



CAROLINA BILIBIO

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA
CANOLA (*Brassica napus*)**

LAVRAS - MG

2010

CAROLINA BILIBIO

MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA CANOLA (*Brassica napus*)

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

LAVRAS - MG

2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Bilibio, Carolina.

Manejo da irrigação na cultura da canola (*Brassica napus*) /
Carolina Bilibio. – Lavras : UFLA, 2010.
138 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.
Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho.
Bibliografia.

1. Déficit hídrico. 2. Produtividade. 3. Tensão de água no
solo. 4. Lâmina de reposição de água no solo. 5. Oleaginosas. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.7

CAROLINA BILIBIO

MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA CANOLA (*Brassica napus*)

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 06 de abril de 2010.

Dr. Márcio José Santana	IF – Triângulo Mineiro
Dr. Antônio Carlos Fraga	UFLA
Dr ^a . Fátima Conceição Rezende	UFLA
Dr ^a . Joelma Durão Pereira Rezende	UNIS-MG

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho
Orientador

LAVRAS - MG

2010

Ao meu pai Valdemar Bilibio (*in memoriam*); à minha mãe Clarice Lúcia Bilibio; aos meus irmãos: Elisabete, José Garibaldi, Augusto Valdemar e Cristina; à minha tia irmã Anair Segala, aos sobrinhos: Bruna, Juliano (meu afilhado) e Enzo, e a Deus, pela vida e pela força nos momentos que eu sempre mais preciso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Agradeço à família, pelo amor e apoio incondicional de sempre.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras, aos professores que receberam à inscrição e me aceitaram nesta Universidade.

Agradeço ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho, pelos ótimos ensinamentos, ajuda e disposição, tempo e amizade durante o desenvolvimento do doutorado.

Agradeço à Universidade de Kassel, ao professor Dr. Oliver Hensel, pela oportunidade de realizar o doutorado sanduíche nesta Universidade, pela sua dedicação em ajudar, e pela oportunidade de “abrir a minha cabeça” e enxergar um novo universo. Agradeço aos colegas do Departamento de Engenharia Agrícola da UNIKASSEL, pela amizade e acolhida durante a estadia naquele lugar.

Agradeço aos professores, Dr. Antônio Carlos Fraga e Dr. Pedro Castro Neto, pela atenção e orientação durante o desenvolvimento do doutorado.

Agradeço todos os professores do Departamento de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Lavras, em especial ao professor Dr. Elio Lemos da Silva, pelos ótimos ensinamentos durante as aulas de Relação Água-Solo-Planta, e à professora Fátima Conceição Rezende, pelas orientações e correções detalhadas dos artigos.

Agradeço também o carinho, o respeito, a amizade e horas de estudo em conjunto com os colegas: Joaquim Alves de Lima Junior, Lessandro Coll Faria, Henrique Fonseca Elias de Oliveira, Anselmo Augusto de Paiva Custódio, Marcelo Ribeiro Viola, Bruno Leite e Klerisson Milton. Aos Bolsistas, Elisangela Alves de Freitas, Minella Martins, Wellington Alves de Freitas, pelo trabalho compartilhado e amizade. Agradeço a amizade da amiga Selma Ribeiro.

Agradeço ao Edilson dos Santos Pinto (do Pará), pela amizade, disponibilidade e comprometimento em ajudar sempre.

Agradeço ao professor e orientador do mestrado, Dr. Argemiro Luis Brum e ao professor e orientador da Pós-Graduação, MSc Adelar Francisco Baggio, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, por estarem sempre presentes e pelo tempo que dedicaram para enviar as cartas de recomendação, tanto para a UFLA quanto para a UNIKASSEL.

Agradeço à querida professora de inglês, Heloísa Chaves, pela dedicação comprometida com os meus projetos, por todas as aulas diárias, inclusive nos finais de semana, colocando à disposição todo o seu conhecimento. Agradeço à querida doutora Maria Eunice Magalhães Macedo de Pádua, por me receber em Lavras com amor e atenção.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos no exterior.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Agradeço novamente aos meus pais, “eu os seguirei sempre”, e aos meus irmãos, pelo apoio incondicional de sempre. “Eu vos amo muito.”

“E com a água temos produzido tudo que
vive...”

(Doorenbos, J.)

RESUMO GERAL

A preocupação com as condições ambientais, principalmente com o aquecimento global, faz o mundo voltar-se para as questões energéticas devido à contribuição dos combustíveis fósseis para a emissão dos gases poluentes que provocam o efeito estufa. Neste sentido, o Brasil tem recebido destaque, devido à série histórica de políticas públicas voltadas para o incentivo a produção e uso de fontes alternativas de energia. Sabendo-se que a canola é uma cultura com grande potencial de utilização tanto para produção de energia quanto para o consumo humano, e que existem poucos trabalhos experimentais com a cultura irrigada no Brasil, objetivou-se com este estudo avaliar os critérios para o manejo da irrigação que possam ser utilizados por produtores rurais e assim, contribuir com a decisão de quando irrigar e quanto de água aplicar para se obter o máximo potencial produtivo da cultura. Para isso, foram realizados dois experimentos no Brasil e um experimento na Alemanha. Nos dois experimentos realizados no Brasil, avaliou-se o efeito de diferentes tensões de água no solo, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa, 120 kPa, e lâminas de irrigação, 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da lâmina de reposição recomendada, sob os parâmetros vegetativos da cultura, produtividade e qualidade física dos grãos, incluindo a massa específica e o peso de 1000 grãos. No experimento realizado na Alemanha, verificou-se o efeito de diferentes níveis de déficit hídrico, equivalentes a 0%, 30%, 60% da evapotranspiração da cultura, sob os parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade dos grãos, incluindo o teor de proteína e óleo dos grãos. De acordo com a análise de variância, as diferentes tensões de água no solo exerceram influência nos parâmetros vegetativos e produtividade, porém os tratamentos não influenciaram significativamente a qualidade física dos grãos, pelo teste F a 5% de probabilidade. A maior produtividade foi obtida com irrigação realizada sob a tensão de 20 kPa. Não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos quando foram aplicadas diferentes lâminas de reposição de água, devido às precipitações naturais que ocorreram durante a aplicação dos tratamentos. Com relação ao efeito de diferentes níveis de déficit hídrico, os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para os parâmetros vegetativos, exceto a altura das plantas, produtividade e teor de óleo dos grãos. O teor de proteína dos grãos não sofreu influência significativa dos tratamentos. O fator de resposta k_y , indicador da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, foi menor que um para todos os parâmetros vegetativos e produtivos analisados.

Palavras-chave: Irrigação. Canola. Produtividade. Tensão de água no solo. Lâmina de reposição de água no solo.

GENERAL ABSTRACT

Environmental concerns, especially with regard to global warming, make the world turn the focus toward questions about fossil fuel energy due to its emission of pollutant gas that contribute to the greenhouse effect. In this area, Brazil has achieved a position of prominence due to a series of historical public policies encouraging production and use of alternative sources of energy. Knowing that Canola is a crop with great potential for use either in energy production or for human consumption, and that there are few experimental works with the crop that contribute to its expansion in Brazil, the object of this study was to evaluate the criteria for irrigation management that can be used by farmers, especially in the south region of Minas Gerais, for the purpose of increasing crop production and quality of grains in irrigated areas while efficiently using water and energy resources. For this purpose, two experiments were carried out in Brazil and one in Germany. In the Brazilian experiments, the effect of different water tensions was evaluated in the ground (20 kPa, 40 kPa, 80 kPa, 120 kPa) and depths of water (50%, 75%, 100%, 125% and 150% of the recommended depths) under the vegetative, productive and qualitative parameters of the culture and grains, including the specific mass and the weight of 1000 grains. In Germany, an experiment in protected environment was performed under productive, qualitative and vegetative parameters of canola, including content of protein and grain oil, under the different levels of water deficit 0%, 30%, and 60% of crop evaporation. According to the analysis of variables, the different water tensions in the ground influenced the number of pods, number of branches, dry matter of the vegetative part, dry matter of pods, total dry matter and productivity. Nevertheless, the treatments had no influence on the physical quality of grains. The highest productivity was achieved with irrigation carried out under the tension of 20 kPa. Significant differences between the treatments were not verified when different depths of irrigation were applied, due to natural precipitation which occurred during the treatments. In regard to the effect of different levels of hydric stress, the results showed significant differences between the treatments for the following analysed variables: flower length, stalk diameter, number of branches, number of leaves, number of pods, green matter of leaves, green matter of the vegetative part, green matter of pods, total green matter, dry matter of the vegetative part, dry matter of pods, total dry matter, grain yield and grain oil content. The effect of treatments was not verified in the height of plants or in the protein content of grains. The response factor K_y was less than one for all analysed variables.

Keywords: Irrigation. Canola. Yield. Water tension on soil. Depths of irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estádios de desenvolvimento da canola.....	26
Figura 2	Curva de retenção de água no solo para a camada estudada do Latossolo Vermelho Distrófico Típico. UFLA, Lavras-MG, 2008.	47
Figura 3	Parcela experimental UFLA, Lavras-MG, 2008.	48
Figura 4	Plantio da canola UFLA, Lavras-MG, 2008.	50
Figura 5	Leitura da tensão da água no solo com auxílio do tensiômetro, UFLA, Lavras-MG, 2008.....	54
Figura 6	Leitura da tensão da água no solo com auxílio do Watermark®, UFLA, Lavras - MG, 2008.....	54
Figura 7	Temperatura do ar máxima, mínima e média observada durante a condução do experimento. UFLA, Lavras - MG, 2008.....	57
Figura 8	Umidade relativa do ar máxima, mínima e média observada durante a condução do experimento. UFLA, Lavras - MG, 2008.	58
Figura 9	Aspecto visual das plantas de canola submetidas a diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras - MG, 2008.....	61
Figura 10	Efeito de diferentes tensões de água no solo no número de siliquis da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.	63
Figura 11	Efeito de diferentes tensões de água no solo no número de ramos da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.....	64

Figura 12	Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca total (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.	66
Figura 13	Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca das siliquas (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.	67
Figura 14	Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca da parte vegetativa (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.	67
Figura 15	Efeito de diferentes tensões de água no solo na produtividade de grãos (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.	69
Figura 16	Redução relativa da produtividade de grãos da canola em função da redução relativa da lâmina de água aplicada. UFLA, Lavras-MG, 2008.	71
Figura 17	Área experimental da canola UFLA, Lavras - MG, 2008.	82
Figura 18	Redução relativa da produtividade de grãos em função da redução relativa da lâmina de reposição de água aplicada. UFLA, Lavras/MG, 2008.	90
Figura 19	Disposição das unidades experimentais na bancada de metal no interior da casa de vegetação.	100
Figura 20	Aspecto das plantas de canola no dia da colheita. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.	102
Figura 21	Efeito do déficit hídrico no diâmetro do caule (mm) da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.	107
Figura 22	Efeito do déficit hídrico no número de ramos da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.	108

Figura 23	Efeito do déficit hídrico no número de folhas da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	108
Figura 24	Efeito do déficit hídrico no número de siliquas da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	109
Figura 25	Efeito do déficit hídrico na matéria verde total da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009	111
Figura 26	Efeito do déficit hídrico na matéria seca total da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009	111
Figura 27	Efeito do déficit hídrico na produtividade de grãos da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	113
Figura 28	Efeito do déficit hídrico no teor de óleo dos grãos da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009	115
Figura 29	Redução relativa do diâmetro do caule em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	117
Figura 30	Redução relativa do número de ramos em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	118
Figura 31	Redução relativa do número de folhas em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	118
Figura 32	Redução relativa do número de siliquas em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	119

Figura 33	Redução relativa da matéria verde total em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	119
Figura 34	Redução relativa da matéria seca total em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	120
Figura 35	Redução relativa da produtividade dos grãos da canola em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	120
Figura 36	Redução relativa no teor de óleo dos grãos da canola em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Efeitos médios da irrigação nos componentes de rendimento da Canola (<i>Brassica napus</i>).....	25
Tabela 2	Resultado da análise química do solo da área experimental: pH, matéria orgânica (MO), macro e micronutrientes, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e índice de saturação por bases (V). UFLA, Lavras-MG, 2008.	44
Tabela 3	Resultado da análise do teor de areia, silte argila da área experimental. UFLA, Lavras-MG, 2008.	45
Tabela 4	Curva de retenção de água no solo da área experimental UFLA, Lavras-MG, 2008.....	45
Tabela 5	Parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo, segundo modelo de Genutchten (1980), com potencial matricial em kPa e teor de água em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para a área experimental. UFLA, Lavras-MG, 2008.....	45
Tabela 6	Lâminas de água aplicadas (mm) em função de diferentes tensões de água no solo e precipitações ocorridas durante o desenvolvimento do experimento. UFLA, Lavras-MG, 2008.	59
Tabela 7	Parâmetros de irrigação obtidos do controle de água nos diferentes tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 2008.	60

Tabela 8	Análise da variância do número de siliquas, diâmetro do caule (mm), número de folhas, número de galhos e altura das plantas (cm) em função de diferentes tensões de água no solo UFLA, Lavras-MG, 2008	62
Tabela 9	Análise de variância da matéria verde parte vegetativa (kg ha^{-1}), matéria verde siliquas (kg ha^{-1}) e matéria verde total (kg ha^{-1}), em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008.....	64
Tabela 10	Análise de variância da matéria seca da parte vegetativa (kg ha^{-1}), matéria seca siliquas (kg ha^{-1}), matéria seca total (kg ha^{-1}) em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008.....	65
Tabela 11	Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008	68
Tabela 12	Análise de variância do peso de 1000 grãos e da massa específica dos grãos da canola em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008	70
Tabela 13	Lâminas aplicadas (mm) em função das diferentes lâminas de reposição de água no solo e da precipitação. UFLA, Lavras-MG, 2008	85
Tabela 14	Análise de variância do número de siliquas, diâmetro do caule (mm), número de folhas, número de ramos e altura de planta (cm) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo. UFLA, Lavras/MG, 2008	86

Tabela 15	Análise de variância da matéria verde total (kg ha^{-1}) e matéria seca total (kg ha^{-1}) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola. UFLA, Lavras/MG, 2008.....	87
Tabela 16	Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.....	88
Tabela 17	Análise de variância do peso de 1000 grãos e da massa específica dos grãos da canola em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2008.....	89
Tabela 18	Volume de água aplicado em cada tratamento UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	105
Tabela 19	Análise de variância de altura de planta (cm), diâmetro do caule (mm), número de ramos, número de folhas e número de síliquas em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	106
Tabela 20	Análise de variância da matéria verde total (g planta^{-1}) e matéria seca total (g planta^{-1}) em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	110

Tabela 21	Análise de variância da produtividade de grãos (gramas planta ⁻¹) em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	112
Tabela 22	Análise de variância do teor de proteína dos grãos (%), teor de óleo dos grãos (%), em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	114
Tabela 23	Relação entre o déficit hídrico aplicado e a redução nos parâmetros vegetativos (%), produtividade e teor de óleo dos grãos da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009.....	116

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Manejo da irrigação na canola (<i>Brassica napus</i>)	20
1	INTRODUÇÃO GERAL	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Cultura da canola	23
2.2	Irrigação na canola	27
	REFERÊNCIAS	34
	CAPÍTULO 2 Efeito de diferentes tensões de água no solo na canola (<i>Brassica napus</i>)	38
1	INTRODUÇÃO	41
2	MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1	Caracterização da área experimental	43
2.2	Descrição do experimento	47
2.2.1	Delineamento experimental	48
2.2.2	Condução da cultura	49
2.2.3	Parâmetros avaliados	51
2.2.3.1	Parâmetros vegetativos	51
2.2.3.2	Produtividade de grãos	51
2.2.3.3	Qualidade física dos grãos	52
2.2.3.4	Sensibilidade da canola ao déficit hídrico	52
2.3	Irrigação	53
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1	Manejo da água	58
3.2	Análise dos parâmetros vegetativos	60
3.3	Análise da produtividade de grãos	68
3.4	Análise da qualidade física dos grãos	69
3.5	Sensibilidade da canola ao déficit hídrico	71
4	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS	73
	CAPÍTULO 3 Efeito de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola (<i>Brassica napus</i>)	77
1	INTRODUÇÃO	80
2	MATERIAL E MÉTODOS	82
2.1	Caracterização da área experimental	82
2.2	Descrição do experimento	82
2.2.1	Delineamento experimental	83
2.2.2	Condução da cultura	83
2.2.3	Parâmetros avaliados	83
2.3	Irrigação	83

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.1	Manejo da água	85
3.2	Análise dos parâmetros vegetativos	86
3.3	Análise da produtividade de grãos	88
3.4	Análise da qualidade física dos grãos	89
3.5	Análise da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico	90
4	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS	92
	CAPÍTULO 4 Efeito de diferentes níveis de déficit hídrico na canola (<i>Brassica napus</i>)	94
1	INTRODUÇÃO	97
2	MATERIAIS E MÉTODOS	99
2.1	Caracterização da área experimental	99
2.2	Descrição do experimento	100
2.2.1	Delineamento experimental	100
2.2.2	Condução da cultura	101
2.2.3	Parâmetros avaliados	101
2.2.3.1	Parâmetros vegetativos	101
2.2.3.2	Produtividade de grãos	102
2.2.3.3	Qualidade dos grãos	102
2.2.3.4	Sensibilidade da canola ao déficit hídrico	103
2.3	Irrigação	103
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
3.1	Manejo da água	105
3.2	Análise dos parâmetros vegetativos	106
3.3	Análise da produtividade de grãos	112
3.4	Análise da qualidade de grãos	113
3.5	Análise da sensibilidade da canola ao déficit hídrico	115
3.5.1	Sensibilidade ao déficit hídrico dos parâmetros vegetativos da canola	115
4	CONCLUSÕES	123
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
	REFERÊNCIAS	1245
	ANEXOS	128

CAPÍTULO 1 Manejo da irrigação na canola (*Brassica napus*)

1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente verifica-se uma preocupação global e crescente com as questões ambientais e energéticas. Ambientais pelas alterações climáticas como elevação das temperaturas e energéticas pela elevada dependência dos combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, um produto que é finito e está concentrado em algumas regiões do mundo (FERREIRA et al., 2006), o que torna os países dependentes e vulneráveis a variação de preços.

O Brasil é considerado um dos melhores exemplos de produção de energia de fontes renováveis do mundo, como os biocombustíveis (KOJIMA; JOHNSON, 2006; MATHEWS, 2007; MACEDO, 2007). A primeira iniciativa do país aconteceu na década de 70, quando este, impulsionado por crises de petróleo e dependência externa de combustível, lançou o Programa Nacional do Álcool – Proálcool e mais recentemente o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, pela publicação da Lei no 11.097/05 divulgada em janeiro de 2005 (NASS et al., 2007). Esta Lei nº 11.097/05 estabelece a inserção da mistura de biodiesel no diesel, com diferentes proporções e prazos. Assim, todo o óleo diesel comercializado a partir de 2008 deverá conter 2% de biodiesel, denominado de B2 e a partir de janeiro de 2013, este percentual passará para 5%, denominado de B5 (BRASIL, 2007).

Para atender a demanda de óleo gerada pelo programa federal, há necessidade de desenvolver novas culturas e cultivares com grande potencial produtivo de óleo e desenvolver ou adaptar novas tecnologias de produção que proporcionem aumento de produtividade das culturas oleaginosas, evitando assim, a expansão da monocultura em áreas protegidas e a competição com alimentos (REVISTA ADMINISTRAÇÃO NO MILÊNIO, 2007; PADULA, 2007; BRASIL, 2007).

A irrigação é uma tecnologia disponível para atingir o máximo potencial produtivo das culturas em regiões que apresentam períodos de deficiência hídrica, muito comum em países tropicais e subtropicais. Atualmente a irrigação é responsável por 44% dos alimentos produzidos no planeta (CHRISTOFIDIS, 2006).

A canola é a terceira oleaginosa mais produzida no mundo (TOMM, 2005), é a terceira maior fonte de óleos comestíveis, atrás da soja e a palma. A canola pode contribuir com a expansão do agronegócio brasileiro, já que se adapta como cultura de safrinha em regiões agrícolas do centro-oeste brasileiro (TOMM, 2005).

O uso da irrigação na canola foi estudado por Cordeiro (1997) no município de Viçosa, Minas Gerais, semeada no mês de junho. O autor concluiu que é viável o cultivo da cultura sob sistema de irrigação neste período.

Poucos são os estudos realizados no Brasil sobre o manejo ideal da irrigação na canola, por isso o objetivo geral deste trabalho foi definir os critérios para o manejo da irrigação da cultura. Enquanto os objetivos específicos foram:

- Verificar o efeito de diferentes tensões da água no solo e lâminas de reposição de água nos parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade física dos grãos da canola.
- Estudar o efeito de diferentes níveis de déficit hídrico nos parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade dos grãos, incluindo o teor de óleo e de proteína dos grãos.
- Ajustar modelos de regressão dos parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade dos grãos da canola como variáveis dependentes das tensões de água no solo, das lâminas de reposição de água e níveis de déficit hídrico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da canola

A canola é uma oleaginosa de inverno, desenvolvida a partir do melhoramento genético da colza (TOMM, 2005; TOMM, 2007b) e têm apresentado no Brasil um teor de 38% de óleo nos grãos. A canola pode ser utilizada na alimentação humana, no uso industrial, ou como adubo verde. No Brasil a participação do óleo de canola no mercado de óleos para alimentação humana é menor que 1%, enquanto em países como os EUA são superiores a 20% (TOMM, 2005).

Atualmente a canola é cultivada em 33 mil hectares no Brasil (TOMM, 2007b). A primeira variedade de canola foi desenvolvida por pesquisadores canadenses por meio do cruzamento de uma planta que apresentava baixo teor de ácido erúico e outra que apresentava baixo teor de glucosinolatos. Cultivares semelhantes foram desenvolvidas na Europa e denominadas de duplo zero (TOMM, 2008). A colza, planta que deu origem a canola, apresenta de 25% a 50% de teor de ácido erúico enquanto que a canola apresenta menos que 2%. Esta elevada taxa de ácido erúico impossibilita o uso da colza para a alimentação humana (CORDEIRO, 1997), já que estes componentes podem causar lesões no coração e redução de crescimento nos animais (LAJOLO et al., 1991; AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2008).

No Brasil, a pesquisa com canola iniciou em 1974, pela Cooperativa Regional Tríticola Serrana (COTRIJUÍ, Ijuí, Rio Grande do Sul), com materiais originários do Canadá e da Alemanha. Posteriormente as pesquisas concentraram-se no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT – Embrapa Passo Fundo, Rio Grande do Sul) entre 1979 e 1987 (CORDEIRO, 1997). Nos

anos 80 foi introduzida também no Paraná, em 2003 em Goiás (TOMM et al., 2004) e em 2006 no Mato Grosso do Sul (TOMM et al., 2007a).

A canola faz parte da família Brassicaceae, gênero *Brassica* (DIAS, 1992). É uma planta herbácea anual, com raiz pivotante e grande número de raízes secundárias fasciculadas. A haste é ereta, ascendente, ramificada e de cor verde. As flores são hermafroditas e possuem pétalas amarelas, com tamanho de 1,2 a 1,8 cm de diâmetro. O fruto é uma síliqua, um fruto capsular seco, alongado e bivalvo, com cerca de 5 a 7 cm de comprimento e 3 a 4 mm de espessura, com sementes que variam de 20 a 30 por síliqua. As síliquas são deiscentes, já que as sementes caem ao solo com facilidade depois de maduras. O peso de mil sementes varia de 4 a 6 gramas. As sementes são formadas por um embrião, com dois cotilédones, são ovoides, com um a dois mm de diâmetro (CONTERJNIC et al., 1991; DIAS, 1992).

A temperatura mínima para o crescimento da canola é de 0 °C a 5 °C, sendo que a faixa ideal é de 21°C (CANOLA COUNCIL OF CANADÁ, 2003). A soma térmica da cultura, que representa a medida de tempo biológico que leva em conta o efeito da temperatura nos processos fisiológicos da planta (MARTINS et al., 2007), é de 1040 °C a 1100 °C (MILLÉO; DONI FILHO, 2008).

A adequada umidade do solo proveniente da irrigação tem uma grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas quando comparadas com a canola cultivada em sistema de sequeiro (CANOLA COUNCIL OF CANADÁ, 2003; CORDEIRO, 1997), como demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 Efeitos médios da irrigação nos componentes de rendimento da Canola (*Brassica napus*).

Uso da água	Nº de ramos	Nº de siliquas	Nº de sementes	Peso de 100 sementes	Produtividade de grãos	
mm ha ⁻¹	por planta	por siliqua	gramas	kg ha ⁻¹		
Sequeiro	210	3,5	48	15,2	3,09	922
Irrigação reduzida	282	3,9	54	18,9	3,22	1537
Irrigação normal	369	4,0	61	20,3	3,48	2463

Fonte: Canola Council of Canadá (2003).

A canola exige um bom preparo do solo para facilitar o enraizamento (DIAS, 1992). A cultura responde a fertilização nitrogenada (TAYLOR et al., 1991; WRIGHT et al., 1988; SMITH et al., 1988) e fosfatada, sendo que o aproveitamento do nitrogênio está relacionado com a umidade do solo. A deficiência de nitrogênio reduz a produtividade e a aplicação deste nutriente pode ser de forma parcelada, aplicando-se 1/3 na sementeira e 2/3 40 dias após a emergência (TOMM, 2007b). A canola é uma cultura exigente em enxofre, uma dose de 45 kg ha⁻¹ deste elemento é recomendada (MALAVOLTA, 1984).

A quantidade de semente utilizada por hectare varia de 3 a 6 kg ha⁻¹ e a densidade indicada é de 40 plantas m⁻² (TOMM, 2007b).

A colheita é a etapa mais crítica do cultivo da canola, já que nem todas as siliquas se formam e amadurecem ao mesmo tempo (CONTJERNIC et al., 1991). A canola atinge a maturação fisiológica com 35% de umidade, e a partir deste momento perde água até atingir o ponto de colheita, momento em que a umidade varia de 9% a 15% e é indicada pela coloração das sementes. Com 45% de umidade, as sementes apresentam coloração verde clara, com 30%

apresentam coloração marrom, com 15% castanho-escuro e com 10% coloração negra (BRAGACHINI et al., 1992 apud CORDEIRO, 1997).

O desenvolvimento da planta da canola pode ser dividido em estádios e a duração de cada estádio é influenciada pela temperatura, umidade, luz, nutrição e variedade (CANOLA COUNCIL OF CANADÁ, 2003). Os estádios de desenvolvimento da canola, desenvolvido pela BASF, Bayer, Ciba-Geigy e Hoechst, denominado de BBCH sistema decimal, é demonstrado na Figura 1.

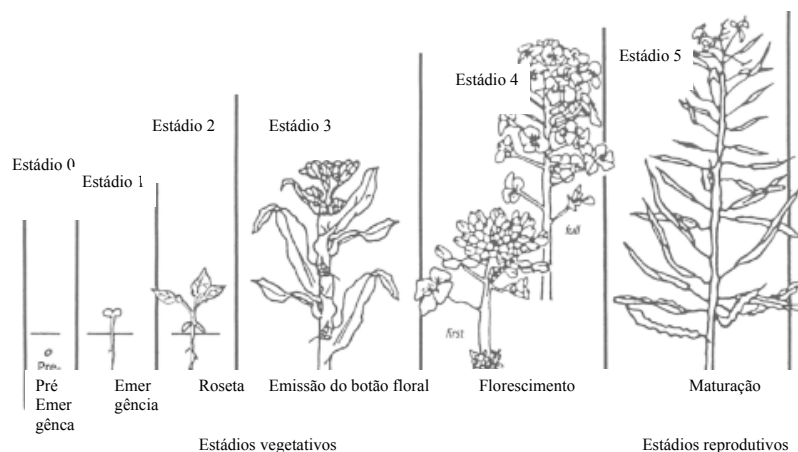


Figura 1 Estádios de desenvolvimento da canola.

Fonte: Canola Council of Canadá (2003).

As informações a respeito da composição do óleo da canola, que inclui o percentual de ácido erúico e a composição dos ácidos graxos são fundamentais para as empresas de extração no controle da qualidade, e ainda na confiabilidade da utilização de produtos oriundos da industrialização das sementes de canola (LAJOLO et al., 1991).

Nas regiões Sul e Centro-oeste do Brasil e no Paraguai, vários produtores têm colhido em torno de 30 sacas ha^{-1} (1.800 kg ha^{-1}), com custos variáveis de 12 sacas ha^{-1} (720 kg ha^{-1}) (TOMM, 2005). Na Europa, na Austrália e no Canadá o cultivo de canola, reduz a ocorrência de doenças nas culturas subsequentes, contribuindo para o maior rendimento e qualidade do trigo (TOMM, 2006).

2.2 Irrigação na canola

Irrigação é o método artificial de aplicação de água na agricultura, que tem a finalidade de suprir as necessidades hídricas das plantas, em caráter total ou suplementar. As primeiras iniciativas ligadas à irrigação no mundo aconteceram no Egito (LÉO; HERNANDEZ, 2001), há mais de 5000 anos, nas margens do Rio Nilo, quando a civilização construiu reservatórios para armazenar a água do Rio e posteriormente irrigar as lavouras. Atualmente a irrigação é utilizada em 18% da área cultivada no planeta (BRASIL, 2006). O mundo dispõe de 400 milhões de hectares com características adequadas para uso da irrigação, três quartos desta área localiza-se em países em desenvolvimento, os quais estão mais propensos a sofrer com escassez de água no futuro (STOCKLE, 2010).

No Brasil, a irrigação é utilizada em 5,89% da área plantada e responde por aproximadamente 16% da safra de alimentos e 35% do valor de produção (BRASIL, 2006). Visualiza-se desta forma os ganhos de produtividade e de valor agregado com a qualidade dos produtos proporcionados pela tecnologia da irrigação, vantagens que podem ser obtidas a um custo inferior a outras técnicas como expansão da área de sequeiro e importação de alimentos (GONZAGA NETO, 2000).

Os benefícios da agricultura irrigada são conseguidos com a utilização de 70% do consumo de água no mundo, com uma grande variação entre países, 88% na África e menos que 50% na Europa (STOCKLE, 2010). Água e nutrientes são os maiores *inputs* de uma cultura, e o estudo cuidadoso do comportamento das culturas sob diferentes quantidades de água e nutrientes é imperativo para administrar estes *inputs* e aumentar o rendimento e a eficiência do uso da água (MANDAL et al., 2006; ZHANG et al., 2006).

A otimização do uso da água por meio do adequado manejo da irrigação foi estudada por alguns autores. Mandal et al. (2006) estudaram o efeito da irrigação e aplicação de nutrientes no crescimento, produtividade e eficiência do uso da água da mostarda indiana (*Brassica juncea*) no centro da Índia. Para isso foi conduzido um experimento no Instituto Indiano de Ciências do Solo, Bhopal. Foram aplicados três regimes de irrigação: 60 mm pré-plantio e ausência total da irrigação pós plantio (I_{60}); 60 mm pré-plantio e 60 mm pós plantio (I_{120}), no florescimento da cultura; e 60 mm pré-plantio, 60 mm no estágio de roseta, 60 mm no florescimento (I_{180}); e três tratamentos com aplicação de nutrientes: (F_0) sem fertilizante/material orgânico; (F_{100}) 100% NPK; e ($F_{100}M_{100}$) com 100% NPK e 10 Mg ha⁻¹ de material orgânico. O experimento foi repetido em três períodos, 1998-2001. Os autores verificaram que a produtividade de grãos foi maior, equivalente a 1.736 kg ha⁻¹, no tratamento com três irrigações e com 100% NPK mais material orgânico ($I_{180}F_{100}M_{10}$). Além disso, verificaram que o rendimento de grãos com três irrigações e com 100% NPK ($I_{180}F_{100}$), comparado com o tratamento com duas irrigações e com 100% NPK mais material orgânico ($I_{120}F_{100}M_{10}$) foi estatisticamente similar, equivalentes a 1.431 kg ha⁻¹ e 1.440 kg ha⁻¹ respectivamente. Isso indica que a aplicação de material orgânico em conjunto com NPK poderia economizar uma irrigação pós plantio sem comprometer a produtividade da cultura.

Taylor et al. (1991) estudaram o efeito da aplicação de nitrogênio e irrigação no rendimento de óleo, acumulação de nitrogênio e uso da água na canola (*Brassica napus* L.), cultivar Marnoo, implantada na região irrigada de Goulburn Murray, Austrália. Os tratamentos referentes ao uso da irrigação aplicados foram: (1) área de sequeiro (R_f) e (2) irrigação realizada quando o déficit hídrico acumulava 50 mm (I_{50}). Os tratamentos referentes ao uso do nitrogênio foram: 0 kg ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, ou 200 kg ha⁻¹ (N_0 , N_{50} , N_{100} , N_{200}) no plantio ou aplicada parcelada de 20/80 ($N_{20/80}$), e 50/50 ($N_{50/50}$) kg N ha⁻¹ no plantio e no estágio de roseta, respectivamente. As irrigações foram realizadas quando a evaporação do tanque classe A menos a chuva aproximava-se de 50 mm. O experimento foi repetido em dois períodos: 1986 – 1987. Os autores verificaram que o tratamento I_{50} apresentou uma produtividade de 360 g m⁻² enquanto a média da produtividade do tratamento R_f foi de 270 g m⁻². A produtividade de grãos aumentou em função da aplicação de nitrogênio no tratamento I_{50} quando 100 kg ha⁻¹ ou 200 kg ha⁻¹ foram aplicados. Porém, a resposta da produtividade a aplicação de nitrogênio foi inversamente proporcional no tratamento sem irrigação (R_f). Com relação aos componentes do rendimento, os autores verificaram que o número de síliquas foi significativamente maior no tratamento irrigado no ano de 1987, o mesmo efeito não foi verificado no ano de 2006, mas as aplicações de nitrogênio influenciaram o número de síliquas nos dois períodos analisados. O peso de 1000 sementes foi significativamente afetado pela irrigação, a média dos tratamentos R_f e I_{50} foram 2,7 e 3,0 mg semente⁻¹ em 1986 e 2,8 e 3,1 mg semente⁻¹ em 1987. A aplicação de nitrogênio não influenciou o peso das sementes. A concentração de óleo foi significativamente aumentada pela irrigação, mas decresceu pela aplicação de nitrogênio. O teor de óleo variou de 46,4% no tratamento N_0 para o mínimo de 40,6% no tratamento N_{200} . Apesar de o nitrogênio diminuir o teor de óleo nos grãos, ele aumenta a produção total de

óleo. Os autores estudaram ainda a eficiência do uso da água em relação aos grãos e a biomassa e encontraram: 7,5 e 23 kg ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente.

Wright et al. (1988) estudaram o efeito da utilização da irrigação e aplicação de nitrogênio na produção da canola (*Brassica napus*) no sudeste da Austrália. Os autores verificaram a resposta da canola a dois tratamentos de irrigação (com irrigação e sem irrigação) e 6 tratamentos com aplicação de diferentes doses de nitrogênio. A matéria seca e o rendimento de grãos foram maiores com aplicações de nitrogênio sob irrigação, comparativamente aos resultados ao tratamento da área de sequeiro. A maior produtividade obtida foi de 3.800 kg ha⁻¹ no tratamento irrigado e com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado na semeadura.

Smith et al. (1988) avaliaram o efeito da irrigação e aplicação de nitrogênio no rendimento de óleo e concentração de nitrogênio nos grãos da canola cultivada na Austrália. Os autores verificaram que o teor de óleo nos grãos aumentou com a irrigação, mas decresceu com a aplicação de nitrogênio, porém, a aplicação de nitrogênio aumentou a produção de óleo por hectare devido ao aumento da produtividade de grãos. Além disso, os autores concluíram que há uma relação inversa entre o teor de óleo e de proteína dos grãos, o máximo conteúdo de óleo verificado foi de 46% no tratamento irrigado, quando o teor de N nos grãos era de 2,5%, já quando o teor de óleo dos grãos caiu para 38% devido a aplicação de nitrogênio no solo, o teor de nitrogênio nos grãos subiu para 4%.

Champolivier e Merrien (1996) realizaram um experimento em ambiente protegido na França, para estudar o efeito do déficit hídrico aplicado em diferentes estádios de desenvolvimento da canola sob componentes do rendimento e qualidade das sementes da cultura. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 7 kg. Os tratamentos consistiram da deficiência hídrica induzida progressivamente de duas semanas de déficit hídrico (suspensão total

da irrigação) de acordo com o estágio de desenvolvimento escolhido, sendo: T0: testemunha; T1: alongamento do caule; T2: formação das flores; T3: antese; T4: primeira síliqua no ramo principal; T5: enchimento dos grãos na síliqua; T6: semente com coloração marrom. O manejo da irrigação foi realizado pela verificação do peso dos vasos realizado duas vezes por semana, repondo a quantidade de água evapotranspirada, exceto durante a aplicação dos tratamentos, os quais recebiam a quantidade total de água no final do período do déficit. Os parâmetros avaliados foram: número de ramos produtivos (com presença de síliquas), número de síliquas (aquelas com no mínimo uma semente), número de sementes por síliqua e peso de 1000 sementes. Os autores verificaram que a altura das plantas foi reduzida somente quando o déficit foi aplicado no estágio 2, entre o alongamento do caule e formação das flores. A quantidade total da matéria seca produzida foi reduzida em todos os tratamentos aplicados depois do alongamento do caule, o maior efeito foi observado no tratamento quatro.

O peso dos grãos foi reduzido significativamente (35%) no ramo principal comparado com o tratamento controle nos tratamentos 3 e 4, aplicados no final do florescimento. A produtividade de toda a planta sofreu uma redução significativa: T4: 48%; T3: 47%; T6: 32% e T5: 27%. O número de sementes por síliqua no ramo principal foi reduzido somente nas plantas do tratamento 3: 31% e T4: 23%, já em toda a planta o período mais sensível foi entre os estádios G1 (Primeira síliqua no ramo principal) e G4 (enchimento de grãos no ramo principal) +10 dias (CHAMPOLIVIER; MERRIEN, 1996).

O número de síliquas planta⁻¹ no ramo principal não foi afetado significativamente pelos tratamentos, porém apresentou redução em relação ao tratamento controle nos tratamentos T2, T3 e T4, 8%, 19% e 14% respectivamente. Considerando a planta inteira, a redução no número das síliquas foi de 30% comparada com o controle, e o estágio mais sensível foi

entre a antese e o enchimento de grãos +10 dias (CHAMPOLIVIER; MERRIEN, 1996).

Os tratamentos não afetaram significativamente o peso de 1000 sementes no ramo principal, somente os dois últimos tratamentos reduziram o peso de 1000 grãos (6 e 12%, respectivamente). Na planta inteira, devido ao grande do número de sementes (69% em relação ao tratamento controle), o peso de 1000 sementes foi aumentado (efeito compensatório), mesmo quando o déficit aconteceu no G4 (enchimento dos grãos no ramo principal + 10 dias) (CHAMPOLIVIER; MERRIEN, 1996).

Com relação ao teor de óleo, o T2, T3, T5 e T6, afetaram na proporção de 6%, 14%, 12 e 10%, respectivamente. Foi verificada uma correlação negativa entre a concentração de óleo e de proteína dos grãos. Todos os tratamentos (exceto T1) levaram a um aumento na concentração de proteína de aproximadamente 10% comparada com o tratamento controle. Por fim, os autores concluíram que o período mais sensível da cultura ao déficit hídrico é entre a antese e o enchimento de grãos+10 dias, que corresponde ao período entre florescimento e desenvolvimento das síliquas (CHAMPOLIVIER; MERRIEN, 1996).

Faraji et al. (2009) estudaram os efeitos do stress de altas temperaturas e irrigação suplementar no rendimento de sementes da canola cultivada no Irã. O stress das altas temperaturas foi aplicado por meio de diferentes datas de plantio. A irrigação foi realizada três vezes em diferentes estádios, alongamento do caule, florescimento e enchimento de grãos. A umidade do solo antes da irrigação foi verificada para efetuar o cálculo da lamina de irrigação necessária até a condição de capacidade de campo. Os autores verificaram diferença significativa para a produtividade de grãos entre o tratamento irrigado e não irrigado nos dois períodos analisados, 2005-2006: 2.576 kg ha⁻¹ no tratamento irrigado e 2095 kg ha⁻¹ no tratamento não irrigado; 2006-2007, de 2233 kg ha⁻¹

no tratamento irrigado e 1987 kg ha^{-1} no tratamento não irrigado. Os autores concluíram que a irrigação complementar nos estádios críticos da cultura pode ser um bom manejo para garantir a produtividade de grãos esperada da canola na região do mediterrâneo.

REFERÊNCIAS

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **The biology of *Brassica napus* L. (canola)**. 2008. Disponível em:

<[http://www.health.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/canola-3/\\$FILE/biologycanola08_2.pdf](http://www.health.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/canola-3/$FILE/biologycanola08_2.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2010.

BRASIL. Governo Federal. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel**. 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/index.html>>. Acesso em: 20 jun. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos**. 2006. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2007.

CANOLA COUNCIL OF CANADÁ. **Canola growers manual**. 2003. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx>. Acesso em: 20 jun. 2008.

CHAMPOLIVIER, L.; MERRIEN, A. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. **European Journal of Agronomy**, Paris, v. 5, n. 3/4, p. 153-160, 1996.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília: GWA, 2006. Disponível em: <<http://www.pt.genderandwater.org/page/2762>>. Acesso em: 28 jul. 2007.

CONTERJNIC, S.; AMARO, E.; MORENO, C. M. **Colza: cultivo, cosecha y comercialización**. Buenos Aires: Departamento de Estudios y Prensa y Difusión de AACREA-CREA, 1991. 18 p. Fascículo de divulgación.

CORDEIRO, L. A. M. **Avaliação de características agronômicas e qualidade de sementes de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) cultivada em Viçosa – MG**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 103 p.

DIAS, J. C. A. **Canola/colza**: alternativa de inverno com perspectiva de produção de óleo comestível e energético. Pelotas: Embrapa-CPATB, 1992. 46 p.

FARAJI, A. et al. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 132-140, Jan. 2009.

FERREIRA, F. Y. et al. **Biodiesel**: potencializadores da performance brasileira no mercado energético internacional. 2006. Disponível em: <<http://www.mackenzie.com.br/jovenspesquisadores/3.5/3.5.04.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2007.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. **Revista dos Agrônomos**, Ilha Solteira, v. 3, n. 1, p. 14-20, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigabr.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2008.

KOJIMA, M.; JOHNSON, T. Biofuels for transport in developing countries: socioeconomic considerations. **Energy for Sustainable Development**, Washington, v. 10, n. 2, p. 59-66, June 2006.

LAJOLO, F. M. et al. Chemical composition and toxic compounds in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars grown in Brazil. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 11, p. 1933-1937, 1991.

LÉO, L. F. R.; HERNANDEZ, F. B. T. O futuro da irrigação nos países de terceiro mundo. **Correio da Ilha**, Ilha Solteira, v. 10, n. 1.361, p. 2, jul. 2001.

MACEDO, I. C. The current situation and prospects for ethanol. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico**: I. capim colômbio, II. colza, III. sorgo sacarino. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60 p. (Boletim técnico, 3).

MANDAL, K. G. et al. Assessment of irrigation and nutrient effects on growth, yield and water use efficiency of Indian mustard (*Brassica juncea*) in central India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 85, n. 3, p. 279-286, 2006.

MARTINS, F. B.; SILVA, J. C.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocromo em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 003, p. 373-381, maio/jun. 2007.

MATHEWS, J. A. Biofuels: what a biopact between north and south could achieve. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 35, p. 3550-3570, Mar. 2007.

MILLÉO, M. V. R.; DONI FILHO, M. **Marcha de absorção de enxofre por plantas de canola**. 2008. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/agraria/article/viewPDFInterstitial/973/799>>. Acesso em: 20 abr. 2008.

NASS, L. L.; PEREIRA, P. A. A.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 6, p. 2228-2237, 2007.

PADULA, A. D. A hora de produzir alimento e bionergia. **Revista Administração no Milênio**, Porto Alegre, v. 4, n. 18, p. 22, out. 2007.

REVISTA ADMINISTRAÇÃO NO MILÊNIO. Porto Alegre: UFRGS, v. 4, n. 18, out. 2007. 22 p.

SMITH, C. J.; WRIGHT, G. C.; WOODROOFE, M. R. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south-eastern Australia: II. nitrogen accumulation and oil yield. **Irrigation Science**, New York, v. 9, n. 1, p. 15-25, 1988.

STOCKLE, C. O. **Environmental impact of irrigation**: a review. Washington: Washington State University, 2010. Disponível em: <<http://www.swwrc.wsu.edu/newsletter/fall2001/IrrImpact2.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2010.

TAYLOR, A. J.; SMITH, C. J.; WILSON, I. B. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). **Fertilizer Research**, Holanda, v. 29, n. 3, p. 249-260, 1991.

TOMM, G. O. Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4-8, jul./ago. 2006.

TOMM, G. O. **Canola**: planta que traz benefícios à saúde humana e cresce em importância no Brasil e no mundo. 2008. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/a_planta_que_Deus_criou.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2008.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola em Goiás, em 2004**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola no Mato Grosso do Sul, 2006**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007a. 18 p.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Passo Fundo, 2007b. 32 p.

TOMM, G. O. **Situação em 2005 e perspectivas da cultura de canola no Brasil e em países vizinhos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 12 p.

WRIGHT, G. C.; SMITH, C. J.; WOODROOFE, M. R. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south-eastern Australia: I. growth and seed yield. **Irrigation Science**, New York, v. 9, n. 1, p. 1-13, 1988.

ZHANG, B. et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid área. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 28-42, 2006.

CAPÍTULO 2 Efeito de diferentes tensões de água no solo na canola
(*Brassica napus*)

RESUMO

O manejo correto da irrigação, que visa determinar precisamente quando e quanto de água aplicar, é uma das ferramentas disponíveis para a redução de gastos com energia elétrica e água, oportunizando ainda a obtenção do máximo potencial produtivo das culturas em áreas irrigadas. Com o objetivo de determinar o momento ideal para iniciar a irrigação na canola por meio da tensão da água no solo, foi realizado um experimento, no departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, entre os meses de junho e outubro de 2008. O experimento foi conduzido com um delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 4 repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram da aplicação de diferentes tensões de água no solo: 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa e 120 kPa. Foram avaliados os parâmetros vegetativos da cultura, produtividade e qualidade dos grãos, incluindo a massa específica e o peso de 1000 grãos. De acordo com a análise de variância, as diferentes tensões de água no solo exerceram influência no número de siliquis, número de ramos, matéria seca da parte da parte vegetativa, matéria seca das siliquis, matéria seca total e produtividade, pelo teste F a 5% de probabilidade. Já a qualidade física dos grãos, peso de 1000 grãos e massa específica, não foram influenciados pelos diferentes tratamentos. A água retida a 0,25 m de profundidade, a uma tensão de 20 kPa, é um bom indicativo do momento correto para iniciar as irrigações na canola, já que a maior produtividade foi obtida neste tratamento. A sensibilidade da produtividade de grãos ao déficit hídrico, representado pelo fator de resposta k_y , foi menor que um, indicando que com irrigação suplementar, a redução da produtividade foi proporcionalmente menor do que a redução da água aplicada.

Palavras-chave: Irrigação. Canola. Produtividade. Tensão de água no solo.

ABSTRACT

Correct irrigation management aims to precisely determine the right amount of water at the right time. Also, it is one of the tools available to reduce energy and water costs, enabling maximum crop production. Considering these aspects, a study was conducted to determine the effect of different soil water tensions in canola crop. For this purpose, an experiment was carried out in Brazil, at the department of Agricultural Engineering at the Federal University of Lavras, between April and October 2008. The experiment was performed in entirely randomised design, with 4 treatments and 4 repetitions, totalising 16 experimental plots. Different water tensions were applied to soil: 20, 40, 80 and 120 kPa. Crop vegetative and productive parameters and qualitative grain parameters were evaluated. According to the variance analysis, the different soil water tensions influenced the number of pods, number of branches, dry matter, dry matter of the vegetative part, dry matter of pods, total dry matter and productivity, by F test at 5% probability. Physical quality of grains, weight of 1000 grains and specific matter were not affected by the different treatments. The water retained at 25 cm depth at 20 kPa tension proved to be a good indicator of the correct amount of water to start irrigation of canola crop, as the highest grain yield was achieved with this treatment. Grain yield sensitivity to water deficit, represented by the yield response factor k_y , was lower than 1, indicating that supplementary irrigation caused proportionally smaller yield reduction than the reduction in applied water.

Keywords: Water irrigation. Canola. Productivity. Water tension on soil.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente verifica-se uma atenção maior por parte dos produtores para as culturas que podem ser utilizadas na entre-safra na região do cerrado brasileiro, para maximizar a rentabilidade da terra e assim, garantir o retorno mais rápido dos investimentos.

Algumas regiões irrigadas do mundo, como a Austrália, utilizam a canola na entressafra, com grande produtividade de grãos resultante da irrigação. No Brasil, a cultura apresenta igualmente potencial para ser cultivada na safrinha, mas neste período ocorre deficiência hídrica que pode comprometer o desenvolvimento da canola, induzindo assim, a necessidade da irrigação.

A irrigação sozinha não garante aumento de produtividade. O manejo da irrigação é igualmente um fator fundamental para garantir o rendimento esperado das culturas, já que a falta ou o excesso de água podem ser prejudiciais ao desenvolvimento da cultura (RESENDE; ALBUQUERQUE, 2002; GOMES; TESTEZLAF, 2004; SILVA et al., 1999; ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

O momento ideal para se efetuar a irrigação pode ser determinado pela tensão de água no solo, já que esta técnica apresenta estreita relação com índices de produtividade e possui instrumental disponível no mercado (SILVA et al., 1999). Vários trabalhos têm sido desenvolvidos para determinar o manejo da irrigação de algumas culturas com o auxílio de tensiômetros.

Silva et al. (2008) estudou o efeito de duas tensões de água no solo na produtividade do trigo na região do cerrado brasileiro. Os autores verificaram que a irrigação realizada com a tensão de 50 kPa na camada de 0-0,20m proporcionou maior produtividade de grãos.

Guerra et al. (2000) avaliou o efeito de diferentes tensões de água no solo na produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). As aplicações de água foram feitas quando a tensão de água no solo, medida a 0,10 m, atingia

valores de 41 kPa, 55 kPa, 75 kPa e 300 kPa. O monitoramento da tensão de água no solo foi feito com tensiômetros e blocos de gesso. A maior produtividade foi obtida quando as irrigações foram realizadas sob a tensão de 41kPa.

Amabile et al. (2004) sugerem a tensão de 60 kPa, monitorada a 0,30m, como o momento ideal para iniciar as regas na cultura da cevada, em áreas do Cerrado do Brasil. Silva et al. (1998) recomendam iniciar a aplicação de água na cultura do milho sob a tensão de 40 kPa na profundidade de 0,10m.

O objetivo deste trabalho foi o de determinar o momento ideal para se iniciar as irrigações na cultura da canola por meio de um experimento conduzido na Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, avaliando-se o efeito de diferentes de tensões de água no solo sob os parâmetros vegetativos da cultura, produtividade e qualidade física dos grãos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no Departamento de Engenharia, da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras – Minas Gerais, no intervalo de junho a outubro de 2008, período denominado de entressafra, no qual a cultura implantada caracteriza-se como “safrinha”. O município está localizado na Região Sul do Estado de Minas Gerais, a 918 m de altitude, 21 °14’ de latitude sul e 45 °00’ de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta um clima Cwa, ou seja, clima temperado suave, chuvoso, com inverno seco, temperatura média do mês mais frio, inferior a 18 °C e superior a 3 °C, o verão apresenta temperatura média do mês mais quente, superior a 22 °C (DANTAS et al., 2007).

As condições ambientais foram monitoradas com o auxílio de uma estação meteorológica automática localizada nas proximidades do experimento. Foram coletados dados diários de variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa (UR), velocidade do vento e precipitação.

O solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico Típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999; KOETZ, 2006) foi preparado com uma subsolagem, uma aração e uma gradagem. A caracterização física e química do solo, na época de implantação, foi realizada no Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras com amostra de solo retirada na camada de 0,00 –0,20 m.

A análise química incluiu a análise do pH, matéria orgânica, macro e micronutrientes, soma de bases, capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e índice de saturação por bases (Tabela 2), teores de argila, silte e areia, (Tabela 3).

A curva de retenção de água no solo foi construída primeiramente com dados do teor de água no solo (%) correspondente à dado potencial matricial aplicado (kPa), como demonstra a Tabela 4.

Os parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo, segundo o modelo de Genutchen (1980), foram obtidos com o auxílio do software SWRC (Soil Water Retention Curve) conforme Dourado Neto et al. (2000), e encontram-se na Tabela 5.

Tabela 2 Resultado da análise química do solo da área experimental: pH, matéria orgânica (MO), macro e micronutrientes, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e índice de saturação por bases (V). UFLA, Lavras-MG, 2008.

Sigla	Descrição	Unidade	Determinação
pH	H ₂ O	-	5,8
P	Fósforo	mg dm ⁻³	2,5
K	Potássio	mg dm ⁻³	69
Ca ²⁺	Cálcio	cmol _c dm ⁻³	2,60
Mg ²⁺	Magnésio	cmol _c dm ⁻³	0,70
H+Al	Acidez potencial	cmol _c dm ⁻³	2,10
SB	Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	3,50
(T)	CTC a pH 7,0	cmol _c dm ⁻³	5,60
t	Capacidade de troca catiônica efetiva	cmol _c dm ⁻³	3,5
V	Saturação de bases	%	62,40
MO	Matéria orgânica	dag kg ⁻¹	3,00
Zn	Zinco	mg _c dm ⁻³	1,90
Fe	Ferro	mg _c dm ⁻³	34,80
Mn	Manganês	mg _c dm ⁻³	45,60
Cu	Cobre	mg _c dm ⁻³	6,00
B	Boro	mg _c dm ⁻³	0,30
S	Enxofre	mg _c dm ⁻³	33,50

Tabela 3 Resultado da análise do teor de areia, silte argila da área experimental. UFLA, Lavras-MG, 2008.

Camada (m)	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	----- dag kg ⁻¹ -----			
0 - 0,20	10	21	69	Muito argilosa

Tabela 4 Curva de retenção de água no solo da área experimental UFLA, Lavras-MG, 2008.

Amostra (m)	Potencial matricial aplicado (kPa)							
	1500	500	100	33	10	6	4	2
% de umidade correspondente								
0-0,20	24,34	27,03	29,59	32,21	39,76	42,95	44,39	62,78

Tabela 5 Parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo, segundo modelo de Genutchten (1980), com potencial matricial em kPa e teor de água em cm³ cm⁻³ para a área experimental. UFLA, Lavras-MG, 2008

Camada	θ_r	θ_s	α	M	n	Coefficiente de ajuste
m	----- cm ³ cm ⁻³ -----		cm ⁻¹			
0-0,20	0,243	0,628	0,3740	0,4046	1,6795	0,928

O modelo matemático para descrição da curva de retenção (ALBURQUERQUE; DURÃES, 2008) de água no solo de Genuchten (1980) é descrito pela Equação 1:

$$\theta(\psi_m) = \theta_r + \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha\psi_m)^n\right]^m} \right) \quad (1)$$

em que:

$\theta(\psi_m)$ = relação funcional entre o teor de água (θ), em base volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), e o potencial matricial (cm)

θ_r = teor de água residual, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

θ_s = teor de água no solo na saturação (igual a porosidade), $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

ψ_m = potencial de água no solo, cm

α = parâmetro com dimensão igual ao inverso da dimensão do potencial (m^{-1})

m e n = parâmetros adimensionais

Substituindo-se os parâmetros do modelo matemático da equação obtidos com o auxílio do software SWRC (Soil Water Retention Curve), obteve-se a Equação 2, ajustada ao solo do experimento.

$$\theta = 0,243 + \left(\frac{0,628 - 0,243}{\left[1 + (0,3740.\psi)^{1,6795}\right]^{0,4046}} \right) \quad (2)$$

A Figura 2 apresenta a curva de retenção de água no solo, obtida com o modelo de Genutchen (1980).

As doses totais de NPK seguiram as recomendações de Tomm (2007) e Cordeiro et al. (1993) sendo: 150 kg ha⁻¹ de N; 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 60 kg ha⁻¹ de K₂O; 2 kg ha⁻¹ de B; 2 kg ha⁻¹ de Zn.

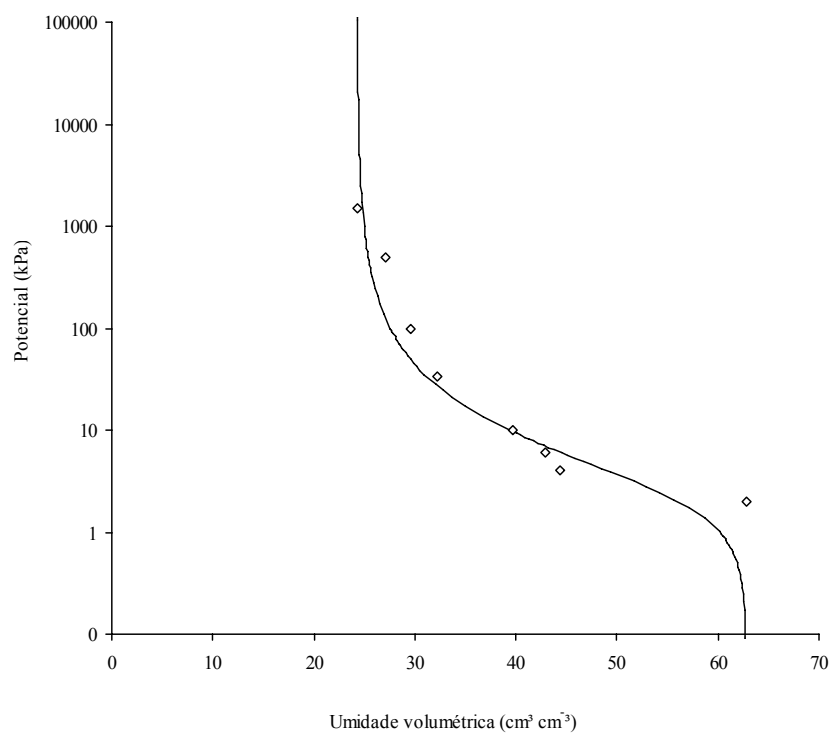


Figura 2 Curva de retenção de água no solo para a camada estudada do Latossolo Vermelho Distrófico Típico. UFLA, Lavras-MG, 2008.

2.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado em uma área experimental de 325,6 m² (37 m x 8,8 m).

2.2.1 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 4 repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Os tratamentos compreendiam 4 tensões de água no solo, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa e 120 kPa (SILVA et al., 1999).

As parcelas experimentais possuíam 4 m de comprimento e 1,6 m de largura ($6,4 \text{ m}^2$), apresentavam 4 linhas de plantio, com um distanciamento entre linhas de 0,40 m e 0,0625 m entre plantas. A área utilizada para as avaliações foi de $2,4 \text{ m}^2$ ($3 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$) correspondente a área central da parcela experimental, como demonstra a Figura 3. O restante da parcela experimental foi considerado como bordadura.

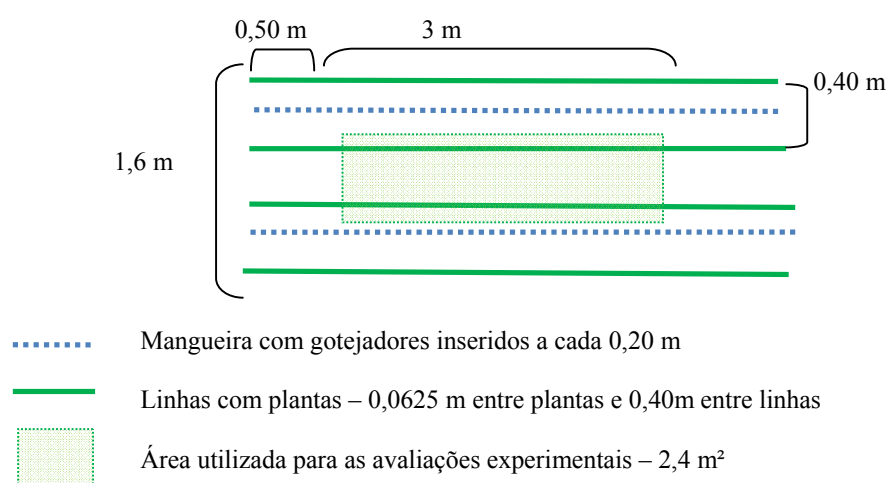


Figura 3 Parcela experimental UFLA, Lavras-MG, 2008.

2.2.2 Condução da cultura

O híbrido utilizado foi Hyola 401. Este híbrido apresenta elevada estabilidade de rendimento em diversos ambientes. O início da floração ocorre no 44º dia e prolonga-se por 19 a 33 dias. O ciclo da cultura estende-se de 107 dias a 135 dias. É o híbrido mais precoce cultivado no Brasil. Apresenta grande resistência ao acamamento. É suscetível à canela-preta (TOMM, 2007).

O plantio foi realizado manualmente (Figura 4) no dia 20 de Junho de 2008 com sementes certificadas fornecidas por um produtor rural da região de Lavras, MG. Para realizar a semeadura, foi feito um sulco com uma profundidade de 0,05 m para depositar o adubo. Posteriormente as sementes foram depositadas em outra depressão com profundidade de 0,015 m.

Após a emergência e estabelecimento das plantas, foram realizados dois desbastes manuais. O primeiro desbaste foi feito 15 dias após a semeadura (entre os dias 05 e 08 de julho de 2008) e o segundo desbaste foi feito 28 dias após a semeadura (entre os dias 18 e 19 de julho de 2008), ajustando-se o número de 15 plantas metro linear⁻¹ e 40 plantas m⁻² (TOMM, 2007).



Figura 4 Plantio da canola UFLA, Lavras-MG, 2008.

Os tratamentos iniciaram 40 dias após a semeadura, no dia 31 de julho de 2008. O atraso para o início dos tratamentos ocorreu devido à dificuldade de implantação da cultura pela manifestação do fungo *Fusarium* (*Fusarium* spp), diagnosticado pelo laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, fazendo com que houvesse necessidade da aplicação semanal de doses de fungicida (produto comercial: Derosal 500 SC na dose de 1 ml litro^{-1} , princípio ativo Carbendazin) para recuperar o *stand* de plantas.

O controle das plantas daninhas foi efetuado com capinas manuais e o controle de insetos foi realizado com a aplicação de inseticida conforme a necessidade.

2.2.3 Parâmetros avaliados

2.2.3.1 Parâmetros vegetativos

Os parâmetros vegetativos avaliados quinzenalmente durante a aplicação dos tratamentos foram: número de folhas; diâmetro do caule (mm) com o auxílio de um paquímetro; altura da planta (cm) com o auxílio de uma trena; número de síliquas e número de ramos.

A matéria verde das síliquas (kg ha^{-1}), matéria verde da parte vegetativa (kg ha^{-1}), e matéria verde total das plantas (kg ha^{-1}) foram verificadas por meio da coleta das plantas correspondentes a um metro linear no centro de cada parcela experimental. As diferentes partes das plantas avaliadas foram separadas, cortadas e pesadas em uma balança eletrônica digital.

A matéria seca das síliquas (kg ha^{-1}), matéria seca da parte vegetativa (kg ha^{-1}), e matéria seca total (kg ha^{-1}) foram realizadas com o auxílio de uma estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura média de 65 °C a 75 °C onde as plantas permaneceram em recipientes de papel perfurado até atingirem peso constante.

2.2.3.2 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi obtida com a coleta das síliquas das plantas localizadas no centro das parcelas experimentais que totalizaram cinco metros lineares. Os grãos foram separados das síliquas, secados ao ar livre até atingir 8% de umidade, pesados e mantidos em câmara fria com temperatura de 10 °C. A análise do efeito dos tratamentos na produtividade foi realizada em kg ha^{-1} .

2.2.3.3 Qualidade física dos grãos

As características físicas dos grãos avaliadas foram: peso de 1000 grãos (gramas) e massa específica (gramas ml^{-1}). Para a análise do peso de 1000 grãos, amostras provenientes de cada tratamento foram subdivididas em 8 repetições de 100 grãos, posteriormente foram pesadas em balança eletrônica digital, utilizando o mesmo número de casas decimais. Após o cálculo da variância, desvio padrão e coeficiente de variação, o resultado da determinação foi calculado multiplicando-se o peso médio de 100 grãos por 10.

A massa específica dos grãos foi determinada com o auxílio de uma balança hectolétrica com capacidade de um litro.

Todos os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo significativo a 5 % de probabilidade, aplicando-se o teste de Tukey para comparação das médias. O efeito dos tratamentos foi estudado por meio de análise de regressão. A análise estatística dos dados foi feita com o Sistema de análise de variância para dados balanceados (Sisvar), versão 4.2 (FERREIRA, 1999).

2.2.3.4 Sensibilidade da canola ao déficit hídrico

A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre a produtividade de grãos foi feita mediante a relação entre a redução relativa da produtividade e a redução relativa da lâmina de irrigação aplicada, dado pelo coeficiente de resposta k_y (DOORENBOS; KASSAN, 1994) – Equação 3 – adaptado pelo autor. O fator de resposta k_y é <1 , quando a queda na produtividade torna-se proporcionalmente menor do que o déficit hídrico aplicado, porém, quando o fator de resposta k_y é >1 , demonstra que a queda relativa da produtividade é maior do que a queda relativa do déficit hídrico aplicado.

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{L_r}{L_m}\right) \quad (3)$$

em que: Y_r - produtividade real obtida; Y_m - produtividade potencial obtida; K_y - coeficiente de resposta da cultura; L_r - lâmina de irrigação real, e L_m - lâmina de irrigação potencial.

A produtividade potencial (Y_m) e a lâmina de irrigação potencial (L_m) foram obtidas dos tratamentos correspondentes à tensão de 20 kPa e a produtividade real (Y_r) e a lâmina de irrigação real (L_r) obtidas dos diferentes tratamentos.

2.3 Irrigação

Até o início dos tratamentos, todas as parcelas receberam a lâmina de 205 mm por meio da irrigação realizada com mangueiras perfuradas a raio *laser* denominadas SANTENO®. Posteriormente as parcelas foram irrigadas com um sistema de irrigação por gotejamento, cujos gotejadores autocompensantes, com vazão média de 3,9 l h⁻¹ foram instalados a uma distância de 0,2 m entre si nas mangueiras de polietileno de diâmetro de 16 mm. Cada parcela possuía duas linhas de gotejadores, que foram colocados entre as linhas de plantio.

A profundidade efetiva do sistema radicular considerado foi de 0,25 m (SILVA et al., 1999). O manejo da irrigação foi realizado a partir da leitura da tensão nos tensiômetros instalados a 0,125 m de profundidade nas unidades experimentais de 20 kPa e 40 kPa. Nas tensões de 80 kPa e 120 kPa foi utilizado o Watermark®, (SILVA, 2005; SILVA, 2007), como demonstram as Figuras 5 e 6.



Figura 5 Leitura da tensão da água no solo com auxílio do tensiômetro, UFLA, Lavras-MG, 2008



Figura 6 Leitura da tensão da água no solo com auxílio do Watermark®, UFLA, Lavras - MG, 2008.

Os tensiômetros foram confeccionados no Laboratório de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Lavras e antes de serem instalados no campo, foram cuidadosamente testados para verificar a ocorrência de vazamentos.

As leituras, fornecidas em bar pelo tensiômetro de punção foram transformadas em kPa e ajustadas por meio da Equação 4.

$$\Psi = L + 0,098.h \quad (4)$$

em que:

Ψ = potencial matricial (kPa)

L = leitura do tensímetro (kPa)

h = altura desde o ponto da leitura no tensiômetro até o centro da cápsula porosa (cm)

Com as tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da curva característica de retenção e do modelo matemático para descrição da curva de retenção de água no solo. De posse dessas umidades e daquela correspondente à capacidade de campo, 10 kPa (KOETZ, 2006; MAROUELLI et al., 1996), e, ainda, considerando o volume de solo presente em cada parcela (4m x 1,6m x 0,25m), foi calculado a lâmina de reposição. Como demonstra a Equação 5.

$$V = \frac{(\theta_{cc} - \theta).V_s}{0,9} \quad (5)$$

em que:

V: volume bruto de água a ser aplicado por parcela (m³)

θ_{cc} - umidade na capacidade de campo (m³ m⁻³)

θ - umidade atual a base de volume (m³ m⁻³)

V_s – volume total de solo (m^3)

0,90 – eficiência do sistema de irrigação localizada (BERNARDO et al., 2006)

O tempo da irrigação foi determinado pela Equação 6.

$$T = \frac{V}{q_{40}} \quad (6)$$

T - tempo de irrigação (min)

V - volume de água a ser irrigado (m^3)

q - vazão de 40 gotejadores em uma parcela ($m^3 h^{-1}$)

As aplicações de água foram suspensas no dia 11 de outubro 2008, cinco dias antes de realizar a colheita da cultura, quando os grãos do terço médio das plantas apresentavam coloração marrom.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento, a temperatura média máxima e mínima observada foi de 27°C e 12,7°C, respectivamente (Figura 7). A umidade relativa média do ar máxima foi de 69,4% e a mínima de 45,24% (Figura 8).

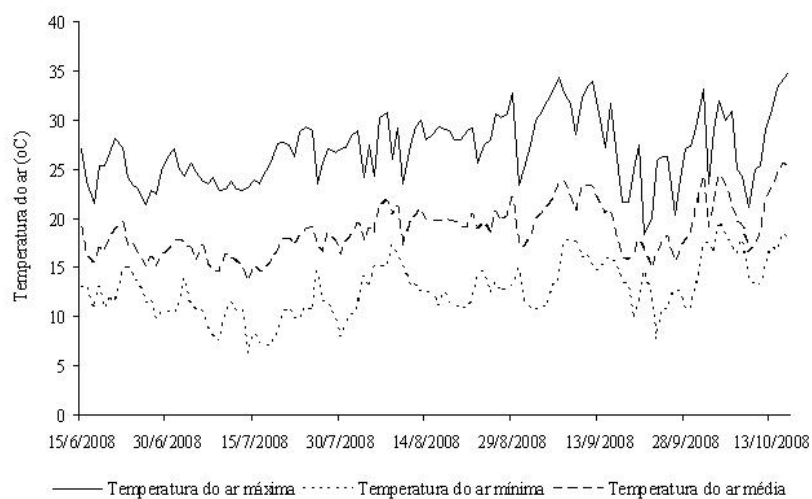


Figura 7 Temperatura do ar máxima, mínima e média observada durante a condução do experimento. UFLA, Lavras - MG, 2008.

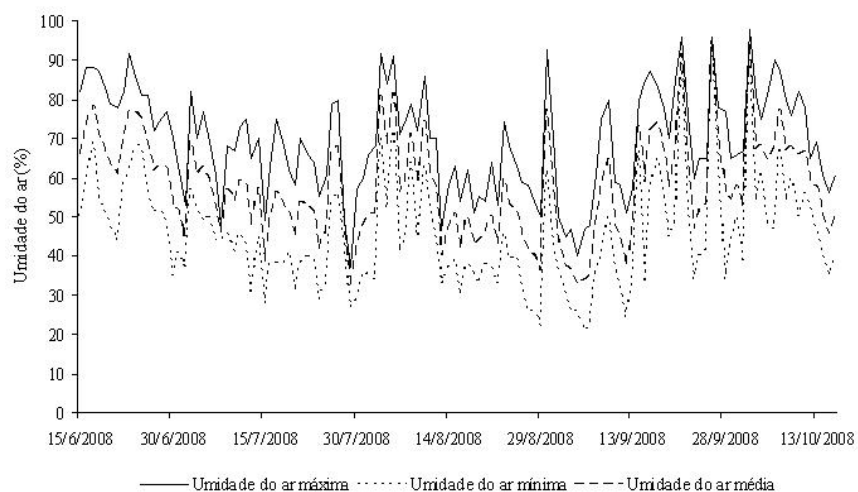


Figura 8 Umidade relativa do ar máxima, mínima e média observada durante a condução do experimento. UFLA, Lavras - MG, 2008.

A faixa ideal de temperatura para o bom desenvolvimento da canola é de 12 °C a 30 °C (CANOLA COUNCIL OF CANADÁ, 2003), portanto, a temperatura média encontrada durante o desenvolvimento da cultura, 19 °C, situa-se dentro dos limites ideais para a canola.

3.1 Manejo da água

As lâminas de água aplicadas (mm) em função de diferentes tensões de água no solo e as precipitações ocorridas durante o desenvolvimento da cultura podem ser visualizadas na Tabela 6.

Tabela 6 Lâminas de água aplicadas (mm) em função de diferentes tensões de água no solo e precipitações ocorridas durante o desenvolvimento do experimento. UFLA, Lavras-MG, 2008

Mês	Lâminas de água aplicadas (mm)				Precipitação (mm)
	20 kPa	40 kPa	80 kPa	120 kPa	
Junho	50	50	50	50	7
Julho	155	155	155	155	-
Agosto	180	160	123	67	14
Setembro	183	120	94	70	88
Outubro	41	24	-	-	34
Total (mm)	609	508	422	342	142

Todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de água, 205 mm, até o início dos tratamentos, 01 de agosto 2008 (Tabela 6). Posteriormente com a diferenciação dos tratamentos, houve redução da lâmina aplicada conforme a tensão da água no solo era elevada. A lâmina de irrigação aplicada durante a condução dos tratamentos quando a tensão atingia 120 kPa foi 66% inferior a lâmina aplicada com a tensão de 20 kPa. Grande parte das precipitações, 95% equivalente a 135 mm, ocorreram durante a aplicação dos tratamentos, entre agosto e outubro de 2008.

O número de irrigações e o intervalo entre as irrigações realizadas nos diferentes tratamentos podem ser observados na Tabela 7.

O número de irrigações foi de 27; 13; 7 e 4 para os tratamentos de 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa e 120 kPa, respectivamente. Já o intervalo entre irrigações ou turno de rega foi de 2,60 dias; 4,76 dias; 7,28 dias e 11,75 dias para os tratamentos de 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa e 120 kPa, respectivamente. Verificou-se que o maior número de irrigações e com maior frequência foi realizado quando a irrigação iniciava sob a tensão de 20 kPa. A tensão de 120 kPa, que representa a

tensão com maior esgotamento da água no solo, ocasionou o menor número de irrigações e com maior turno de rega.

Tabela 7 Parâmetros de irrigação obtidos do controle de água nos diferentes tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 2008.

Tratamento	Número de irrigações	Intervalo entre irrigações
20 k Pa	27	2,60
40 kPa	13	4,76
80 kPa	7	7,28
120 kPa	4	11,75

3.2 Análise dos parâmetros vegetativos

A Figura 9 demonstra o aspecto visual das plantas nos diferentes tratamentos 34 dias após o início dos tratamentos, no dia 04 de setembro de 2009. Visualmente o tratamento com a tensão de 120 kPa (T4) apresenta plantas mais debilitadas que os tratamentos com 20 kPa (T1), 40 kPa (T2) e 80 kPa (T3).

Os parâmetros vegetativos analisados no final do experimento foram: número de síliquas planta⁻¹, diâmetro do caule (mm), número de folhas planta⁻¹, número de ramos planta⁻¹ e altura da planta (cm). O resumo dos resultados da análise de variância para os parâmetros vegetativos da cultura é apresentado na Tabela 8.

Foi verificado que o número de síliquas planta⁻¹ e número de ramos planta⁻¹ da canola foram afetados significativamente pelas diferentes tensões de água no solo, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Taylor et al. (1991) observou redução significativa no número de siliquis quando a canola foi submetida diferentes regimes de irrigação. Champolivier e Merrien (1996) encontraram redução significativa no número de siliquis quando a canola foi submetida à restrição total de água em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Os autores verificaram também que a altura das plantas foi reduzida somente quando o déficit foi aplicado no estágio inicial de desenvolvimento da cultura, entre o alongamento do caule e formação das flores.

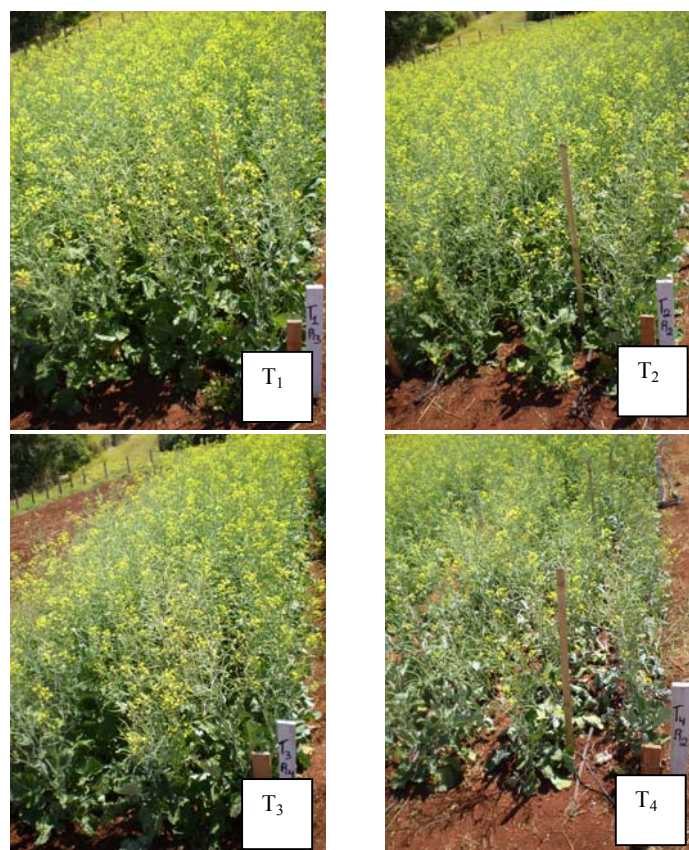


Figura 9 Aspecto visual das plantas de canola submetidas a diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Tabela 8 Análise da variância do número de síliquas, diâmetro do caule (mm), número de folhas, número de galhos e altura das plantas (cm) em função de diferentes tensões de água no solo UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM				
		Nº de síliquas	Diâmetro do caule	Nº de folhas	Nº de ramos	Altura das Plantas
Tratamentos	3	4276,0*	2,39 ^{ns}	38,29 ^{ns}	19,32*	133,71 ^{ns}
Resíduo ou erro	12	357,3	1,25	14,03	4,35	206,10
CV (%)	-	11,15	9,39	13,91	15,89	13,79
Média	-	169,48	11,93	26,92	13,13	104,10

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação.

Sinaki et al. (2007) verificaram que o número de síliquas foi o componente de rendimento que mais decresceu com o déficit hídrico aplicado na canola, confirmando os resultados obtidos neste experimento. Guerra et al. (2000) investigando o efeito de diferentes tensões de água no solo na cultura do feijão, observaram que o número de vagens foi significativamente maior quando a irrigação foi realizada com a menor tensão, 40 kPa.

A variação do número de síliquas pode ser explicada por uma regressão linear, apresentando adequado coeficiente de determinação (R^2) como demonstra a Figura 10, indicando que para cada variação unitária da tensão de água no solo, houve uma diminuição de 0,72 síliquas planta⁻¹.

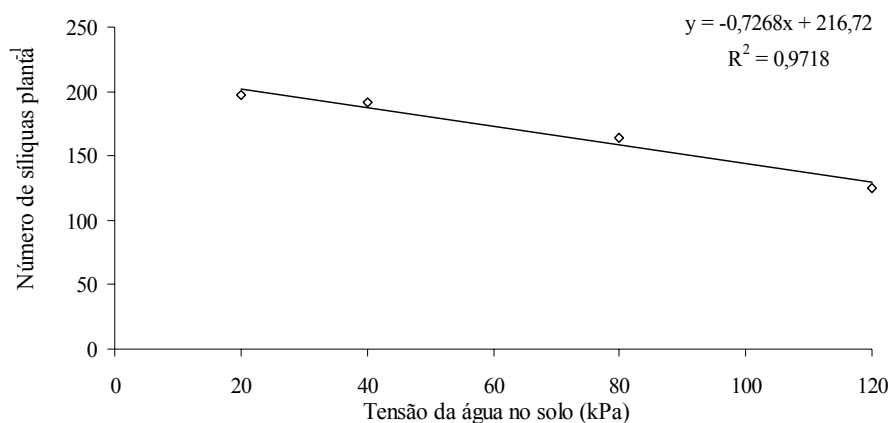


Figura 10 Efeito de diferentes tensões de água no solo no número de síliquas da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.

Comportamento semelhante foi obtido por Canola Council of Canadá (2003) que avaliando os componentes de rendimento da canola sob três diferentes condições de cultivo, sem irrigação, baixa irrigação (282 mm) e irrigação alta (369 mm), obteve maior número de síliquas na condição de alta irrigação.

A variação do número de ramos em relação às tensões de água no solo pode ser explicada por uma regressão linear, como demonstra a Figura 11, indicando que para cada variação unitária da tensão de água no solo, houve uma diminuição de $0,0439$ ramos planta⁻¹.

O maior número de ramos planta⁻¹ sob a condição de alta irrigação foi obtido por Canola Council of Canadá (2003).

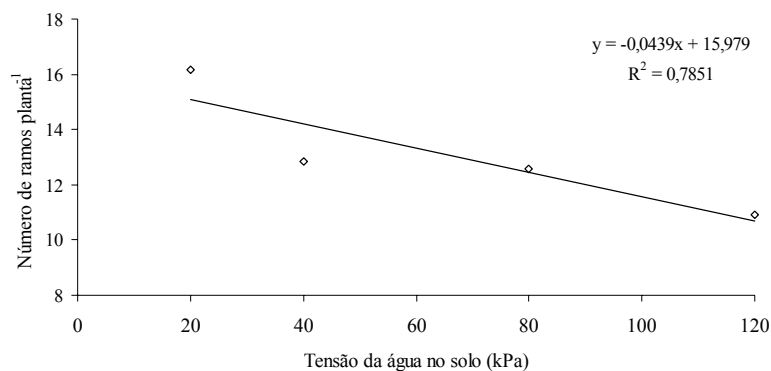


Figura 11 Efeito de diferentes tensões de água no solo no número de ramos da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.

Na Tabela 9 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para a matéria verde da parte vegetativa, matéria verde das siliquas e matéria verde total.

Tabela 9 Análise de variância da matéria verde parte vegetativa (kg ha⁻¹), matéria verde siliquas (kg ha⁻¹) e matéria verde total (kg ha⁻¹), em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM		
		Matéria verde parte vegetativa	Matéria verde siliquas	Matéria verde total
		----- Kg ha ⁻¹ -----		
Tratamentos	3	61642532,89 ^{ns}	89471544,49 ^{ns}	298375273,75 ^{ns}
Resíduo	12	31004487,81	20777433,52	91675536,35
CV (%)	-	38,08	25,16	29,25
Média	-	14621,37	18116,57	32737,94

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Foi verificada, pelo teste F, a 5% de probabilidade, que as diferentes tensões de água no solo não interferiram significativamente a matéria verde da cultura. Observa-se que no momento da colheita, as plantas não apresentavam área foliar devido a senescência natural das folhas no período anterior a colheita, o que pode ter influenciado nos dados obtidos.

Na Tabela 10 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para a matéria seca parte da parte vegetativa, matéria seca das siliquas e matéria seca total. Foi verificada, pelo teste F, a 5% de probabilidade, que as diferentes tensões de água no solo interferiram significativamente a matéria seca da cultura.

Tabela 10 Análise de variância da matéria seca da parte vegetativa (kg ha^{-1}), matéria seca siliquas (kg ha^{-1}), matéria seca total (kg ha^{-1}) em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM		
		Matéria seca parte vegetativa	Matéria seca siliquas	Matéria seca total
		----- Kg ha ⁻¹ -----		
Tratamentos	3	4256840,96*	17209382,87*	38243600,76*
Resíduo	12	945691,97	2957879,47	6687913,25
CV (%)	-	29,22	24,14	24,74
Média	-	3327,55	7124,50	10452,05

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Banuelos et al. (2002) verificaram o potencial da canola irrigada no centro da Califórnia sob diferentes lâminas de reposição de água, equivalente a

25%, 50%, 100% e 125% da evapotranspiração potencial da cultura. Os autores descreveram que a matéria seca total da parte vegetativa da canola aumentou significativamente até a lâmina equivalente a 125% de reposição. A matéria seca das raízes não apresentou resposta aos diferentes tratamentos.

A matéria seca total (kg ha^{-1}), matéria seca das siliquas (kg ha^{-1}), e matéria seca da parte vegetativa (kg ha^{-1}) apresentaram resposta linear em relação às tensões de água no solo, como demonstra as Figuras de 12 a 14. As Figuras indicam que para cada variação unitária da tensão de água no solo, houve uma diminuição de $69,548 \text{ kg ha}^{-1}$ da matéria seca total; $46,571 \text{ kg ha}^{-1}$ da matéria seca das siliquas e $22,977 \text{ kg ha}^{-1}$ da matéria seca da parte vegetativa.

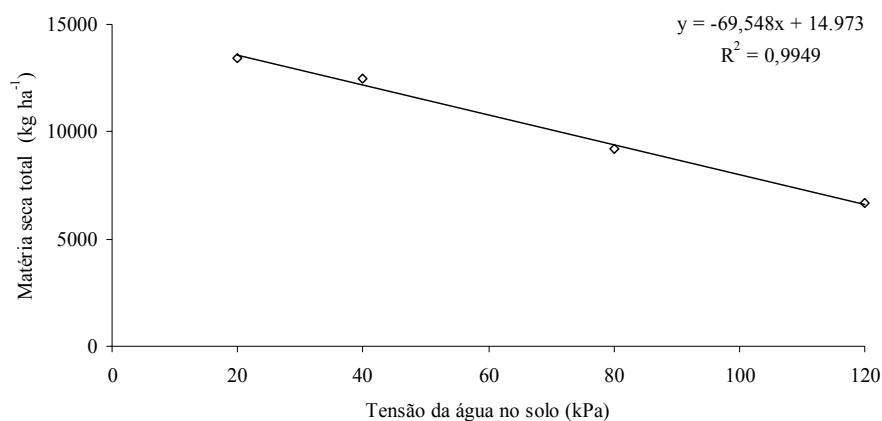


Figura 12 Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca total (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.

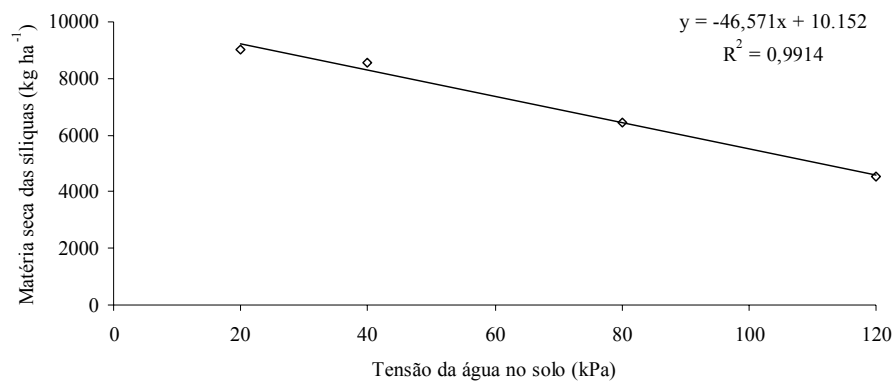


Figura 13 Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca das siliquas (kg ha⁻¹) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.

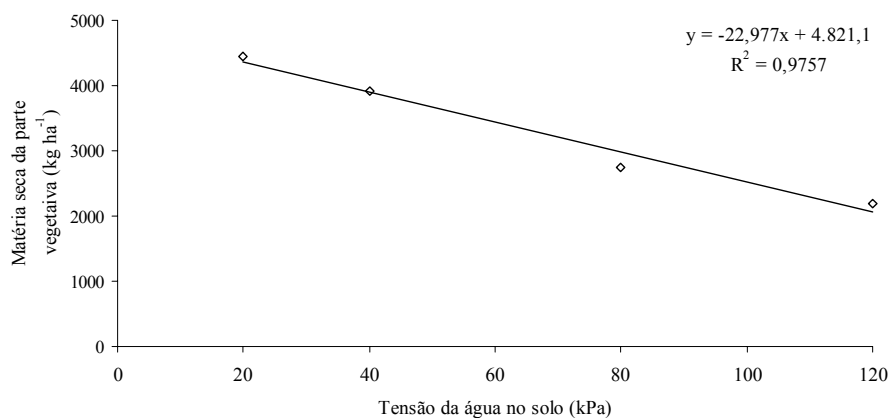


Figura 14 Efeito de diferentes tensões de água no solo na matéria seca da parte vegetativa (kg ha⁻¹) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008

Champolivier e Merrien (1996) e Sinaki et al. (2007) obtiveram redução significativa da matéria seca da canola submetida ao stress hídrico, confirmando os dados encontrados neste experimento.

3.3 Análise da produtividade de grãos

O resumo dos resultados da análise de variância para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) quando a cultura foi submetida a diferentes tensões de água no solo, é visualizado na Tabela 11.

Tabela 11 Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM
		Produtividade Kg ha^{-1}
Tratamentos	3	1388000,98*
Resíduo	12	343285,47
CV (%)	-	14,08
Média	-	4160,15

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

A Tabela 11 demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) pelo teste F, a 5% de probabilidade. Resultados semelhantes com a canola foram verificados por Taylor et al. (1991), Wright et al. (1988) e Faraji et al. (2009).

A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) apresentou resposta linear em relação às tensões de água no solo (Figura 15), indicando que para cada variação unitária da tensão de água no solo, houve uma redução de $13,039 \text{ kg ha}^{-1}$.

A maior produtividade média observada foi de $4.719,74 \text{ kg.ha}^{-1}$ obtida com a tensão de 20 kPa. Canola Council of Canadá (2003) obteve a

produtividade de $2.463 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ quando a canola foi cultivada sob condições ótimas de irrigação (Tabela 1).

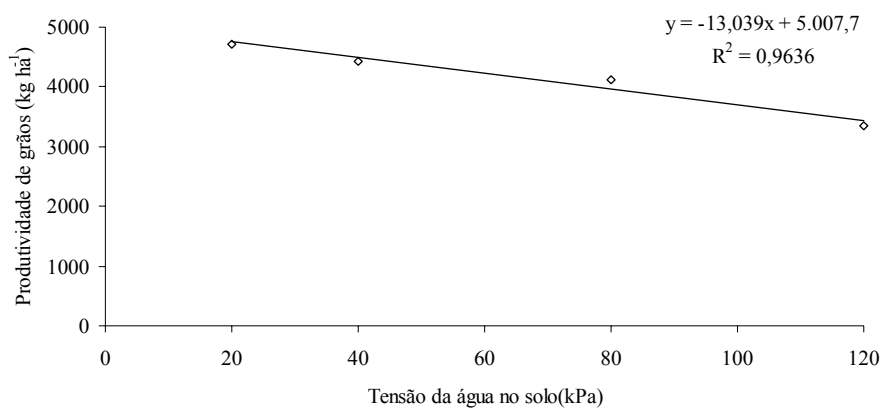


Figura 15 Efeito de diferentes tensões de água no solo na produtividade de grãos (kg ha^{-1}) da canola. UFLA, Lavras-MG, 2008.

Wright et al. (1988) obtiveram uma produtividade de 3.800 kg ha^{-1} da canola irrigada na Austrália, produtividade superior ao rendimento obtido da cultura sem irrigação, de 1700 kg ha^{-1} . Taylor et al. (1991) verificaram a produtividade de 3.600 kg ha^{-1} de grãos com a canola irrigada, enquanto a média da produtividade do tratamento sem irrigação foi de 2.700 kg ha^{-1} .

3.4 Análise da qualidade física dos grãos

O efeito das diferentes tensões de água no solo foi verificado na qualidade física dos grãos, incluindo a massa específica dos grãos (g ml^{-1}) e o peso de 1000 grãos (gramas).

A Tabela 12 demonstra o resumo da análise de variância para a massa específica e peso de 1000 grãos. Verifica-se pelo teste F a 5% de probabilidade

que estes parâmetros não foram afetados pelas diferentes tensões de água no solo.

Taylor et al. (1991) verificaram diferença significativa para o peso de 1000 grãos quando a canola foi irrigada comparativamente ao tratamento sem irrigação. Champolivier e Merrien (1996) não obtiveram diferença significativa para o peso de 1000 grãos da canola quando a cultura foi exposta a diferentes tratamentos com déficit hídrico, segundo os autores, ocorreu um efeito compensatório entre o número de grãos e o peso de 1000 grãos.

Tabela 12 Análise de variância do peso de 1000 grãos e da massa específica dos grãos da canola em função de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM	
		Peso de 1000 grãos (gramas)	Massa específica (gramas ml ⁻¹)
Tratamentos	3	0,015633 ^{ns}	0,000032 ^{ns}
Resíduo	12	0,014835	0,000154
CV (%)	-	3,15	2,07
Média	-	3,86	0,59

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

No experimento realizado, a ausência de significância entre dados para a qualidade física dos grãos pode ser justificada pela ocorrência de precipitações, 135 mm, durante a aplicação dos tratamentos impedindo que as parcelas submetidas a altas tensões de água no solo sofressem estresse hídrico.

3.5 Sensibilidade da canola ao déficit hídrico

A redução relativa da produtividade de grãos em função da redução relativa da lâmina de água aplicada é apresentada na Figura 16. Foi ajustada uma equação de regressão linear passando pela origem, de acordo com o proposto por Stewart e Hagan (1973). O coeficiente angular da equação, que representa o fator de resposta k_y , foi de 0,3699.

O coeficiente angular da equação deste experimento, k_y de 0,3699, demonstra que a redução relativa da produtividade foi menor do que a redução relativa da lâmina aplicada, ou seja, considerando as condições onde o experimento foi conduzido, a produtividade de grãos não apresentou grande sensibilidade ao déficit hídrico.

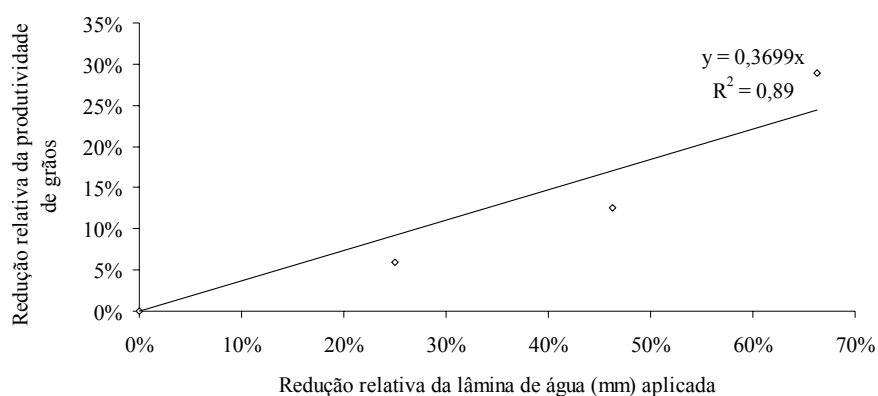


Figura 16 Redução relativa da produtividade de grãos da canola em função da redução relativa da lâmina de água aplicada. UFLA, Lavras-MG, 2008.

4 CONCLUSÕES

A água retida a 25 cm de profundidade, a uma tensão de 20 kPa, é um bom indicativo do momento correto para iniciar as irrigações na cultura da canola, pois nestas condições, obtêm-se a máxima produtividade de grãos da cultura.

A produtividade da canola, em áreas que recebem irrigação suplementar, não apresenta sensibilidade proporcional ao déficit hídrico aplicado, já que o k_y foi menor que um (0,366).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- AMABILE, R. F.; SILVA, D. B. da; GUERRA, A. F. **Cevada irrigada em áreas de cerrado no Brasil Central**. Planaltina: Embrapa, 2004. 4 p. (Circular técnica, 26).
- BANUELOS, G. S.; BRYLA, D. R.; COOK, C. G. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central Califórnia. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 237-245, 2002.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- CANOLA COUNCIL OF CANADÁ. **Canola growers manual**. 2003. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx> Acesso em: 20 jun. 2008.
- CHAMPOLIVIER, L.; MERRIEN, A. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 5, n. 3/4, p. 153-160, 1996.
- CORDEIRO, D. S.; SILVEIRA, E. P.; KICHEL, A. N. Resposta da *Brassica napus* a doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Pelotas, v. 28, n. 10, p. 1137-1142, out. 1993.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 3.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FARAJI, A. et al. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 132-140, Jan. 2009.

FERREIRA, D. F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados: SISVAR**. Lavras: UFLA, 1999.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 898-982, 1980.

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomaticultura de mesa**. Mogi-Guaçu: UNICAMP, 2004. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/manejoirrig.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. da; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1229-1235, 2000.

KOETZ, M. **Maracujazeiro-amarelo: cultivo protegido e natural, irrigação e adubação potássica**. 2006. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 1996. 72 p.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. (Circular técnica, 19).

Disponível em:

<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2002/circular/Circ_19.pdf>

. Acesso em: 20 ago. 2008.

SILVA, E. L. **Fundamentos de irrigação e drenagem**. Lavras, 2005. Texto Acadêmico. 88 p.

SILVA, E. L. **Relação água-solo-planta**. Lavras, 2007. Notas de aula da Disciplina DER 503.

SILVA, E. M. da et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A. de. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. cap. 3, p. 239-280.

SILVA, E. M. et al. **Manejo da irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 60 p. (Circular técnica, 6).

SILVA, M. R. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Cultivares de trigo sob manejos de solo e água, na região de cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 921-927, 2008.

SINAKI, J. M. et al. The effects of water déficit during growth stages of Canola (*Brassica napus* L.). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**, Cairo, v. 2, n. 4, p. 417-422, 2007.

STEWART, J. I.; HAGAN, R. M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 99, n. 4, p. 421-39, 1973.

TAYLOR, A. J.; SMITH, C. J.; WILSON, I. B. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). **Fertilizer Research**, Holanda, v. 29, n. 3, p. 249-260, 1991.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Passo Fundo, 2007. 32 p.

WRIGHT, G. C.; SMITH, C. J.; WOODROOFE, M. R. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south-eastern Australia: I. growth and seed yield. **Irrigation Science**, New York, v. 9, n. 1, p. 1-13, 1988.

CAPÍTULO 3 Efeito de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola (*Brassica napus*)

RESUMO

A função de produção apresenta-se como uma relação entre os insumos do processo produtivo de uma atividade e o produto final obtido. Na agricultura irrigada, a função de produção, obtida por meio de experimentos, auxilia na determinação da lâmina que proporciona o máximo rendimento físico e o máximo rendimento econômico de uma cultura. Com o objetivo de determinar estes dois parâmetros, lâmina de irrigação que proporciona a máxima produção física e a lâmina de irrigação que proporciona o máximo retorno econômico da canola irrigada, foi realizado um experimento no departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, entre os meses de junho e outubro de 2008. O experimento contou com 5 tratamentos, 50%; 75%; 100%; 125% e 150% da lâmina de reposição de água recomendada para a cultura e 4 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. O experimento foi conduzido com delineamento experimental inteiramente casualizado. O híbrido utilizado foi Hyola 401, amplamente cultivado no Brasil. Foram avaliados parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade física dos grãos. De acordo com a análise de variância, as diferentes lâminas de reposição de água não influenciaram significativamente os tratamentos, fato que pode ser justificado pelas precipitações naturais que ocorreram durante a aplicação dos tratamentos.

Palavras-chave: Irrigação. Canola. Produtividade. Lâmina de irrigação.

ABSTRACT

Production function is the relationship between input and output of production process. In irrigated crop, the production function achieved through experiments can be helpful to determine the depth providing maximum crop yield and maximum economic yield. An experiment was carried out to determine the irrigation depth providing maximum physical production and the depth providing the maximum revenue of irrigated canola at the Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Lavras, between June and October 2008. The experiment comprised 5 treatments, 50%; 75%; 100%; 125% and 150% of replacement depth recommended for the crop, with 4 repetitions in 20 experimental plots in completely random design, using the hybrid Hyola 401, widely grown in Brazil. We assessed vegetative parameters, productivity and physical quality of grains. According to the variance analysis, different irrigation depths had no significant effect on the treatments, which may be due to natural precipitation during the experiment.

Keywords: Irrigation. Canola. Productivity. Water depths.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência do uso da água é altamente relevante na agricultura irrigada (ZWART; BASTIAANSEN, 2004), já que este setor é responsável por 70% do uso consuntivo da água (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008). A otimização do uso da água é realizado por meio do manejo adequado da irrigação, que visa determinar quando e quanto de água aplicar (BERNARDO et al., 2006).

A decisão de quando e quanto de água aplicar, deve ser fundamentada no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera (FARIA et al., 1998; REICHARDT, 1978, 1987; REICHARDT; TIMM, 2004). Para isso, é preciso conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água fornecidas, e assim, determinar quando a falta ou o excesso provocam redução na produção (BERNARDO et al., 2006; RESENDE; ALBUQUERQUE, 2002; DETAR, 2008).

A relação entre os insumos do processo produtivo e o produto resultante é denominada função de produção (PINDYCK; RUBINFELD, 2005). Na agricultura, as funções de produção representam a relação física entre um conjunto de insumos que podem ser utilizados e o produto final obtido (FRIZZONE, 1986).

As funções de produção são conseguidas por meio de experimentos agrícolas, e a partir dela, é possível determinar a combinação ótima dos insumos que proporciona a máxima produção física dos produtos. Posteriormente, com os preços dos insumos e dos produtos, é possível estimar a quantidade ideal de cada insumo para otimizar a lucratividade do agricultor (PÁDUA, 1998).

Frizzone (1986) estudou o efeito da lâmina de água aplicada, da adubação nitrogenada e da interação destes fatores sobre o rendimento físico e econômico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O autor concluiu que a aplicação de água e nitrogênio aumentou o rendimento de grãos segundo uma

relação quadrática. A máxima produtividade física de grãos, 2.261,8 kg ha⁻¹, foi alcançada com a aplicação de 570,4 mm de água e 117,4 kg ha⁻¹ de nitrogênio. O máximo lucro foi obtido com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio e uma lâmina de água de 534 mm.

Santana et al. (2009) avaliaram o rendimento do feijoeiro comum submetido a diferentes níveis de reposição da água de irrigação. A lâmina que proporcionou a maior eficiência econômica foi de 589,97 mm, equivalente a uma produtividade média de 3205,76 kg ha⁻¹.

Frizzone et al. (1995) estudaram o efeito da irrigação suplementar na produtividade da aveia (*Avena sativa* L.) para forragem. A máxima produtividade total de matéria seca de aveia, estimado de 6,9 t ha⁻¹, foi alcançada 319,2 mm de água. A máxima receita líquida foi de atingida com 310 mm, equivalente a produtividade de 6,8 t ha⁻¹.

Detar (2008) avaliou o efeito de diferentes lâminas de irrigação no rendimento do algodão. Os autores verificaram que a aplicação de 654 mm de água, equivalente a 95% da evaporação do tanque classe A, foi a lâmina que proporcionou a maior produtividade da cultura, desta forma, o déficit de irrigação não é recomendado para a cultura na região estudada.

Silva et al. (2007) avaliaram a produtividade de grãos do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de irrigação, 0 %, 75%, 100% e 130% da evapotranspiração estimada para a cultura. Os autores concluíram que a lâmina de 522,14 mm proporcionou a maior produtividade física de grãos, 2863,12 kg ha⁻¹.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de reposição de água no solo sob os parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade física dos grãos da canola, e assim, determinar a lâmina de reposição de água que proporciona a máxima eficiência física e máxima eficiência econômica da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

A localização e caracterização da área experimental são as mesmas do experimento anterior (Capítulo II). Os dois experimentos foram implantados em conjunto como demonstra a Figura 17, na mesma área, com a mesma caracterização química e física do solo, umidade relativa e temperatura do ar.



Figura 17 Área experimental da canola UFLA, Lavras - MG, 2008.

2.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado em uma área experimental de 325,6 m² (37 m x 8,8 m), como demonstra a Figura 17.

2.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos que consistiram de cinco níveis de reposição de água consumida, 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da lâmina de reposição de água recomendada até a capacidade de campo, e 4 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais.

As parcelas experimentais seguiram o mesmo padrão do experimento anterior (Capítulo II).

2.2.2 Condução da cultura

A implantação e o manejo da cultura seguiram o mesmo padrão do experimento anterior (Capítulo II).

2.2.3 Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados foram: parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade física dos grãos e seguiram a mesma metodologia do experimento anterior (Capítulo II).

2.3 Irrigação

Até o início dos tratamentos o experimento seguiu o mesmo manejo da irrigação realizado experimento anterior (capítulo II).

Durante a aplicação dos tratamentos, a irrigação foi realizada quando a tensão média registrada em 4 tensiômetros instalados a 0,125 m de profundidade no tratamento com reposição de 100%, atingia 20 kPa, repondo a lamina de

reposição de água nas demais parcelas de acordo com os tratamentos pré-estabelecidos. A leitura das tensões da água no solo foi realizada diariamente, e quando necessário, duas vezes ao dia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento, a temperatura média máxima e mínima observada foi de 27 °C e 12,7 °C, respectivamente. A umidade relativa do ar máxima e mínima foi de 69,4% e 44,95%, respectivamente, como foi demonstrado no experimento anterior (capítulo II).

3.1 Manejo da água

Na Tabela 13 é apresentado as lâminas aplicadas (mm) de acordo com cada tratamento, e as precipitações ocorridas durante o desenvolvimento da cultura.

Tabela 13 Lâminas aplicadas (mm) em função das diferentes lâminas de reposição de água no solo e da precipitação. UFLA, Lavras-MG, 2008

Mês	Lâmina Aplicada (mm)					Precipitação (mm)
	50%	75%	100%	125%	150%	
Junho	50	50	50	50	50	7
Julho	155	155	155	155	155	-
Agosto	69	96	138	173	207	14
Setembro	76	114	153	189	229	88
Outubro	7	10	14	17	21	34
Total Lâmina	357	426	510	584	662	142
Lâmina + prec.	499	568	652	726	804	

Durante o período de germinação, desbaste e estabelecimento da cultura, meses de junho e julho, todos os tratamentos receberam lâminas iguais, 205 mm;

nesta época a contribuição da precipitação foi pequena. A partir de agosto, foi iniciada diferenciação dos tratamentos, ou seja, aplicação de diferentes lâminas de irrigação de acordo com cada tratamento. Foi no período de aplicação dos tratamentos que houve a maior ocorrência de precipitação, como pode ser observado na Tabela 13.

3.2 Análise dos parâmetros vegetativos

Na Tabela 14 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para os parâmetros vegetativos da cultura em função das diferentes lâminas de reposição de água no solo.

Tabela 14 Análise de variância do número de siliquas, diâmetro do caule (mm), número de folhas, número de ramos e altura de planta (cm) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo. UFLA, Lavras/MG, 2008

FV	GL	QM				
		Nº siliquas	Diâmetro caule (mm)	Nº de folhas	Nº de ramos	Altura de planta (cm)
Tratamentos	4	485,12 ^{ns}	0,28 ^{ns}	19,63 ^{ns}	4,58 ^{ns}	74,40 ^{ns}
Resíduo	15	2229,18	1,14	74,32	16,16	124,57
CV (%)	-	27,07	8,83	28,88	27,82	10,08
Média	-	174,43	12,12	29,84	14,45	110,75

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

O teste de variância revelou que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F a 5% de probabilidade, para os parâmetros vegetativos da cultura. Isto pode ser justificado pelas precipitações ocorridas durante a aplicação dos tratamentos que totalizaram 135 mm.

Na Tabela 15 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para a matéria verde total (kg ha^{-1}) e matéria seca total (kg ha^{-1}), em função das diferentes lâminas de reposição de água no solo.

A matéria verde total e matéria seca total não foram afetadas pelas diferentes lâminas de reposição de água no solo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; isto pode ser atribuído às precipitações naturais que contribuíram para diminuir os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de irrigação. Embora o total precipitado (Tabela 13) seja inferior às lâminas totais aplicadas, a sua ocorrência se deu de forma distribuída contribuindo para o desenvolvimento da cultura mesmo quando a mesma estava submetida às menores lâminas de irrigação.

Tabela 15 Análise de variância da matéria verde total (kg ha^{-1}) e matéria seca total (kg ha^{-1}) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola. UFLA, Lavras/MG, 2008

FV	GL	QM	
		Matéria verde total (kg ha^{-1})	Matéria seca total (kg ha^{-1})
Tratamentos	4	19387173,06 ^{ns}	3166918,18 ^{ns}
Resíduo	15	90384575,84	8200439,64
CV (%)	-	36,32	31,11
Média	-	26179,32	9205,84

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

3.3 Análise da produtividade de grãos

Na Tabela 16 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) quando a cultura foi submetida a diferentes lâminas de reposição de água no solo. De acordo com os resultados, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 16 Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo na canola. UFLA, Lavras-MG, 2008

FV	GL	QM
		Produtividade de grãos Kg ha^{-1}
Tratamentos	3	307477,32 ^{ns}
Resíduo	12	369470,65
CV (%)	-	15,88
Média	-	3.828,74

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Frizzone (1986), Santana et al. (2009), Frizzone et al. (1995), Detar (2008) discordam do resultado obtido neste experimento. Porém, a precipitação ocorrida, 135 mm, durante a aplicação dos tratamentos e o atraso no início da aplicação dos tratamentos pode ter minimizado o efeito das diferentes lâminas de reposição de água no solo sob a produtividade de grãos da cultura.

3.4 Análise da qualidade física dos grãos

Foi verificado o efeito das diferentes lâminas de reposição de água no solo na qualidade física dos grãos da canola, incluindo a massa específica dos grãos (g ml^{-1}) e o peso de 1000 grãos (gramas).

A Tabela 17 demonstra que as diferentes lâminas de reposição de água no solo não afetaram a qualidade física dos grãos, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 17 Análise de variância do peso de 1000 grãos e da massa específica dos grãos da canola em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2008

FV	GL	QM	
		Peso de 1000 grãos (gramas)	Massa específica (gramas ml^{-1})
Tratamentos	3	0,024568 ^{ns}	0,000095 ^{ns}
Resíduo	12	0,020575	0,000348
CV (%)	-	3,73	3,11
Média	-	3,84	0,60

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Este resultado pode ser justificado também pela ocorrência de precipitações, 135 mm, durante a aplicação dos tratamentos impedindo que os tratamentos submetidos a déficit de água sofressem estresse hídrico.

3.5 Análise da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico

Na Figura 18, é apresentada a queda da produtividade de grãos em função da redução relativa da lâmina de água aplicada durante o desenvolvimento da canola. Foi ajustada uma equação de regressão linear passando pela origem, de acordo com o proposto por Stewart e Hagan (1973). O coeficiente angular da equação, que representa o fator de resposta K_y , foi de 0,2874.

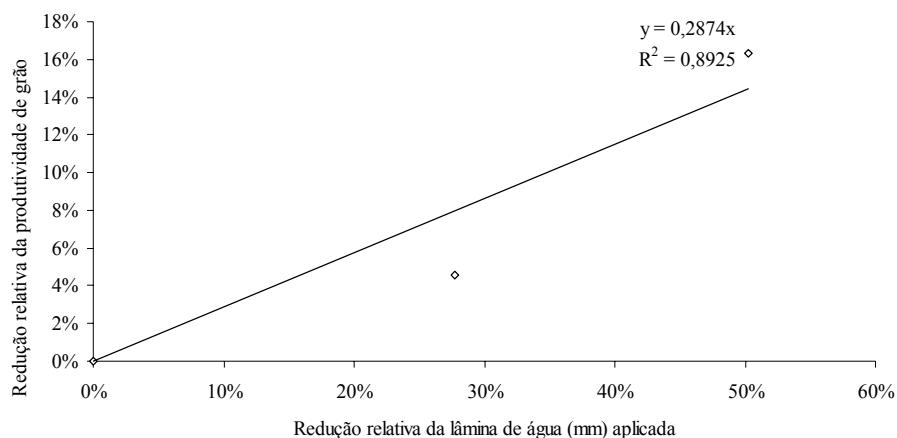


Figura 18 Redução relativa da produtividade de grãos em função da redução relativa da lâmina de reposição de água aplicada. UFLA, Lavras/MG, 2008.

O coeficiente angular da equação neste experimento (0,2874) demonstra que a redução relativa da produtividade de grãos foi menor do que a redução relativa da lâmina de reposição de água, $k_y < 1$. O baixo fator de reposição deve-se as condições que o experimento foi realizado, por meio da irrigação suplementar.

4 CONCLUSÕES

Diferentes lâminas de reposição de água no solo não influenciaram significativamente as variáveis estudadas inviabilizando a determinação da lâmina de reposição de água que proporciona a máxima eficiência física e máxima eficiência econômica da cultura.

Novos estudos podem ser realizados com área experimental em ambiente protegido, evitando desta forma, a interferência das precipitações naturais nos resultados esperados. Sugere-se ainda, que o início da aplicação dos tratamentos seja realizada logo após o estabelecimento das plantas, aumentando assim, o tempo de exposição da cultura aos déficits aplicados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

DETAR, W. R. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 69-76, 2008.

FARIA, M. et al. **Manejo de irrigação**. Lavras: SBEA/UFLA, 1998. 368 p.

FRIZZONE, J. A. et al. Lâminas de água e doses de nitrogênio na produção de aveia (*Avena sativa* L.) para forragem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 578-586, 1995.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

PADUA, T. de S. **Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)** – um estudo no sul de Minas Gerais. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 6. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005. 672 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. (Circular técnica, 19). Disponível em:
<<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul19.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

SANTANA, M. J. de et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

SILVA, M. L. O. et al. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

STEWART, J. I.; HAGAN, R. M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 99, n. 4, p. 421-39, 1973.

ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agriculture Water Management**, Amsterdam, v. 69, n. 2, p. 115-133, 2004.

CAPÍTULO 4 Efeito de diferentes níveis de déficit hídrico na canola
(*Brassica napus*)

RESUMO

Os efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico, aplicados durante o desenvolvimento da canola, foram avaliados por meio de um experimento conduzido em vasos de metal no interior de uma casa de vegetação, no Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade de Kassel, Alemanha. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com a cultivar Ability (Summer Rape), e três níveis de déficit de água, 0%, 30%, 60% da evapotranspiração da cultura, totalizando três tratamentos com 20 repetições. O manejo da irrigação foi realizado por meio do balanço hídrico diário, em que $ET = I - D$, onde ET é evapotranspiração, I é irrigação, D é drenagem. Foram realizadas semanalmente as seguintes avaliações: diâmetro do caule (mm); altura da planta (cm); número de folhas; número de ramos, número de síliquas. No final do experimento foram avaliadas a matéria verde total ($g\ planta^{-1}$) e matéria seca total ($g\ planta^{-1}$), produtividade de grãos ($g\ planta^{-1}$), além do teor de proteína (%) e de óleo (%) dos grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito dos tratamentos estudados por meio de análise de regressão. Os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis analisadas, exceto para a altura das plantas e teor de proteína dos grãos, pelo teste F a 5% de probabilidade. O fator de resposta k_y , indicador da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, foi menor que um para todos os parâmetros estudados. A produtividade de grãos apresentou a maior sensibilidade ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Manejo de água. Irrigação. Déficit hídrico.

ABSTRACT

The effect of different levels of water deficit applied during development of canola crop was evaluated by an experiment using metal vases in a greenhouse at the Department of Agricultural Engineering of the University Of Kassel, Germany. We used completely random design with Ability (Summer Rape) cultivar and 3 levels of water deficit, 0, 30, 60% of crop evapotranspiration in 3 treatments and 20 repetitions. Irrigation management was performed through daily water balance, where $ET = I - D$; ET: evaporation; I: irrigation; D: draining. We carried out the following evaluations on a weekly basis: stem diameter; plant height; number of leaves; number of branches and number of pods. At the end of the experiment we assessed total green matter, total dry matter, grain yield, and protein and grain oil contents. Finally, we submitted data to variance analysis and assessed the effect on treatments by regression analysis. Results showed significant differences between the treatments in all analysed variables, except for plant height and grain protein content, by F test 5% probability. Factor of response k_y , indicator of crop sensitivity to water stress, was less than one for all assessed parameters. Also, grain yield showed the highest sensitivity to water deficit.

Keywords: Water management. Irrigation. Water stress.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água em algumas regiões do globo (RIJSBERMAN, 2006; KHAN et al., 2009) aumenta o interesse pela realização de estudos relacionados ao desenvolvimento de culturas que apresentem rendimentos aceitáveis sob deficiência hídrica (SINAKI et al., 2007; FARRE; FACI, 2006; ZWART; BASTIAANSEN, 2004; PAYERO et al., 2006). Conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas é necessário para determinar quando a falta ou o excesso provocam quedas de produção, possibilitando desta forma, o adequado manejo da irrigação (BERNARDO et al., 2006).

Estudos regionalizados sobre a relação entre queda de rendimento relativo e o déficit relativo de evapotranspiração são recomendados (GEERTS; RAES, 2009) já que as condições de produção durante o ciclo da cultura são específicas do local e da variedade utilizada (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

A irrigação com déficit é realizada de forma diferente que a irrigação suplementar. Na irrigação com déficit, ocorre uma redução da lâmina de reposição de água fornecida a planta mantendo-se a frequência da irrigação. A irrigação suplementar visa o atendimento da necessidade hídrica da cultura durante os estádios críticos de desenvolvimento que não são atendidos pelas precipitações naturais (ZHANG et al., 2006).

A irrigação com déficit nem sempre reduz a produtividade, quando o déficit é adequadamente aplicado em alguns estádios de desenvolvimento pode até aumentar o rendimento das culturas. Vários estudos têm sido feitos para verificar o efeito do déficit hídrico nas culturas (DETAR, 2008; GEERTS; RAES, 2009).

Farre e Faci (2006) compararam a resposta do milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) ao déficit hídrico por meio de um

experimento realizado no nordeste da Espanha. A parte vegetativa das plantas, biomassa total e produtividade de grãos foram afetadas pelos tratamentos em ambas as culturas. O rendimento de grãos do milho foi superior ao rendimento de grãos do sorgo sob condições ótimas de irrigação, mas o sorgo produziu mais que o milho sob moderado ou severo déficit de água. Os autores concluíram que o sorgo poderia ser uma boa alternativa para substituir o milho em condições limitadas de fornecimento de água na condição do semiárido do Nordeste da Espanha.

Sinaki et al. (2007) avaliaram a resposta da canola a diferentes níveis de depleção de água no solo, equivalentes a 20% 50% e 75% da água disponível do solo, os autores concluíram que o número de síliquas foi o componente de rendimento mais sensível ao déficit hídrico.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar os parâmetros vegetativos, produtividade e qualidade dos grãos canola, Hybrid Abitily, submetida a diferentes níveis de déficit hídrico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação climatizada nas proximidades do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade de Kassel, localizada no município de Witzenhausen.

Witzenhausen localiza-se no nordeste do Estado de Hessen, Alemanha. Possui uma área de 126,69 km², altitude de 141 m, população de 15.476 habitantes. Em 1898, a “Escola Colonial Alemã para Agricultura, Comércio e Indústria” também chamada de “Escola Tropical” (*Tropenschule*) foi fundada para treinar pessoas em agricultura provenientes de reassentamentos de Colônias de alemães. A instituição sucessora forma hoje o Campus da Universidade de Kassel e inclui um complexo de casa de vegetação dedicado às plantas tropicais (“*Gewächshaus für tropische Nutzpflanzen*”).

As condições ambientais, referentes aos dados de temperatura e umidade relativa do ar, foram monitoradas através de uma estação meteorológica localizada no interior da estufa.

O solo utilizado no preenchimento dos vasos foi retirado de uma camada sub-superficial. Foram coletadas amostras para as análises físicas e químicas. O solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com malha de um cm. Os vasos foram dispostos em uma bancada de metal, como demonstra a Figura 19. Foi realizada a mistura de 80% de solo proveniente do campo e 20% de areia, para facilitar o manejo da irrigação. A análise granulométrica do solo preparado revelou os seguintes teores: areia: 32,37%; silte: 53,76%; argila: 13,88%.



Figura 19 Disposição das unidades experimentais na bancada de metal no interior da casa de vegetação.

A adubação utilizada no plantio foi de 4 g vaso⁻¹, com a concentração de 7% de nitrogênio; 6% de fósforo; 10% de potássio, posteriormente foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio, uma g vaso⁻¹ de uréia diluída em água, para atender a dose do nutriente recomendada por Tomm (2007) e Cordeiro (1993) de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

2.2 Descrição do experimento

2.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três tratamentos e 20 repetições, sendo que os tratamentos correspondem a três níveis de déficit hídrico, 0%, 30%, 60% da evapotranspiração da cultura, totalizando 60 unidades experimentais.

2.2.2 Condução da cultura

O Híbrido Ability amplamente cultivado na Alemanha foi semeado em vasos de metal (Mitscherlich-Gefäßen) com capacidade de 6,5 dm³. A semeadura foi realizada no dia 7 de abril de 2009 respeitando a profundidade de 0,02 m, foram adicionadas 10 sementes por vaso e posteriormente foi realizado o desbaste para o ajuste de uma planta vaso⁻¹. Houve necessidade de realizar o tutoramento das plantas com estaca de bambu, para evitar o tombamento das mesmas. O controle de pragas e doenças de acordo com a necessidade e com um monitoramento contínuo.

2.2.3 Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados incluíram os parâmetros vegetativos, produtivos e qualidade dos grãos.

2.2.3.1 Parâmetros vegetativos

A partir do início dos tratamentos foi verificado semanalmente o diâmetro do caule (mm) por meio de um paquímetro digital; altura da planta (cm) com o auxílio de uma trena; número de folhas planta⁻¹; número de ramos planta⁻¹ e número de síliquas planta⁻¹.

A matéria seca total (gramas planta⁻¹) foi avaliada no final do experimento, por meio de uma estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 105 °C, onde as plantas permaneceram durante 24 horas. A matéria verde total (gramas planta⁻¹) foi determinada por meio da pesagem das folhas, ramos e síliquas, com o auxílio de uma balança eletrônica digital. As folhas foram coletadas diariamente durante a condução do experimento,

conforme a senescência natural das mesmas, posteriormente foram pesadas e armazenadas em saco de papel para a determinação da matéria seca.

2.2.3.2 Produtividade de grãos

A colheita foi realizada manualmente quando a cor dos grãos presentes nas siliquas, localizadas na parte central das plantas, apresentavam coloração marrom. O aspecto das plantas no momento da colheita pode ser verificado na Figura 20.



Figura 20 Aspecto das plantas de canola no dia da colheita. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

2.2.3.3 Qualidade dos grãos

O teor de óleo (%) e de proteína (%) dos grãos de cada unidade experimental foi realizado em laboratório especializado, Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, localizado em Kassel, Alemanha.

2.2.3.4 Sensibilidade da canola ao déficit hídrico

A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre a produtividade foi realizada mediante a relação entre a redução relativa da produtividade de grãos e a redução relativa da evapotranspiração, dada pelo coeficiente de resposta k_y (DOORENBOS; KASSAN, 1994), conforme Equação 7:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (7)$$

em que: Y_r - produtividade real obtida; Y_m - produtividade potencial obtida; K_y - coeficiente de resposta da cultura; ET_r - evapotranspiração real, e ET_m - evapotranspiração potencial.

A produtividade potencial (Y_m) e a evapotranspiração potencial (ET_m) foram obtidos dos tratamentos correspondentes à 0% de déficit hídrico. A produtividade real (Y_r) e a evapotranspiração real (ET_r) foram obtidos dos diferentes tratamentos.

Todos os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo significativo a 5 % de probabilidade, aplicando-se o teste de Tukey para comparação das médias. O efeito dos tratamentos foi estudado por meio de análise de regressão. A análise estatística dos dados foi feita com o Sistema de análise de variância para dados balanceados (Sisvar), versão 4.2 (FERREIRA, 1999).

2.3 Irrigação

Os tratamentos iniciaram 16 dias após a semeadura. Os volumes de água de reposição dos tratamentos com déficit hídrico foram obtidos a partir do

percentual da quantidade de água evapotranspirada (consumida) pela testemunha, que recebia 100% de reposição de água ou 0% de déficit hídrico. Para o controle da irrigação da testemunha, foi utilizada a equação do balanço hídrico: $ET = I - D$, em que ET é a evapotranspiração (volume de água consumido, ml vaso^{-1}), I é o volume de água aplicado (ml vaso^{-1}) e D é o volume de água drenado (ml vaso^{-1}).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento a temperatura máxima e mínima observada foi de 33,8 °C e 15,3 °C (média 21,9 °C), respectivamente. A umidade relativa média do ar foi de 69%. A temperatura mantida na casa de vegetação durante o desenvolvimento da canola está na faixa recomendada para a cultura, que varia entre 12-30°C (CANOLA COUNCIL OF CANADÁ, 2003).

3.1 Manejo da água

Na Tabela 18, são apresentados os volumes de água aplicados em cada tratamento. Como podem ser observadas, até o início dos tratamentos, 16 dias após a semeadura, todas as plantas receberam o mesmo volume de água, ou seja, 1,9 l planta⁻¹. Posteriormente o volume de água aplicado foi proporcional a cada tratamento; as plantas com 0% de déficit hídrico receberam 28,2 l planta⁻¹ durante a aplicação dos tratamentos; as plantas com 30% de déficit hídrico receberam o volume de 19,6 l planta⁻¹; as plantas com 60% de déficit hídrico receberam o volume total de 11,2 l planta⁻¹.

Tabela 18 Volume de água aplicado em cada tratamento UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

Tratamento	Volume de água aplicado até o início dos tratamentos	Volume de água aplicado durante os tratamentos	Volume de água total aplicado
	----- l planta ⁻¹ -----		
0% de déficit	1,9	28,2	30,1
30% de déficit	1,9	19,6	21,5
60% de déficit	1,9	11,2	13,1

O volume de água aplicado diariamente em cada unidade experimental, de acordo com cada tratamento, pode ser verificado no Anexo C.

3.2 Análise dos parâmetros vegetativos

Na Tabela 19 é apresentado o resumo dos resultados da análise de variância para os parâmetros vegetativos da cultura. Verifica-se que houve diferença significativa para as variáveis: diâmetro do caule (mm), número de ramos, número de folhas e número de siliquas, porém, não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para a variável altura das plantas (cm).

Tabela 19 Análise de variância de altura de planta (cm), diâmetro do caule (mm), número de ramos, número de folhas e número de siliquas em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

FV	GL	QM				
		Altura da Planta (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Numero de ramos	Nº de folhas	Nº de siliquas
Tratamentos	2	664,86 ^{ns}	90,65*	151,66*	1081,05*	186114,05*
Resíduo ou erro	57	323,31	2,63	13,70	302,51	11129,11
CV (%)		15,30	12,39	37,91	36,50	29,81
Média		117,53	13,10	9,76	47,65	353,85

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Sangtarash et al. (2009) verificaram a resposta da canola a dois regimes de irrigação: irrigação realizada diariamente para manter o solo na capacidade de campo e irrigação realizada quando as plantas apresentavam sintomas de deficiência hídrica. Os autores concluíram que o stress hídrico provocou redução na altura das plantas, diâmetro do caule, matéria seca total. Taylor et al. (1991) analisou o efeito da irrigação nos componentes de rendimento da cultura da canola, os autores verificaram que a deficiência hídrica influenciou significativamente o número de síliquas por m². Resultado semelhante foi encontrado por Confalone e Dujmovich (1999), que estudaram a influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento da cultura da soja, os autores verificaram que o número de vagens foi o componente de rendimento mais afetado pela deficiência hídrica.

As Figuras de 21 a 24 apresentam a análise de regressão para os parâmetros vegetativos da canola. As variáveis analisadas apresentaram resposta linear em relação ao déficit hídrico aplicado.

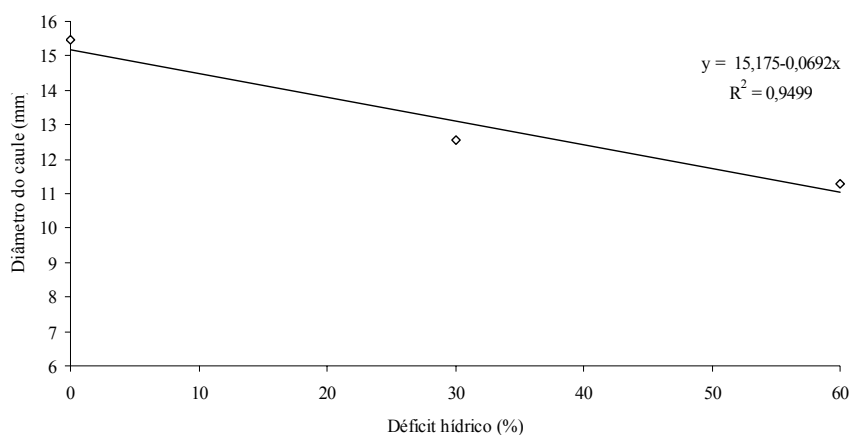


Figura 21 Efeito do déficit hídrico no diâmetro do caule (mm) da canola UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

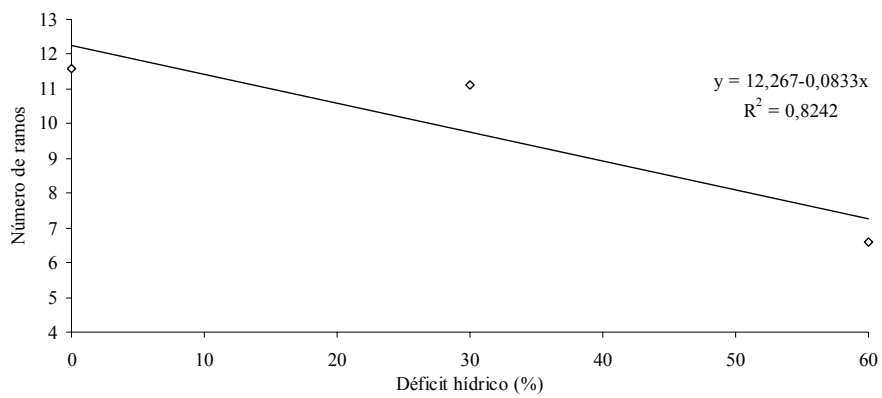


Figura 22 Efeito do déficit hídrico no número de ramos da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

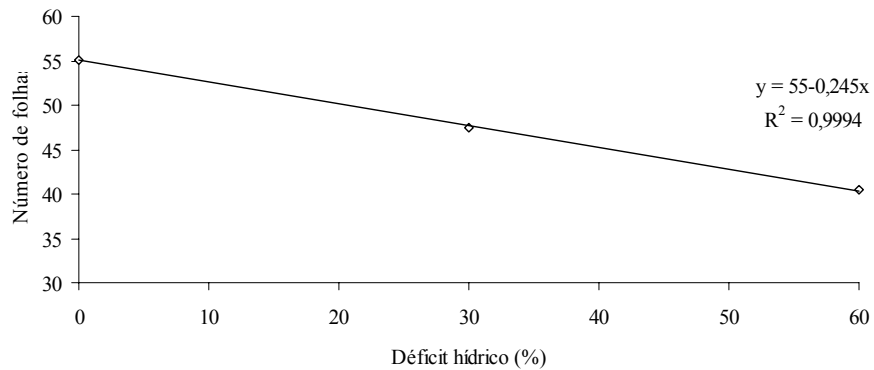


Figura 23 Efeito do déficit hídrico no número de folhas da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

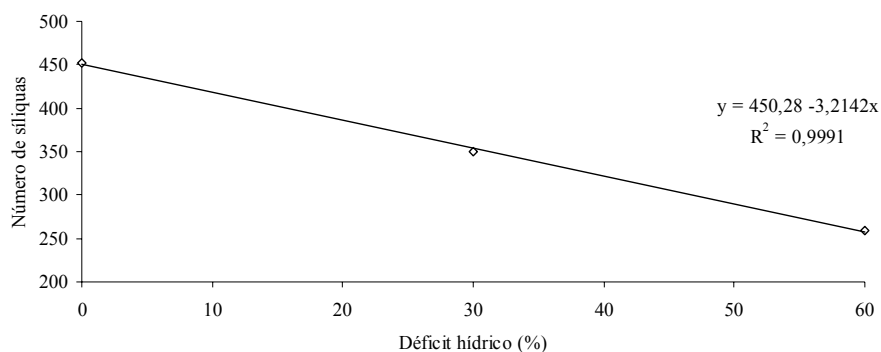


Figura 24 Efeito do déficit hídrico no número de síliquas da canola UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

O diâmetro do caule médio máximo foi verificado no tratamento com 0% de déficit hídrico (15,45 mm), posteriormente observa-se uma redução de 0,0692 mm para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

O máximo número médio de ramos foi observado no tratamento com 0% de déficit hídrico (11,6) posteriormente há uma redução de 0,0833 ramos planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

O número máximo médio de folhas observadas foi no tratamento com 0% de déficit hídrico (55,1) posteriormente obtêm-se uma redução de 0,245 folhas planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

O número máximo médio de síliquas observadas foi no tratamento com 0% de déficit hídrico (451,9) posteriormente visualiza-se uma redução de 3,21 síliquas planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

A análise de variância para a matéria verde e matéria seca total de cada tratamento pode ser observada na Tabela 20. Foi observada diferença significativa para as variáveis analisadas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 20 Análise de variância da matéria verde total (g planta⁻¹) e matéria seca total (g planta⁻¹) em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

FV	GL	QM	
		Matéria verde total	Matéria seca total
----- gramas planta ⁻¹ -----			
Tratamentos	2	91789,65*	1962,21*
Resíduo ou erro	57	1159,57	28,74
CV (%)	-	15,84	12,91
Média	-	214,95	41,53

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

As Figuras 25 e 26 apresentam a análise de regressão para a matéria verde total e matéria seca total da cultura. Verificou-se que as variáveis analisadas apresentaram resposta linear em relação ao déficit hídrico aplicado.

A máxima matéria verde total média foi observada no tratamento com 0% de déficit hídrico (285,3 gramas planta⁻¹) posteriormente verifica-se uma redução de 2,25 gramas planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

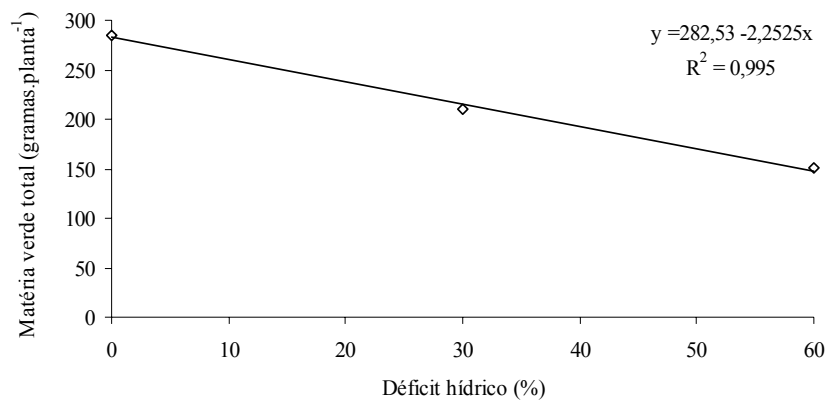


Figura 25 Efeito do déficit hídrico na matéria verde total da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

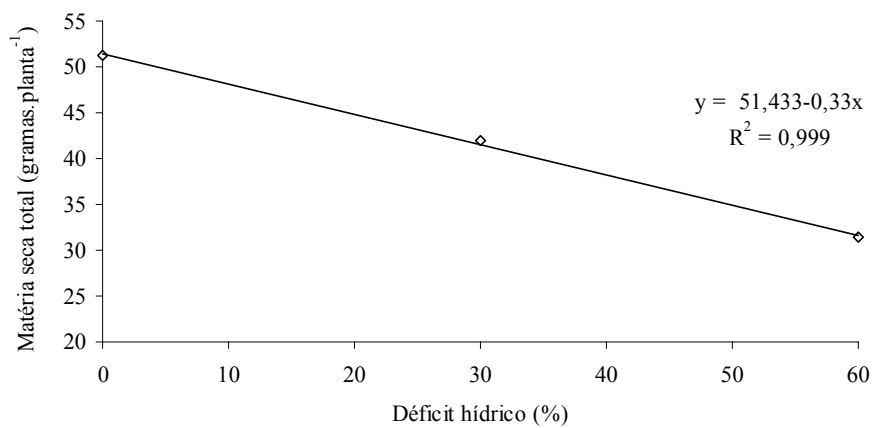


Figura 26 Efeito do déficit hídrico na matéria seca total da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

A máxima matéria seca total média foi observada no tratamento com 0% de déficit hídrico (51,25 gramas planta⁻¹) posteriormente verifica-se uma redução de 0,33 gramas planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

Resultados semelhantes foram obtidos por Banuelos et al. (2002) e Frizzone et al. (1995).

3.3 Análise da produtividade de grãos

O resumo dos resultados da análise de variância para a produtividade de grãos (gramas planta⁻¹) quando a cultura foi submetida a diferentes níveis de déficit hídrico, é apresentado na Tabela 21. De acordo com os resultados, houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 21 Análise de variância da produtividade de grãos (gramas planta⁻¹) em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

FV	GL	QM
		Produtividade de grãos (gramas planta ⁻¹)
Tratamentos	2	222,14*
Resíduo ou erro	57	5,19
CV (%)	-	28,87
Média	-	7,89

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

A análise de regressão para a produtividade de grãos é apresentada na Figura 27. Verificou-se que a produtividade de grãos apresentou resposta linear em relação ao déficit hídrico aplicado.

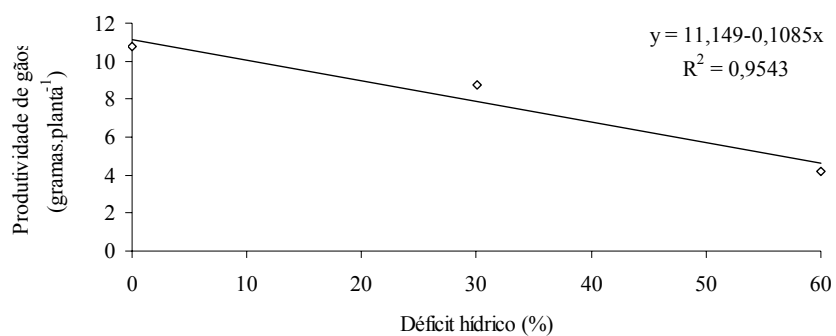


Figura 27 Efeito do déficit hídrico na produtividade de grãos da cultura da canola UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

A máxima produtividade de grãos de grãos foi observado no tratamento com 0% de déficit hídrico (10,74 gramas planta⁻¹) posteriormente foi verificado uma redução de 0,1085 gramas planta⁻¹ para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

3.4 Análise da qualidade de grãos

O efeito dos diferentes níveis de déficit hídrico na qualidade dos grãos é observado na Tabela 22, que apresenta o resumo da análise de variância para o teor de proteína (%) e teor de óleo (%) dos grãos da canola.

Tabela 22 Análise de variância do teor de proteína dos grãos (%), teor de óleo dos grãos (%), em função de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados durante o desenvolvimento da cultura da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

FV	GL	QM	
		Teor de proteína (%)	Teor de óleo (%)
Tratamentos	2	17,76 ^{ns}	96,70*
Resíduo ou erro	57	17,092	29,67
CV (%)		5,16	6,03
Média		29,33	37,75

em que: ns - não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; * - significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; FV: fator de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

A redução no teor de óleo da canola foi verificado também por Sinaki et al. (2007), por meio de um experimento realizado no Iran. Os autores verificaram que houve decréscimo significativo no teor de óleo dos grãos no tratamento não irrigado. Resultado semelhante foi encontrado por Bouchereau et al. (1996), que estudaram o efeito do déficit hídrico sobre o teor de proteína e de óleo da canola por meio de um experimento em casa de vegetação realizado na França, os autores verificaram que o teor de óleo sofreu decréscimo significativo entre os tratamentos e o teor de proteína foi elevado.

Maehler et al. (2003) estudaram a qualidade de grãos de duas cultivares de soja em função da disponibilidade hídrica no solo, para isso realizaram um experimento com dois tratamentos, com irrigação e sem irrigação, os autores obtiveram um aumento de 39% no rendimento de grãos e no teor de proteína da soja irrigada, porém, não verificaram diferença significativa para o teor de óleo.

A análise de regressão para o teor de óleo nos grãos é apresentada na Figura 28.

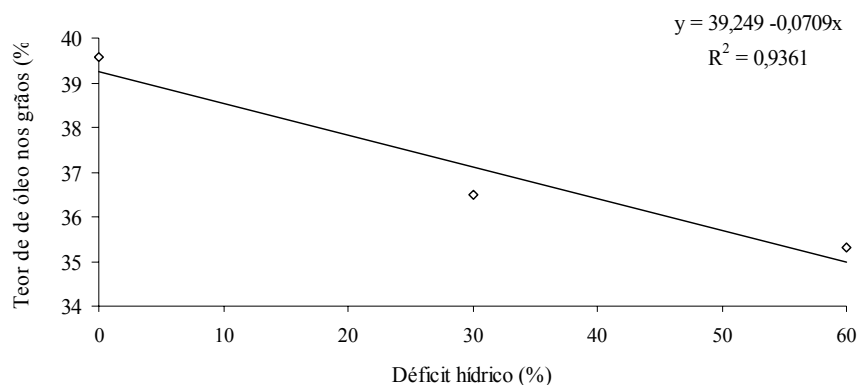


Figura 28 Efeito do déficit hídrico no teor de óleo dos grãos da cultura da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

O máximo teor médio de óleo dos grãos foi observado no tratamento com 0% de déficit hídrico, 39,57 %, posteriormente foi verificada uma redução de 0,0709% do teor de óleo para cada variação unitária crescente do déficit hídrico.

Segundo Bouchereau et al. (1996), o decréscimo na concentração do óleo nos grãos da canola exposta ao déficit hídrico é justificado pelas mudanças na disponibilidade de precursores para encher os grãos, pois segundo este autor, os órgãos reprodutivos e os grãos são construídos de recursos ou recentemente adquiridos ou anteriormente acumulados na parte vegetativa.

3.5 Análise da sensibilidade da canola ao déficit hídrico

3.5.1 Sensibilidade ao déficit hídrico dos parâmetros vegetativos da canola

A redução percentual do diâmetro do caule, número de ramos, número de folhas, número de siliquas, matéria verde total, matéria seca total,

produtividade e teor de óleo dos grãos da canola de acordo com cada déficit hídrico aplicado pode ser visualizada na Tabela 23.

Tabela 23 Relação entre o déficit hídrico aplicado e a redução nos parâmetros vegetativos (%), produtividade e teor de óleo dos grãos da canola UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

Parâmetros analisados	Déficit hídrico aplicado		
	0%	30%	60%
Diâmetro do caule (mm)	0%	2%	18%
Número de ramos	0%	4%	43%
Número de folhas	0%	14%	27%
Número de siliquas	0%	22%	26%
Matéria verde total	0%	27%	47%
Matéria seca total	0%	18%	39%
Produtividade dos grãos	0%	19%	60%
Teor de óleo dos grãos	0%	8%	11%

Observa-se que no tratamento com 30% de déficit, a matéria verde total (27%) mostrou-se como mais sensível ao déficit, seguida pelo número de siliquas (22%), produtividade de grãos (19%), matéria seca total (18%), número de folhas (14%), teor de óleo dos grãos (8%), número de ramos (4%) e diâmetro do caule (2%).

O tratamento com 60% de déficit hídrico reduziu principalmente a produtividade de grãos, com decréscimo de 60% comparado com a testemunha, seguido pela matéria verde total (47%), número de ramos (43%), matéria seca total (39%), número de folhas (27%), diâmetro do caule (18%) e teor de óleo dos grãos, respectivamente.

Observa-se que o déficit hídrico de 60% provocou redução maior em todos os parâmetros analisados, isto se deve ao acúmulo do déficit hídrico desde o início dos tratamentos.

A Tabela 23 apresenta a redução percentual do teor de óleo em função do déficit hídrico aplicado, observa-se que o déficit hídrico aplicado de 60% resultou na redução de 11% do teor de óleo.

Nas Figuras de 29 a 36 é apresentado a queda relativa dos parâmetros vegetativos, produtividade de grãos e teor de óleo dos grãos da canola em função do déficit hídrico aplicado. O indicador da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico, k_y , para todas as variáveis analisadas foi menor que um, demonstrando que a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico é proporcionalmente menor que o déficit hídrico aplicado.

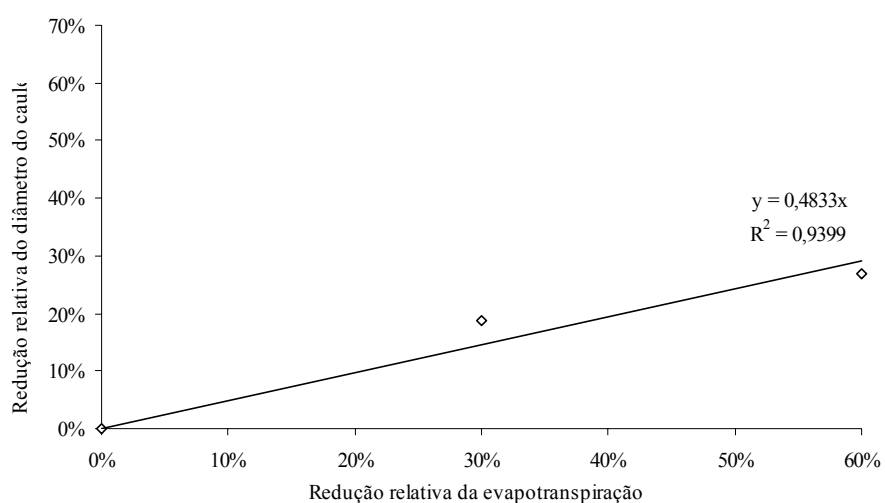


Figura 29 Redução relativa do diâmetro do caule em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

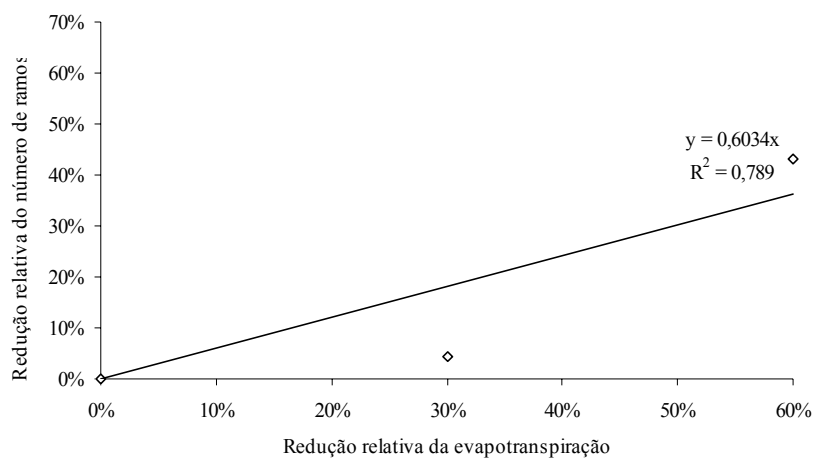


Figura 30 Redução relativa do número de ramos em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

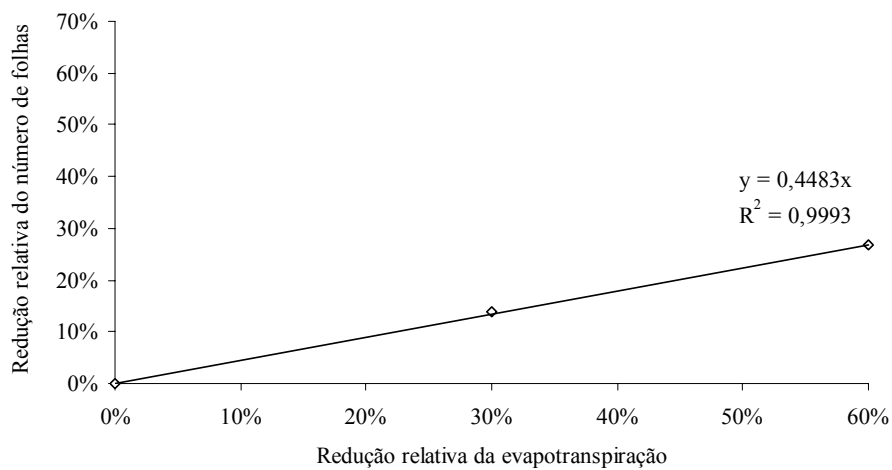


Figura 31 Redução relativa do número de folhas em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

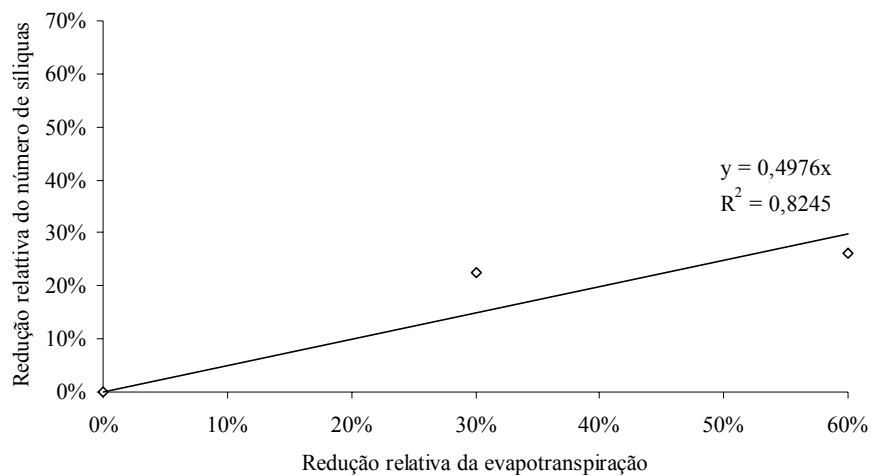


Figura 32 Redução relativa do número de siliquas em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

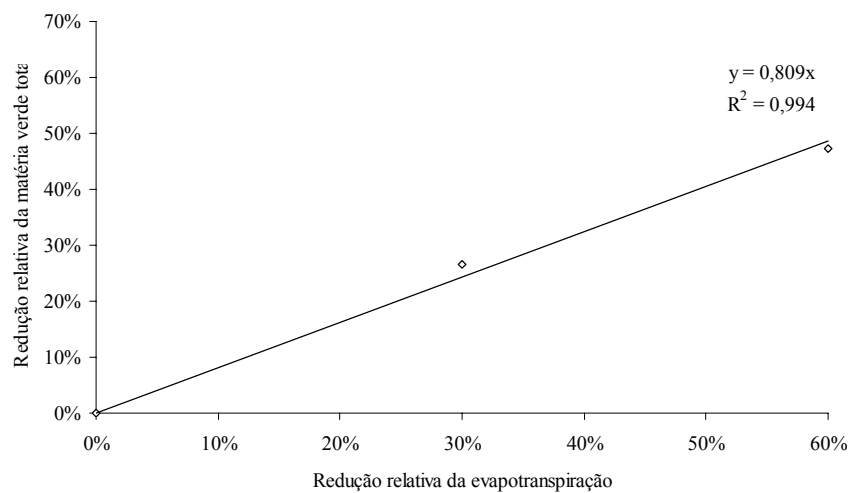


Figura 33 Redução relativa da matéria verde total em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzzenhausen, Hessen, 2009

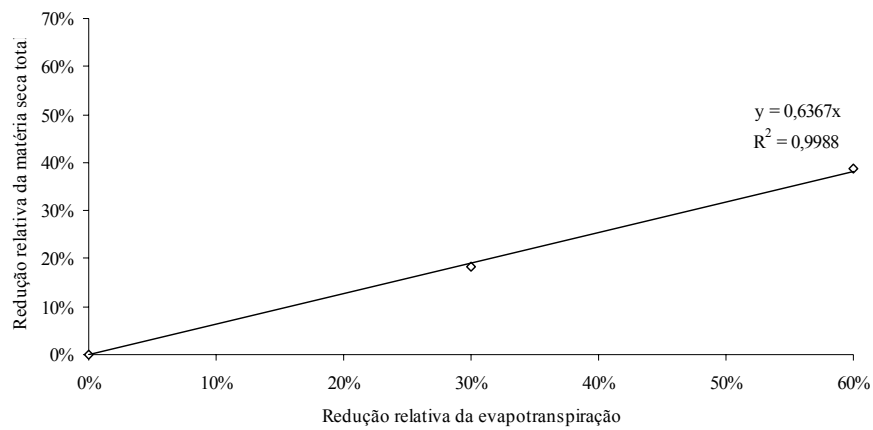


Figura 34 Redução relativa da matéria seca total em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

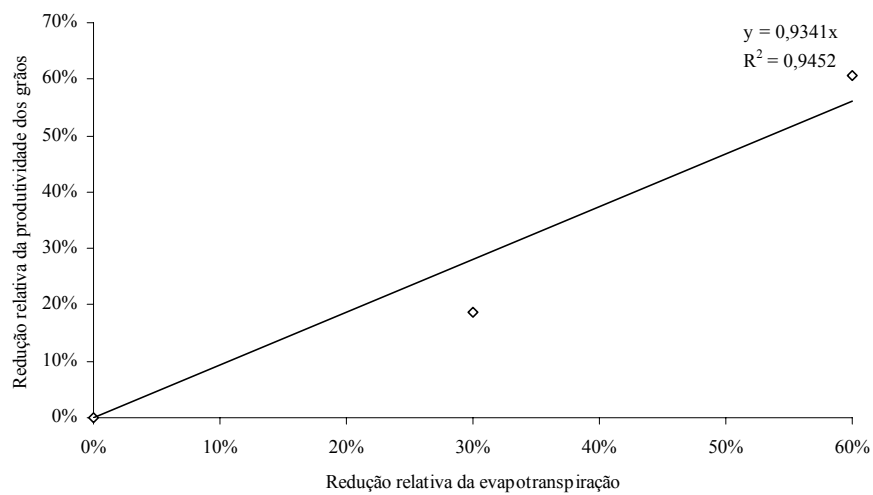


Figura 35 Redução relativa da produtividade dos grãos da canola em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

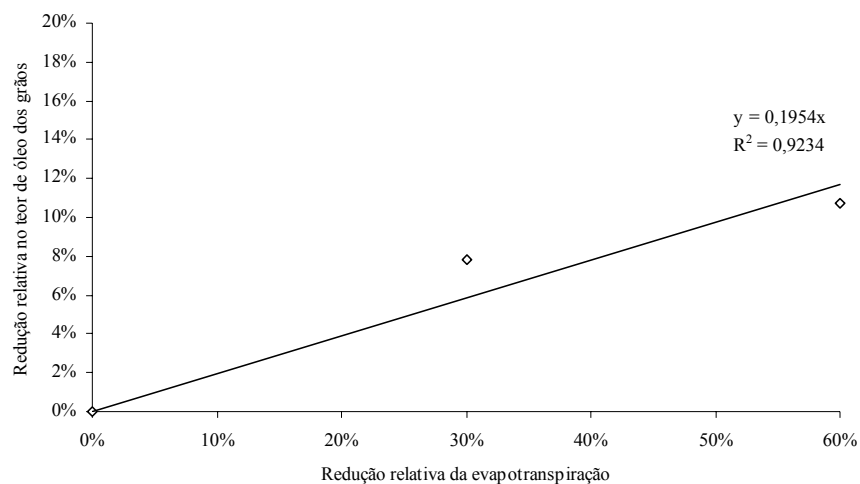


Figura 36 Redução relativa no teor de óleo dos grãos da canola em função da redução relativa da evapotranspiração da canola. UNIKASSEL, Witzenhausen, Hessen, 2009

A produtividade dos grãos foi o parâmetro que apresentou maior sensibilidade ao déficit hídrico, com k_y de 0,934, seguido pela matéria verde total (k_y : 0,809), matéria seca total (k_y : 0,6367), número de ramos (k_y : 0,6034), número de síliquas (k_y : 0,4976), diâmetro do caule (k_y : 0,4833), número de folhas (k_y : 0,4483) e teor de óleo (k_y : 0,1954).

A redução na produtividade de grãos devido ao déficit hídrico na cultura da canola foi verificado por outros autores, como Sinaki et al. (2007), Bouchereau et al. (1996), Taylor et al. (1991), Champolivier e Merrien (1996), corroborando desta forma os resultados obtidos.

Payero et al. (2008) estudaram o efeito de diferentes níveis de déficit hídrico na cultura do milho na região de Nebraska (EUA), os autores encontraram o fator de resposta do rendimento, k_y , de 1,58. Oktem (2008) estudou a sensibilidade do rendimento do milho doce na Turquia, aplicando déficit hídrico de 10% a 30% da evaporação do tanque classe A, os autores

encontraram o fator de resposta da produtividade ao déficit hídrico de 0,82 a 1,43. Calvache et al. (1997) obtiveram o fator de resposta (ky) do feijão de 2,2 quando o déficit hídrico ocorreu durante o enchimento de vagens da cultura, demonstrando ser este o período de maior sensibilidade da cultura a deficiência hídrica.

4 CONCLUSÕES

Foi verificada diferença significativa entre os tratamentos de 0%, 30% e 60% de déficit de irrigação para as variáveis: diâmetro do caule; número de folhas; número de galhos, número de síliquas, matéria verde e matéria seca, produtividade de grãos e teor de óleo.

A relação entre queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, (k_y), foi menor que um para todas as variáveis analisadas, demonstrando que os fatores analisados sofrem um decréscimo inferior ao decréscimo percentual da água aplicada.

A produtividade de grãos apresentou maior sensibilidade ao déficit hídrico, demonstrando que a irrigação pode trazer benefícios para a produtividade de grãos da cultura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A canola apresentou resposta significativa a diferentes tensões de água no solo com irrigação suplementar. A irrigação pode ser realizada na região estudada quando a tensão da água no solo atingir 20 kPa.

A canola não apresentou resposta a diferentes lâminas de reposição de água no solo, devido às precipitações ocorridas durante a aplicação dos tratamentos e pelo período reduzido de aplicação dos mesmos, justificado pela manifestação de fungo de solo que dificultou o desenvolvimento inicial da cultura. Novos estudos podem ser realizados para determinar a lâmina ótima para a obtenção do máximo rendimento físico e econômico da canola com diferentes lâminas irrigação. Experimentos desta ordem podem ser realizados em ambiente protegido, evitando assim, a interferência das precipitações naturais nos resultados esperados.

A canola apresentou resposta significativa a aplicação de diferentes níveis de déficit hídrico em ambiente protegido, demonstrando que a canola apresenta sensibilidade proporcional ao déficit hídrico aplicado quando a irrigação é responsável pela reposição total da evapotranspiração da cultura. Desta forma, irrigação com déficit na canola deve ser evitada.

Todos os parâmetros que apresentaram resposta significativa aos tratamentos apresentaram resposta linear ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- BANUELOS, G. S.; BRYLA, D. R.; COOK, C. G. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central Califórnia. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 15, p. 237-245, May 2002.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BOUCHEREAU, A. et al. Water stress effects on rapeseed quality. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 19-30, 1996.
- CALVACHE, A. M. et al. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 232-240, 1997.
- CANOLA COUNCIL OF CANADÁ. **Canola growers manual**. 2003. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx>. Acesso em: 20 jun. 2008.
- CHAMPOLIVIER, L.; MERRIEN, A. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. **European Journal of Agronomy**, Paris, v. 5, n. 3/4, p. 153-160, 1996.
- CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.
- CORDEIRO, L. A. M. **Avaliação de características agronômicas e qualidade de sementes de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) cultivada em Viçosa – MG**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 103 p.

DETAR, W. R. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 69-76, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

FARRE, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays L.*) and sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, n. 5, p. 135-143, 2006.

FERREIRA, D. F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados: SISVAR**. Lavras: UFLA, 1999.

FRIZZONE, J. A. et al. Lâminas de água e doses de nitrogênio na produção de aveia (*Avena sativa L.*) para forragem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 578-586, 1995.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.

KHAN, S.; HANJRA, M. A.; MU, J. Water management and crop production for food security in China: a review. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 349-360, 2009.

MAEHLER, A. R. et al. Qualidade de grãos de duas cultivares de soja em função da disponibilidade de água no solo e arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 213-218, mar./abr. 2003.

OKTEM, A. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 9, p. 1003-1010, 2008.

PAYERO, J. O. et al. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 8, p. 895-908, 2008.

PAYERO, J. O. et al. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 101-112, July 2006.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: fact or fiction? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, p. 5-22, Feb. 2006.

SANGTARASH, M. H. et al. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 66, n. 2, p. 212-219, 2009.

SINAKI, J. M. et al. The effects of water déficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**, Egypt, v. 2, n. 4, p. 417-422, 2007.

TAYLOR, A. J.; SMITH, C. J.; WILSON, I. B. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). **Fertilizer Research**, Holanda, v. 29, n. 3, p. 249-260, 1991.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Passo Fundo, 2007. 32 p.

ZHANG, B. et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid área. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 28-42, 2006.

ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agriculture Water Management**, Amsterdam, v. 69, n. 2, p. 115-133, 2004.

ANEXOS

ANEXO A - Características do Híbrido Ability



Innovation für Ihr Wachstum

Deutsche Saatveredelung AG

Weissenburger Straße 5

D-59557 Lippstadt

Fon +49-(0)2941-296-0

Fax +49-(0)2941-296-100

ABILITY

Sommerraps

Kurz, früh, stark in Korn- und Ölertrag

Mit der Sorte Ability ist eine kurze und frühe Sorte in die deutsche Sortenliste eingetragen worden. Mit früher bis mittlerer Reife und einer sehr guten Gesundheit ist die Sorte mit ihren agronomischen Eigenschaften im oberen Mittelfeld zu finden. Mit einem Kornertrag von 7 und dem Ölertrag von 7 stellt sie eine neue Qualität unter den Sommerrapsen dar.

Neben den hohen bis sehr hohen Kornerträgen verfügt Ability über eine hohe Ölgehaltseinstufung unter den Sommerrapsorten. Wie bei Winterraps kann

auch bei Sommerraps mit Ölgehalten von 42,5 % bei Ability eine qualitätsbetonte Verrechnung der Ernte erfolgen.

Damit wird die Rentabilität des Sommerrapses in ganz besonderer Weise gestützt. Sommerraps wird somit in speziellen Anbaugebieten zur Konkurrenz des Winterrapses.

Sortenpass

Marktleistung*	8
Ölgehalt	7
Ölertrag	8
Kornertrag	7
Blüte	2
Reife	4
Anfälligkeit für Phoma	--keine Angaben--
Neigung zu Lager	5

*Züchterangabe; Beschreibung nach BSA Liste 2008
1 = sehr früh/sehr niedrig; 9 = sehr spät/sehr hoch

Aussaathinweise

Saatzeit 15. März - 15. April

Saattiefe 1-2 cm bei feuchtem Saatbett, 3-4 cm bei Trockenheit

Saatstärke 80 Körner bei früher Aussaat; 100 Körner bei späterer Aussaat

Beize Premium

Produktionsverfahren

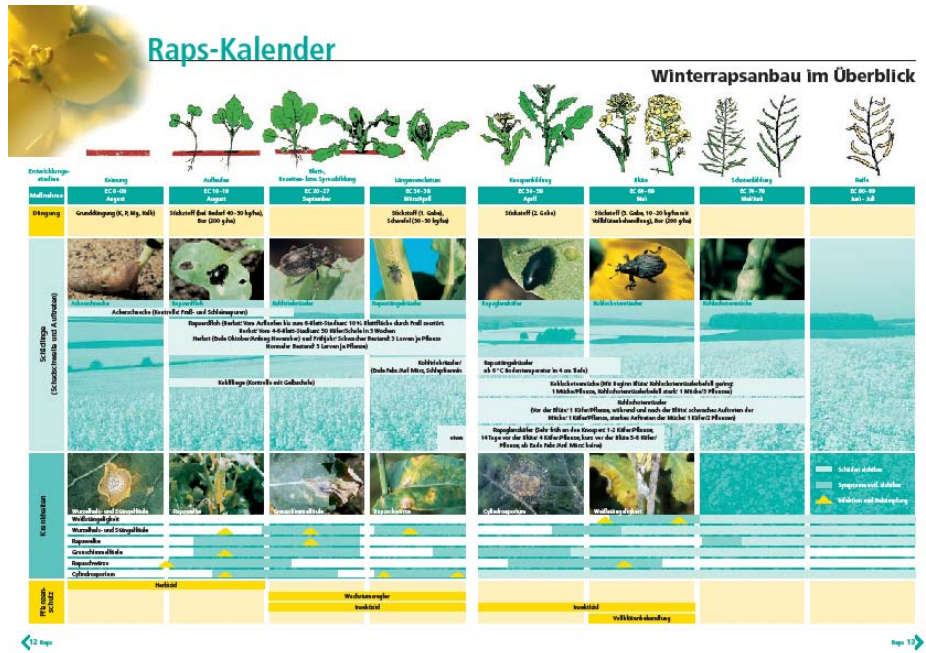
Bodenbearbeitung	tief lockernd nach Pflug
Herbizideinsatz	angepasster früher Herbizideinsatz (Butisan)
N Menge Frühjahr	120 - 140 kg/ha
N Verteilung	80 % zur Saat, 20% ab 40 cm Wuchshöhe
Gülldüngung	nicht geeignet
Wachstumsregulator Frühjahr	0,5 l/ha ab 40 cm Wuchshöhe

Fungizid Vollblüte	empfohlen nur bei Bedarf (späterer Erntetermin)
weitere Beh. Vollblüte	10 % N (max. 80 l AHL mit mind. 240 l Wasser), Insektizid sowie 200 g Bor/ha

Besonderheiten

Bodenanspruch	mittlere Böden AZ 40 - 60
Standort/Klima	schwere, feuchte Standorte, Fluß- und Seemarsch - sandiger Lehm
Ernteverhalten	mittel
Frühjahrsentwicklung	vital
Empfohlen	mehrfache Insektenbekämpfung mit Insektiziden Typ II (z.B. Biscaya) zum Termin Winterrapsblüte

ANEXO B - Calendário de desenvolvimento da Canola na Alemanha



ANEXO C - Balanço hídrico diário realizado durante a aplicação de diferentes níveis de déficit hídrico na canola

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
07 de abril	700	0	700	700	700
08 de abril	100	0	100	100	100
9 de abril	100	0	100	100	100
10 de abril	0	0	0	0	0
11 de abril	100	0	100	100	100
12 de abril	0	0	0	0	0
13 de abril	100	0	100	100	100
14 de abril	0	0	0	0	0
15 de abril	100	0	100	100	100
16 de abril	0	0	0	0	0
17 de abril	0	0	0	0	0
18 de abril	0	0	0	0	0
19 de abril	200	0	200	200	200
20 de abril	0	0	0	0	0
21 de abril	0	0	0	0	0
22 de abril	400	0	400	400	400
23 de abril	200	98.5	102	102	102
24 de abril	0	0	0	0	0
25 de abril	100	19	81	57	33
26 de abril	100	60	40	28	16
27 de abril	60	17	43	30	17
28 de abril	60	17	43	30	17
29 de abril	50	25	25	18	10
30 de abril	50	25	25	18	10

Continua...

Continuação

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
01 de Maio	40	16	24	17	10
2 de Maio	20	0	20	14	8
3 de Maio	0	0	0	0	0
4 de Maio	50	0	50	35	20
5 de Maio	100	2	98	69	39
6 de Maio	100	44	56	39	22
7 de Maio	60	11	49	34	20
8 de Maio	50	3	47	33	19
9 de Maio	50	6	44	31	18
10 de Maio	50	7	43	30	17
11 de Maio	50	0	50	35	20
12 de Maio	80	0	80	56	32
13 de Maio	100	12	88	62	35
14 de Maio	90	11	79	56	32
15 de Maio	80	9	71	50	29
16 de Maio	70	7	63	44	25
17 de Maio	65	0	65	46	26
18 de Maio	100	0	100	70	40
19 de Maio	120	0	120	84	48
20 de Maio	150	0	150	105	60
21 de Maio	200	14	186	130	74
22 de Maio	190	8	182	127	73
23 de Maio	200	43	157	110	63
24 de Maio	150	5	145	102	58
25 de Maio	170	0	170	119	68
26 de Maio	200	0	200	140	80

Continua...

Continuação

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
27 de Maio	250	0	250	175	100
28 de Maio	400	37	363	254	145
29 de Maio	400	74	326	228	130
30 de Maio	330	71	259	181	104
31 de Maio	300	23	277	194	111
1 de junho	300	0	300	210	120
2 de junho	400	30	370	259	148
3 de junho	400	30	371	259	148
4 de junho	400	32	368	258	147
5 de junho	370	96	274	191	109
6 de junho	280	6	274	192	110
7 de junho	300	18	282	198	113
8 de junho	320	12	308	216	123
9 de junho	380	30	350	245	140
10 de junho	380	24	356	249	142
11 de junho	380	51	329	230	132
12 de junho	330	36	294	206	118
13 de junho	294	49	245	171	98
14 de junho	245	0	245	172	98
15 de junho	500	0	500	350	200
16 de junho	800	244	556	389	222
17 de junho	600	157	443	310	177
18 de junho	450	213	237	166	95
19 de junho	240	0	240	168	96
20 de junho	200	30	170	119	68
21 de junho	250	0	250	175	100

Continua...

Continuação

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
22 de junho	300	0	300	210	120
23 de junho	450	19	431	302	172
24 de junho	500	62	438	307	175
25 de junho	450	76	374	262	150
26 de junho	400	31	369	258	148
27 de junho	370	148	222	155	89
28 de junho	230	0	230	161	92
29 de junho	300	0	300	210	120
30 de junho	400	35	365	256	146
01 de julho	370	2	368	257	147
2 de julho	370	0	370	259	148
3 de julho	400	21	379	265	152
4 de julho	400	0	400	280	160
4 de julho	400	50	350	245	140
5 de julho	350	62	288	202	115
5 de julho	400	54	346	242	138
6 de julho	350	77	273	191	109
7 de julho	350	19	332	232	133
8 de julho	350	37	313	219	125
9 de julho	320	51	269	188	107
10 de julho	280	27	253	177	101
11 de julho	250	42	208	146	83
12 de julho	210	1	209	146	84
13 de julho	250	10	240	168	96
14 de julho	350	17	333	233	133
15 de julho	400	57	343	240	137

Continua...

Continuação

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
15 de julho	350	100	250	175	100
16 de julho	250	60	190	133	76
16 de julho	250	39	212	148	85
17 de julho	250	40	210	147	84
18 de julho	250	51	199	139	79
19 de julho	200	0	200	140	80
20 de julho	250	19	231	162	92
20 de julho	250	62	188	132	75
21 de julho	200	71	129	90	52
21 de julho	150	0	150	105	60
22 de julho	250	45	205	143	82
22 de julho	210	66	144	101	57
23 de julho	150	51	99	69	40
23 de julho	100	0	100	70	40
24 de julho	150	0	150	105	60
24 de julho	250	88	162	113	65
25 de julho	200	10	190	133	76
25 de julho	200	31	169	118	68
26 de julho	200	39	161	113	65
26 de julho	200	11	189	132	76
27 de julho	200	94	106	74	42
27 de julho	200	9	191	134	76
28 de julho	250	35	215	151	86
28 de julho	250	32	218	153	87
29 de julho	250	31.6	218.4	153	87
29 de julho	230	49.9	180.1	126	72

Continua...

Continuação

Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
30 de julho	200	13.85	186.15	130	74
30 de julho	250	25.85	224.15	157	90
31 de julho	200	45.3	154.7	108	62
31 de julho	160	0	160	112	64
01 de agosto	200	8.8	191.2	134	76
01 de agosto	200	9.25	190.75	134	76
2 de agosto	300	27.35	272.65	191	109
3 de agosto	200	68.6	131.4	92	53
3 de agosto	150	0	150	105	60
4 de agosto	150	33.45	116.55	82	47
4 de agosto	120	0	120	84	48
5 de agosto	130	0	130	91	52
5 de agosto	200	0	200	140	80
6 de agosto	250	29.5	220.5	154	88
6 de agosto	250	41.65	208.35	146	83
7 de agosto	210	28.5	181.5	127	73
8 de agosto	350	50.15	299.85	210	120
8 de agosto	300	79.3	220.7	154	88
9 de agosto	230	112.7	117.3	82	47
9 de agosto	150	42.05	107.95	76	43
10 de agosto	110	52.25	57.75	40	23
11 de agosto	100	12.85	87.15	61	35
11 de agosto	100	25.9	74.1	52	30
12 de agosto	150	39.35	110.65	77	44
13 de agosto	110	8.95	101.05	71	40
14 de agosto	150	25.65	124.35	87	50

Continua...

Conclusão					
Data	Irrigação - quantidade de água aplicada – ml vaso ⁻¹				
	0%			30%	60%
	Irrigação (ml)	Drenagem	ET		
15 de agosto	150	29.05	120.95	85	48
16 de agosto	150		150	105	60
Total (litros)			28199	19739	11279