEHLER, A. R.; PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; FERREIRA, F. G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 225-231, 2003.

MANCUSO P.C.S.; SANTOS H.F. **Reuso de Água**. 1. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003. 452 p.

MANTOVANI, C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Editora UFV. Viçosa, MG, 2005. 451 p.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.

MARTORANO, L. G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2003.

MEDEIROS, S. A. F. de; YAMANISHI, O. K.; PEIXOTO, J. R.; PIRES, M. C.; JUNQUEIRA, N. T. V.; RIBEIRO, J. G. B. L. Caracterização físico-química de progênies de maracujá-roxo e maracujá-azedo cultivados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 31, n. 2, p. 492-499, 2009.

MEDINA, P. F.; RAZERA, L. F.; MARCOS FILHO, J.; BORTOLETTO, N. Produção de sementes de cultivares precoces de soja em duas épocas e dois locais paulistas: I. características agrônômicas e produtividade. **Bragantia**, v. 56, n. 2, p. 291-303, 1997.

MELLO, J. L. P.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Evaporação e evapotranspiração**. Viçosa: UFV. 1996. 62 p.

MENEZES, N. L.; GARCIA, D. C.; RUBIN, S. de A. L.; BERNARDI, G. E. Caracterização de vagens e sementes de soja. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3, p. 387-391, 1997.

MEYER, R. F. BOYER, J. S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, v. 151, p. 482-489, 1981.

MILANI, A. P.; BIDÓIA, V. S.; PERECIN, D. Estudo granulométrico de grãos de soja normal e transgênico. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 656-660, 2009.

MINUZZI, A.; RANGEL, M. A. S.; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; MORA, F.; ROBAINA, A. D. Rendimento, teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, produzidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. **Ciência Agrotecnológica**, v. 33, n. 4, p. 1047-1054, 2009.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006.

MONTAÑO-VELASCO, J. C. **Análise genética de populações F3 de soja derivadas de cruzamentos em cadeia com ênfase na produção de óleo**. 1994. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

MONTEIRO, R. O. C.; COLARES, D. S.; COSTA, R. N. T.; LEÃO, M. C. S.; AGUIAR, J. V. de. Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 4, p. 455-459. 2006.

MORAES, R. M. A. de; JOSÉ, I. C.; RAMOS, F. G.; BARROS, E. G. de; MOREIRA, M. A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 5, p. 725-729, 2006.

MORAES, R. M. A. de; JOSÉ, I. C.; RAMOS, F. G.; BARROS, E. G. de; MOREIRA, M. A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 5, p. 725-729, 2006.

MORANDO, R.; SILVA, A. O. da; CARVALHO L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 114-129, 2014.

MOREIRA, M. A. Programa de Melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 99-104.

MOTA, F.S.; AGENDES, M.O.O.; ALVES, E.G.P.; SIGNORINI, E. Análise agroclimática da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 133-138, 1996.

MÜLLER, L. **Taxonomia e morfologia**. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A Soja no Brasil. 1. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p. 65-104.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de plantas de lavouras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 2005. 31 p.

NASCIMENTO JÚNIOR, L.; CUSTÓDIO, A. M.; FELSSNER, G. C.; BERTONCINI, J. D.; VICTOR, R.; SALINET, L. H.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Caracterização das Respostas de Cultivares de Soja à Disponibilidade Hídrica. In: III Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. Embrapa Soja. Documentos, 297. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72392/1/ID-29048.pdf>> Acesso em: 11 fev. 2015.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Estresses de ordem ecofisiológica**. In: BONATO, E.R. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 45-65.

NEVES, J. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de soja sob condições de baixa latitude em Teresina-PI**. 2011. 94 f. Tese (doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2011.

NEZAMI, A.; KHAZAEI, H. R.; REZAZADEH, Z. B.; HOSSEINI, A. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. **Journal Desert**, v. 12, p. 99-104, 2008.

NOGUEIRA, R. J. M. C., MORAES, J. A. P. V., BURITY, H. A. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

NOGUEIRA, S. dos S. S. & NAGAI, V. Deficiência hídrica simulada nos diferentes estádios de desenvolvimento de um cultivar precoce de soja. **Bragantia**, v. 47, n. 1, p. 9-14, 1988.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PELUZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; BARROS, H. B.; CAPELLAR, D. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em Gurupi, TO.. **Revista Ceres**, v. 55, p. 34-40, 2008.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, C. R. **Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] sob deficiência hídrica**. 1998. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

PEREIRA, G. M.; CARVALHO, J. A.; RODRIGUES, L. S.; DOBASHI, A. M. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados em três fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) c.v. carioca-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais....** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 187-189.

PEREIRA, W. A.; SÁVIO, F. L.; DIAS, D. C. F. dos S.; CRUZ, C. D. BORÉM, A. Fluxo gênico recíproco entre cultivares de soja convencional e geneticamente modificada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 227-236, 2012.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur. 2004. 191 p: il.
PÍPOLO, A. E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteínas e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2002. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia)

– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PITOL, C.; BROCH, D. L **Soja: Lavoura mais produtiva e Tolerante à Seca** In: Tecnologia & Produção - Soja e Milho 2011/2012. Fundação MS. (Publicação 06). 2012. planting date. **Crop Science**, v. 32, p. 1248 - 1251, 1992.

POMPEO, R. P. **Avaliação técnica e econômica da utilização do efluente da ETE Martinópolis - São José dos Pinhais (PR)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

POTAFOS. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Disponível em: <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/9EB3E1289BF2532B83257AA0003BF72A/\\$FILE/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/9EB3E1289BF2532B83257AA0003BF72A/$FILE/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2014.

RANGEL, M. A. S.; CAVALHEIRO, L. R.; CAVICHIOLLI, D.; CARDOSO, P. C. Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da Região Sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 17), 2004.

RAO, A. C. S.; SMITH, J. L. V. K.; JANDHYALA, R. I.; PARR, J. F. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 02, p. 1023-1028, 1993.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

RIBEIRO, K. de O. **Caracterização de germoplasma de soja quanto aos teores de proteína, óleo e ácidos graxos**. 2011, 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

RICCI, dos S. R. Irrigação como alternativa de sustentabilidade agrícola e ambiental. **Revista Multidisciplinar da Uniesp Saber Acadêmico**, n 10, p. 68-76, 2010.

RODRIGUES, J. I. da S.; MIRANDA, F. D. de; FERREIRA, A.; BORGES, L. L.; FERREIRA, M. F. da S.; GOOD-GOD, P. I. V.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G. de; CRUZ, C. D.; MOREIRA, M. A. Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010.

ROMERO, P.; BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158-173, 2006.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2010.

RUVIARO, C.; DORNELES, J. G. L.; SILVA, A. M.; BEN, C. A. V. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídrico e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguarí - RS. **Perspectiva**, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SALINET, L. H. **Avaliação fisiológica e agrônômica de soja geneticamente modificada para maior tolerância à seca**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. de A.; ANDRADE, M. J. B. de; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

SANTOS, E. L. **Desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico**. 2009. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

SANTOS, H. M. C.; OLIVEIRA, M. A.; OLIVEIRA, A. F.; OLIVEIRA, G. B. A. Composição centesimal das cultivares de soja BRS 232, BRS 257 e BRS 258 cultivadas em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 1, n. 2, p. 07-10, 2010.

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

SCHMIDT, W. **Uso de óleos sem surfactantes na aplicação de clorpirifós via insetigação na cultura do milho**. 2003. 83 f. Dissertação (Mestrado Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2009, v. 1. 314 p.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da Soja, Parte I**. UFV, Minas Gerais, 97 p. 1993.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 897-930.

SEPLAN-GO. Gerência de Estatísticas Socioeconômicas - 2003. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/anuario/2003/SITUACAOFISICA/tabela11.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Variation among soybean cultivars in dinitrogen fixation response to drought. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 6, p. 963-969, 1997.

SFREDO, G. J. **Calagem e adubação da soja**. Londrina, PR. EMBRAPA SOJA. 12 p. 2008. (Circular Técnica, 61).

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 41-45, 1997.

SHINOZAKI-YAMAGUCHI, Y. K; KASUGA, M.; LIU, Q.; NAKASHIMA, K. **Biological mechanisms of drought stress response**. JIRCAS Working Reported. p. 1-8, 2002.

SILVA, A. O. da; SILVA, E. F. de F. e; KLAR, A. E. Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**. v. 2, n. 1, p. 27-36, 2013.

SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; FREITAS, C. A. S. de; PEREIRA FILHO, J. V.; ANDRADE, R. R. de; FEITOSA, D. R. C. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 959-968, 2012.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004, 235 p.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, L. B e; NASCIMENTO, J. L. do; NAVES, R. V.; FERREIRA, P H. Comportamento vegetativo de cultivares de banana sob diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 2, p. 93-98, 2004.

SILVA, L. C da.; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoineiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 4, n. 2, p. 111-121, 2000.

SILVA, R. R. da; SILVA, D. B. da; PASSOS, D. da S.; SUGAI, M. A. A.; DEUSDARÁ. T. T.; QUINTANILHA, M. A. B. **Manual de Bancada do Laboratório de Fertilidade do Solo**. UFT. Gurupi. 2012. 19 p.

SOARES, T. C. B. **Mapeamento de locos, que controlam o conteúdo de proteína em soja**. 2004. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

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

SOUZA, L. C. F. de; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. L. de. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e agrotecnologia**. v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.

- STRAUSS, M. **Reuse of wastewater in Urban Agriculture**. In: BRUINSMA, W.; HERTOOG, W. Annotated bibliography on urban agriculture. The Netherlands: ETC Urban Agriculture Programme, 2001. p. 479-510.
- STÜLP, M.; BRACCINI, A. de L. e; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I. Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e agrotecnologia**. v. 33, n. 5, p. 1240-1248, 2009.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p. il.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; REGINATO-D'ARCE, M. A. B.; GALLO, P. B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 30, n. 4, p. 463-469, 1995.
- TAVARES, L. C.; RUFINO, C. de A.; BRUNES A. P.; TUNES, L. M. de; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1357-1363, 2013.
- TERUEL, D. A.; DOURADO-NETO, D.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 55-60, 2001.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 29, n. 9, p. 1.389-1.396, 1994.
- THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. G. Report of the Commite on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944. Washington, D. C.: **Transactions of the American Geophysical Union**, 1944. p. 686-693.
- TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; Gonçalves, L. C.; TOMICH, R. G. P. CARVALHO, A. U. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, p. 756-762, 2003.
- TOUREIRO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30, p. 33-47, 2007.
- TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 13, p. 175-190, 1986.
- VALARINI, J. P.; KUWAHARA M. Y. O Mercado da Soja: Evolução da Commodity Frente aos Mercados Internacional e Doméstico. **Jovens Pesquisadores**. v. 4, n. 1, 2007.

VIVAN, G. A.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; BARBOZA, F. da S.; BUSKE, T. C. Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 282-292, 2013.

WILCOX, J. R., CAVINS, J. F. Backcrossing higher seed protein to a soybean cultivar. **Crop Science**, v. 35, n. 4, p. 1036-1041, 1995.

WILCOX, J. R.; CAVINES, J. F. Normal and low lenolenic acid soybean strains. Response to XU, B.; ZHEN, H.; LU, Q.; ZHAO, S. Three new evidences of the original area of soybean. In: World soybean research conference, 4. Buenos Aires, 1989. **Proceedings...** Buenos Aires: A SOJA, 1989, p. 123-130.

ZANON, G. D. **Teor de proteína e de óleo em grãos de soja obtidos sob diferentes tipos de manejo**. 2007. 62 f. Tese (doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2007.

ZHANG, J. Z.; CREELMAN, R. A.; ZHU, J-K. From Laboratory to field. Using Information from Arabidopsis to Engineer Salt, Cold, and Drought Tolerance in Crops. **Plant Physiology**, v. 135, p. 1-7, 2004.