

ISSN 0104-1347

Avaliação do efeito do estresse hídrico no rendimento do feijoeiro por sensoriamento remoto termal

Evaluation of the water stress' effect in the yield of the bean plant using thermal remote sensing

José Queiroga Nóbrega¹, Tantravahi Venkata Ramana Rao², Napoleão Esberard de Macedo Beltrão³ e José Fideles Filho¹

Resumo - Neste trabalho teve-se como objetivo avaliar a relação entre os componentes de estresse hídrico e o rendimento na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), por meio de técnicas de sensoriamento remoto termal. O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos basearam-se em diferentes lâminas de irrigação: 80,0, 160,0, 320,0 e 140,2 mm, distribuídas nas fases fenológicas da cultura. O aumento nos rendimentos foi maior nas plantas com maior suprimento de água. Valores dos componentes de estresse hídrico da cultura apresentaram boa consistência de resultados, verificando-se maiores temperaturas do dossel em plantas com restrições de umidade. As diferenças de temperatura do dossel e do ar apresentaram valores positivos, o que indica a ocorrência de estresse hídrico quando a cultura foi submetida a menores disponibilidades de água. O índice de graus dias de estresse evidenciou, no tratamento com redução de umidade no solo, níveis de estresse durante todo o ciclo da cultura. Verificou-se que o rendimento relacionou-se estreitamente com os componentes de estresse hídrico.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, temperatura, umidade do solo, rendimento.

Abstract - The objective of this research is to evaluate the relationship between the components of water stress and yield of a bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.), using thermal remote sensing techniques. The statistical design used was the randomized blocks, with four treatments and four replications. The treatments were based on different irrigation levels: 80.0, 160.0, 320.0 e 140.2 mm, distributed in the different phenological phases of the crop. The increase in yield was higher in plants with higher supply of water. Values of water stress components showed a good consistency of results, with larger canopy temperatures in plants with moisture restrictions. The differences between the canopy and air temperatures presented positive values that indicate the occurrence of water stress when the crop was submitted to lower supply of water. The stress degree day index evidenced increased stress levels during the whole crop cycle with limited water supply. The results indicate the relation between the yield and the components of water stress.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, temperature, soil moisture, yield.

Introdução

A elevada sensibilidade do feijoeiro ao estresse hídrico é devido à baixa capacidade de recuperação após o déficit e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido, determinando, portanto, a oscilação do rendimento dessa cultura (GUIMARÃES,

1988). O autor afirma também, que o déficit ou o excesso de água sobre a cultura atua na maioria dos processos fisiológicos e morfológicos das plantas, afetando os componentes do rendimento. A intensidade dos danos ocasionados pela deficiência ou excesso depende da duração, da intensidade, da

¹EMEPB-PB, Estrada da Imbaúba, km 3, Lagoa Seca, PB. E-mail: nobregajq@uol.com.br

²DCA/CCT/UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande-PB. E-mail: ramana@dca.ufcg.edu.br

³EMBRAPA, R. Oswaldo Cruz, 1143, CEP 58107-720, Campina Grande-PB. E-mail: nbeltrão@cnpa.embrapa.br

frequência e da época de sua ocorrência. O excesso de água no solo causa prejuízo à cultura devido à redução de oxigênio, o qual interfere no metabolismo da planta e na atividade microbiana do solo. Na falta de umidade, as sementes, ao invés de germinarem, deterioram-se ou, se germinarem, as plântulas não rompem a crosta superficial do solo, reduzindo assim a densidade populacional. Durante a fase vegetativa, o déficit hídrico tem efeito indireto na produção de grãos, pela redução da área assimilatória. A ocorrência de déficit na floração provoca aborto e queda de flores, com redução no número de vagens por planta; se ocorre no enchimento de vagens, prejudica a formação das sementes ou reduz a sua massa (KRAMER, 1983; GUIMARÃES *et al.*, 1982).

A temperatura das folhas tem sido amplamente utilizada como um indicador da disponibilidade de água nas plantas. Estudos têm evidenciado que o uso da temperatura do dossel vegetativo é uma ferramenta de grande importância na determinação de estresse hídrico, baseada na hipótese de que a água transpirada pela folha, ao evaporar-se, produz o seu resfriamento (PAZZETTI, 1990; PITTS *et al.*, 1990; KOBAYASHI, 1996).

Uma cultura submetida à deficiência hídrica apresenta a temperatura das folhas superior à temperatura do ar perto do dossel. Quando o grau de deficiência hídrica aumenta, a diferença entre a temperatura do topo da cultura e a temperatura do ar também aumentam (JACKSON, 1982; SILVA, 1994).

Vários índices têm sido citados na literatura para quantificar o estado hídrico de uma cultura. O índice de Graus Dias de Estresse (GDE), é definido pela diferença entre a temperatura do dossel e a temperatura do ar, no instante em que a temperatura do dossel é máxima. Segundo CLAWSON *et al.* (1989), IDSO *et al.* (1977) foram os primeiros a utilizar este índice, que funciona bem em regiões áridas, como forma de estabelecer estresse hídrico da cultura. No entanto, o modelo mostrou-se inadequado em locais de alta variação diária de temperatura e de déficit de pressão de vapor.

Uma vez que o déficit hídrico constitui-se em um dos principais fatores limitantes da produtividade do feijoeiro, é importante que se estude o sistema solo-planta-atmosfera para um melhor entendimento da resposta da cultura ao estresse hídrico, já que estas informações são peculiares à cada região. No Estado da Paraíba, verifica-se uma escassez de informações a respeito dos efeitos do estresse hídrico

na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tornando-se necessários estudos que dêem subsídios para um manejo adequado dos níveis de umidade do solo, como forma de dar mais eficiência aos sistemas de produção, aproveitar melhor o potencial genético produtivo das cultivares e de proporcionar maior estabilidade à produção.

O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre os componentes de estresse hídrico (temperatura do dossel (Tc), diferença entre a temperatura do dossel e do ar (Tc-Ta) e graus dias de estresse (GDE), que é definido em materiais e métodos) e o rendimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), por meio de técnicas de sensoriamento remoto termal.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental de Lagoa Seca, da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba, EMEPA-PB. Lagoa Seca está localizada na microrregião homogênea do agreste paraibano com coordenadas geográficas de 7°09' S e 35°52' W e altitude de 634m. O clima é do tipo tropical chuvoso com estação seca no verão. A pluviosidade anual média dos últimos 14 anos é de 940 mm, com maior incidência de chuva no período entre março e agosto. A umidade relativa do ar média é de, aproximadamente, 60% e a temperatura do ar média anual é de 25°C. O solo é do tipo Neossolo Regolítico com textura arenosa, segundo laboratório da EMBRAPA-CNPq, Campina Grande-PB.

Os períodos estudados foram de maio a julho de 1999 e de janeiro a março de 2000. Nos experimentos, cada parcela ocupou uma área total de 15m² (3m x 5m), constituída por seis fileiras de 5m de comprimento, espaçadas de 0,50m entre linhas e 0,25m entre plantas. O delineamento experimental para o primeiro experimento consistiu de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. As densidades de semeadura de 80.000, 160.000, 240.000 e 320.000 plantas.ha⁻¹, representaram os tratamentos.

No segundo experimento os tratamentos constaram de quatro lâminas de água, foram utilizadas quatro repetições e a população foi de 240.000 plantas.ha⁻¹ para todos os tratamentos. Os tratamentos desse experimento basearam-se na umidade do solo e em dados de precipitação pluvial ocorrida no

primeiro experimento, que teve como objetivo definir a densidade populacional, que proporcionou maior rendimento, e as lâminas de irrigação a serem aplicadas.

Durante o ciclo da cultura obtiveram-se dados de precipitação pluvial, que foram relacionados com as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. O total de água precipitada foi de 182,5mm, assim distribuídos: 64mm foram verificados na fase I - germinação ao início da floração, com duração de 32 dias; 37,5mm na fase II - floração, com duração de 15 dias e 81mm na fase III - desenvolvimento de vagens à maturidade, com duração de 27 dias. Partindo desses dados de precipitação pluvial, o total de água de cada fase foi transformado em consumo diário e aplicado no segundo experimento, em turno de rega de 3 dias nos tratamentos: no primeiro, empregou-se a metade da quantidade de água do experimento anterior (1; 1,25 e 1,5mm de água diária nas respectivas fases); no segundo, a lâmina de irrigação empregada foi a mesma da precipitação pluvial ocorrida no primeiro experimento (2; 2,5 e 3mm de água diária por fase) e no terceiro, foi utilizado o dobro da quantidade de água usada no segundo tratamento (4; 5 e 6mm.dia⁻¹ por fase); no quarto tratamento utilizaram-se 1,53, 2,5 e 2,9mm.dia⁻¹ por fase, com base na depleção (Dep) do feijoeiro e na umidade do solo. Esta foi monitorada utilizando-se sensores de extensão prolongada Gro-Point™, ajustados pelo método gravimétrico.

Antecedendo a semeadura até o início da diferenciação dos tratamentos foram feitas sete irrigações em todo o experimento, totalizando 21mm de água aplicada. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas para que o solo atingisse um índice de umidade que favorecesse a emergência e o estabelecimento da cultura. A diferenciação dos tratamentos, quanto à irrigação, teve início aos 22 dias após a semeadura (DAS) com a cultura na fase de emissão da terceira folha trifoliada. A partir dessa data, a irrigação foi iniciada de modo diferenciado, conforme os tratamentos.

O sistema de irrigação adotado foi o manual, conforme BRAGA (1996) que relata que esse sistema fornece uma uniformidade de distribuição de água bem elevada. Nesse sistema, o emissor consiste de um tubo de PVC (2,54cm) perfurado a cada 5cm, para a saída da água de irrigação, com 3m de comprimento e apoio em cada extremidade, para manuseio dos operadores, os quais se deslocavam num movimento de vai-e-vem, ao longo do compri-

mento da parcela. Numa das extremidades do tubo foi conectada uma mangueira flexível, que serviu para abastecer o sistema.

A determinação da porcentagem de umidade do solo (U), que define o início da irrigação, foi obtida pela fórmula:

$$U = \{[(CC - PM) (1 - Dep)] + PM\} \quad (1)$$

em que CC é a capacidade de campo (%); PM o ponto, de murcha (%); Dep o limite máximo de perda de umidade da planta (45%).

A quantidade de água aplicada no tratamento foi definida pela seguinte fórmula:

$$L = (CC - U) (Prof/100) \quad (2)$$

em que U é a umidade do solo (%) e Prof, o raio de atuação do sensor em conformidade com o comprimento das raízes (cm).

Utilizou-se a cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Princesa (grupo carioca) que apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo III, porte semiprostado. Semanalmente, foram coletadas três plantas por tratamento nas quatro repetições, para a determinação da fitomassa (w), e analisadas conforme as diferentes fases fenológicas do feijoeiro. As amostras foram colocadas em estufa a 70°C até atingirem peso seco constante. Após o material ser retirado da estufa, foi pesado em balança, com resolução de 0,01g.

A temperatura do dossel da cultura foi obtida com um termômetro infravermelho AG-42, da Telatemp, com as seguintes características técnicas: resolução de 0,1°C e precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e ângulo de visada de 5°, sendo, também, um detector de radiação eletromagnética na faixa de 10,0 μm a 12,5 μm . A temperatura do dossel (Tc) foi obtida, diariamente, nos horários entre 12 e 14 horas local, em condições de céu claro. Em cada parcela foram feitas duas medidas, com o termômetro infravermelho posicionado num ângulo aproximadamente de 30° em relação à superfície do dossel vegetal, a uma distância de aproximadamente 0,5m.

O Índice de Graus Dias de Estresse (GDE) é utilizado para avaliar o grau de estresse hídrico da cultura, e por meio dele, prever o seu rendimento, definido como:

$$GDE = \sum_{i=1}^n (Tc - Ta) \quad (3)$$

em que T_c é a temperatura do dossel da cultura, T_a a temperatura do ar, i o dia considerado, o 1º dia é, geralmente quando iniciam os tratamentos, e n o dia final, geralmente quando ocorre a colheita.

O rendimento da cultura nos diferentes tratamentos foi calculado com a massa de grãos a 13% de umidade, em todas as parcelas experimentais. Os dados de rendimento foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A relação entre graus dias de estresse (GDE) e o rendimento foi estudada por meio de análise de regressão linear simples.

Resultados e discussão

Verifica-se na, Figura 1, o estado térmico do dossel do feijoeiro submetido a diferentes tratamentos de disponibilidade de água no solo. Observa-se na primeira fase, entre 23 e 31 dias após a semeadura (DAS), que a temperatura do dossel vegetal variou em função dos tratamentos, inversamente às quantidades de água aplicada. Esse resultado pode ser atribuído também à pequena área foliar no período, favorecendo a incidência dos raios solares no solo, o que provoca maior evaporação e, conseqüentemente, déficit hídrico.

Ocorrendo uma redução de água no solo, um aumento na temperatura do dossel é inevitável

(BASCUR *et al.*, 1985; ASTON & VAN BAVEL, 1972). Também nesta primeira fase, observa-se que dos 31 DAS até o final, as temperaturas do dossel, inicialmente, decresceram e a seguir apresentaram um crescimento, sem existirem, no entanto, variações entre os tratamentos, possivelmente devido à estabilidade da área foliar.

Nas fases seguintes, as diferenças entre as temperaturas tornaram-se menos evidentes, provavelmente devido a um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas dos tratamentos com menor disponibilidade de água no solo. As raízes, ao crescerem e se desenvolverem, aprofundaram-se, exploram camadas do solo com disponibilidade suficiente de umidade, o que impediu a diferenciação entre as temperaturas do dossel das plantas.

Na Figura 2 são vistos os diferenciais da temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$) durante o ciclo do feijoeiro. Observa-se, na primeira fase fenológica, que o tratamento 1, dos 23 aos 29 DAS apresentou valores positivos, o que indica maiores temperaturas do dossel e, portanto, ocorrência de estresse hídrico. A razão, para este aumento da temperatura, foi motivado pelo menor suprimento de água e pela incidência de radiação direta no solo, em função da menor área foliar, em relação aos demais tratamentos com maiores disponibilidades de água no solo. Dos 30 até os 61 DAS, todos os tratamentos tiveram pouca variação nos diferenciais de tempera-

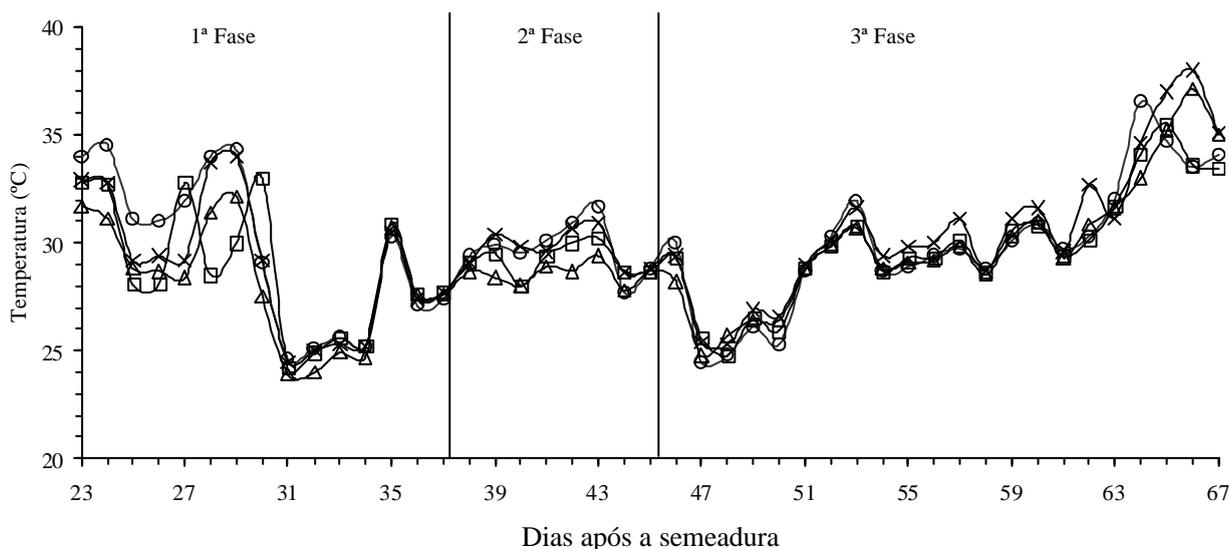


Figura 1. Temperatura do dossel (T_c), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida às lâminas de irrigação: T1 - 80,0 (o), T4 - 140,2 mm (X), T2 - 160,0 () e T3 - 320,0 (Δ).

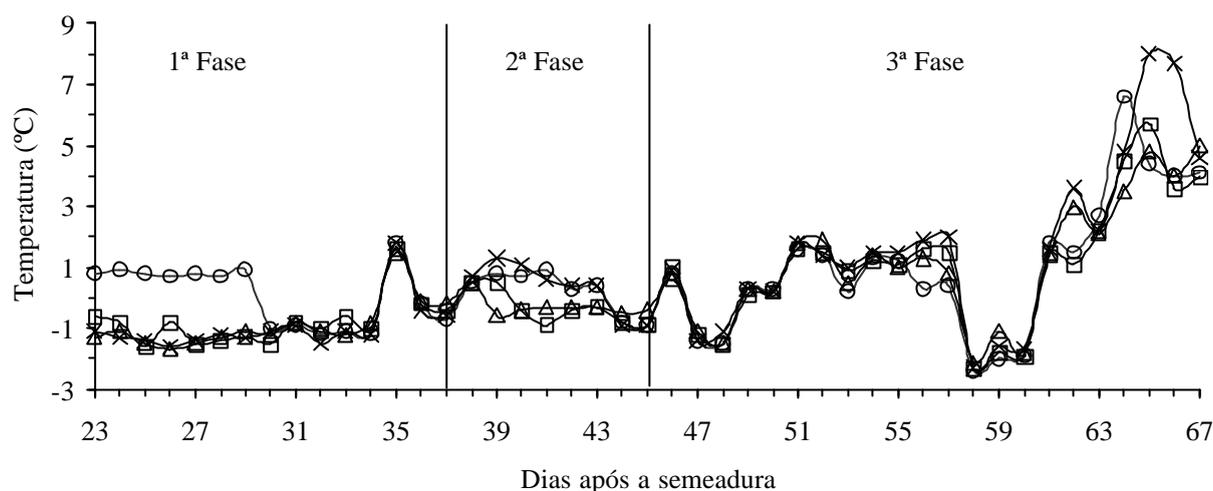


Figura 2. Diferença entre a temperatura do dossel e do ar ($T_c - T_a$), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetida às lâminas de irrigação: T1 - 80,0 (o), T4 - 140,2 mm (X), T2 - 160,0 () e T3 - 320,0 (Δ).

tura do dossel. PAZZETTI et al (1993) encontraram resultados semelhantes no feijoeiro.

As variações de valores positivos e negativos verificaram-se conforme o turno de rega até os 61 DAS, a partir daí os valores de ($T_c - T_a$) tornaram-se positivos, devido à maturação das plantas, como também à suspensão da irrigação.

Os índices de graus dias de estresse (GDE) do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados durante o ciclo da cultura são apresentados na Figura 3. Verifica-se que as diferenças acumuladas entre ($T_c - T_a$) dos 23 aos 67 DAS foram distintas em cada tratamento e, conseqüentemente, variaram com o

estado hídrico da cultura. Observa-se que o tratamento 1, durante todo o ciclo do feijoeiro, manteve-se com valores acumulados de ($T_c - T_a$) sempre positivos, o que indica uma deficiência hídrica.

Os tratamentos 2, 3 e 4 mantiveram-se com valores acumulados negativos até início da maturação, quando foram verificados valores positivos sem, no entanto, alterar as condições de plantas não estressadas. Observa-se, claramente, a influência da umidade do solo condicionada pelos tratamentos. Verifica-se que os valores negativos foram proporcionais às irrigações submetidas 160,0, 320,0 e 140,2mm de água, em todo o ciclo do feijoeiro.

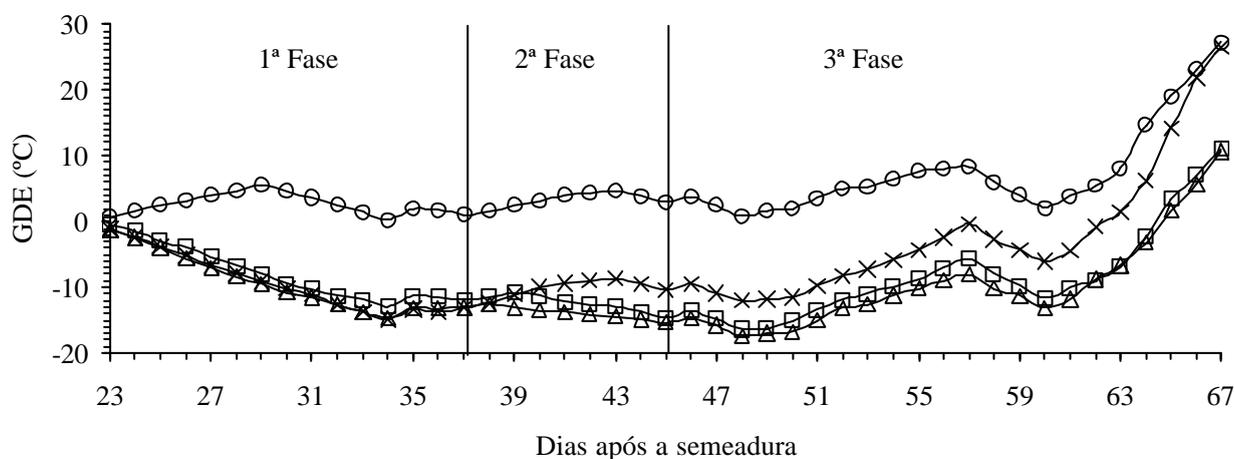


Figura 3. Graus dias de estresse (GDE), em relação aos dias após a semeadura, nas diferentes fases do feijoeiro, submetido às lâminas de irrigação: T1 - 80,0 (o), T4 - 140,2 mm (X), T2 - 160,0 () e T3 - 320,0 (Δ).

Os tratamentos causaram efeitos diferenciados nos componentes de estresse hídrico (Tabela 1). Proporcional à redução das lâminas de água na irrigação, houve um acréscimo nos valores da temperatura do dossel (Tc), refletindo nos valores dos diferenciais de temperatura do dossel e do ar (Tc - Ta) e de GDE, que expressa as condições hídricas das plantas.

Os rendimentos do feijoeiro foram diretamente proporcionais às variações das diferenças acumuladas do (Tc - Ta) na cultura (Figura 4). PAZZETTI *et al.* (1993) também constataram relações entre o aumento dos valores dos componentes de estresse hídrico com o decréscimo do rendimento do feijoeiro.

Observações permitem evidenciar a vantagem da termometria infravermelha na avaliação do estado hídrico do feijoeiro. PAZZETTI *et al.* (1993) constataram ainda que a termometria infravermelha pode ser empregada no monitoramento da irrigação. Além disso, a temperatura do dossel pode ser obtida de forma rápida e exata mediante o uso de termômetro infravermelho pela medição da intensidade da radiação infravermelha emitida pela superfície foliar.

IDSO *et al.* (1977) admitem a limitação no uso da termometria infravermelha em regiões com altas variações diárias de temperatura e de déficit de pressão de vapor. Entretanto, para EHRLER & VAN BAVEL (1973), se os efeitos da pressão de vapor forem levados em conta, a temperatura das folhas pode ser considerada como um bom indicador de estresse hídrico.

Conclusões

1. A termometria infravermelha é adequada para avaliar os níveis de estresse hídrico, todavia, tornam-

se necessárias mais investigações relacionadas com a umidade relativa do ar e a temperatura noturna, tendo em vista a sua grande influencia na diminuição dos efeitos do estresse hídrico no feijoeiro.

2. Os componentes de estresse hídrico são influenciados pelos níveis de umidade do solo, verificam-se maiores temperaturas do dossel em plantas com restrições de umidade, o que indica estresse hídrico, determinando a oscilação do rendimento da cultura.
3. À medida que aumentou o grau de estresse, como refletido pelo GDE, houve um proporcional decréscimo na produtividade da cultura, aplicado pela equação: $y = 1361,8 - 38,854x$.

Referências bibliográficas

- ASTON, A.R.; VAN BAVEL, C.H.M. Soil surface water depletion and leaf temperatures. *Agronomy Journal*, Madison, v. 64, n. 2, p. 368-373, 1972.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequia. I. Bases fisiológicas. *Turrialba*, San José, v. 35, n. 3, p. 43-47, 1985.
- BRAGA, M.B. **Estudo e análise da profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob quatro frequências de irrigação.** Viçosa: UFV, 1996. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- CLAWSON, K.L.; JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, n. 6, p. 858-863, 1989.
- EHRLER, W.L., VAN BAVEL, C.H.M. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agronomy Journal*, Madison, v. 65, n. 3, p. 404-409, 1973.

Tabela 1. Relação entre componentes de estresse hídrico e rendimento de grãos do feijoeiro, submetidos aos tratamentos de lâminas de irrigação.

Tratamento	Lâmina de Irrigação (mm)	Tc (°C)	Tc-Ta (°C)	GDE (°C)	Rendimento (kg/ka)
T1	80,0	29,2	0,1	3,5	1.258 c
T4	140,2	29,1	-0,1	-5,2	1.483 b
T2	160,0	28,8	-0,4	-10,4	1.796 a
T3	320,0	28,4	-0,4	-11,8	1.839 a

(1) Tc: temperatura do dossel; Tc-Ta: diferença entre a temperatura do dossel e do ar; GDE: graus dias de estresse.

(2) Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

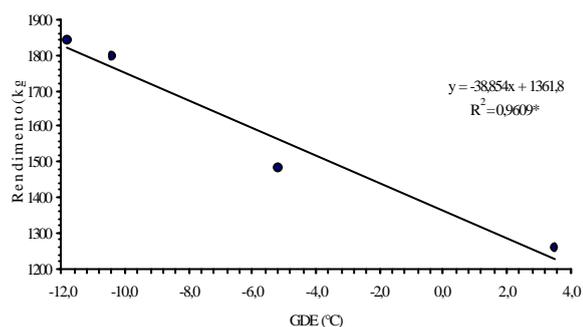


Figura 4. Relação entre rendimento de grãos e graus dias de estresse hídrico do feijoeiro, submetido a lâminas de irrigação.

GUIMARÃES, C.M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: Zimmermann, Maria José de O. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potassa e do Fosfato, 1988. c. 2, p. 157-174.

GUIMARÃES, C.M.; STEINMETZ, S.; PORTES E CASTRO, T. de A. Uso de microlisímetros na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, 1., Goiânia, 1982. **Anais...**, Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. P. 133-7.

IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.G. Remote sensing of crop yields. **Science**, Washington, v. 196, p. 19-25, 1977.

JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. **Advances in irrigation.** New York, v. 1, n. ?, p. 43-85, 1982.

KOBAYASHI, M.K. **Determinação do índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da termometria a infravermelho, e do fator de disponibilidade de água no solo, em minilísímetro de pesagem.** Viçosa: UFV, 1996. 90 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 1996.

KRAMER, P.J. Transpiration. In: **Water relations of plants.** New York: Academic Press, 1983. c. 11, p. 291-341.

PAZZETTI, G.A. **Aplicação da termometria infravermelha na irrigação das culturas do milho (*Zea mays* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1990. 61 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.

PAZZETTI, G.A.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F. Aplicação da termometria ao infravermelho à irrigação do feijoeiro: crescimento e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1371-1377, 1993.

PITTS, D.J. et al. Furrow irrigated cotton on clay soil in the Lower Mississippi River Valley. **Appl. Eng. in Agric.**, St. Joseph, v. 6, n. 12, p. 446-452, 1990.

SILVA, B.B. **Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria infravermelha.** Campina Grande: UFPB, 1994. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, 1994.