

**QUANTIFICAÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO EM ALGODOEIRO HERBÁCEO COM
TERMOMETRIA INFRAVERMELHA**

**MOISTURE STRESS QUANTIFICATION IN A COTTON CROP WITH INFRARED
THERMOMETRY**

Bernardo Barbosa da Silva¹, Tantravahi Venkata Ramana Rao², Pedro Vieira de Azevedo³ e Cleber Brito
de Souza⁴

RESUMO

Realizou-se um experimento de campo com o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium* Hutch cv. CNPA 6H), submetido a dois tratamentos de irrigação, no período de julho de 1992 a janeiro de 1993, em Ipanguaçu-RN. Objetivou-se a detecção do estresse hídrico através da termometria infravermelha. Foram determinados os índices de estresse hídrico da cultura propostos por IDSO et al.1981 (CWSI_i) e por JACKSON et al.1981 (CWSI_j). Para caracterizar o CWSI_i foram obtidas as linhas base inferior e superior, enquanto que o CWSI_j foi obtido ao se estimar a resistência da cultura em condições de transpiração potencial (r_{cp}) segundo medições porométricas e de acordo com metodologia do balanço de energia. Foram realizadas medições sistemáticas das temperaturas do dossel da cultura (T_c) e do ar (T_a), do saldo de radiação (S_r), da velocidade do vento (u) e do déficit de pressão de vapor (DPV), nos horários das 9h30min e 13h30min (tempo local). Concluiu-se que as irrigações devem ser administradas sempre que o CWSI_i se aproximar do valor 0,3, o que proporcionaria um desenvolvimento e crescimento satisfatório da cultura. Ao se submeter o algodoeiro a sucessivos estresses hídricos, constatou-se que após as irrigações o mesmo não restabelece os valores de temperatura e transpiração apresentados pela cultura no tratamento não estressado.

Palavras-chave: temperatura do dossel, estresse hídrico, termometria infravermelha, índice de estresse hídrico.

¹ Meteorologista, Doutor, Prof. Adjunto da UFPB, Campus II, Caixa Postal 10.089, CEP 58.109-970. Campina Grande, PB.

² Físico-matemático, PhD, Prof. Adjunto da UFPB, Campus II, Caixa Postal 10.089, CEP 58.109-970 - Campina Grande, PB.

³ Engº Agrº, PhD, Prof. Adjunto da UFPB, Campus II, Caixa Postal 10.089, CEP 58.109-970 - Campina Grande, PB.

⁴ Engº Agrº, Mestre, Prof. Visitante da UEPB, Caixa Postal 781.791, CEP 58.100-001 - Campina Grande, PB.

SUMMARY

A field experiment was conducted with a cotton crop (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium* Hutch cv. CNPA 6H) submitted to two irrigation treatments, during the growing season (from July, 1992 to January, 1993) at Ipanguaçu-RN. The objective was to quantify the crop water stress through the infrared thermometry. The crop water stress indices proposed by IDSO et al.(1981)(CWSI_i) and by JACKSON et al.(1981)(CWSI_j) were determined. To characterize the CWSI_i the low and upper baselines were obtained, while the CWSI_j was estimated from the crop canopy resistance under the conditions of potential transpiration (r_{cp}) using the porometric measurements and applying the energy balance method. Canopy temperature (T_c), air temperature (T_a), net radiation (S_r), wind speed (u) and the vapor pressure deficit (DPV) observations were made regularly at 09h30min and at 13h30min (local time). It was concluded that the irrigation should be initiated when the value of the CWSI reaches 0.3 to ensure normal crop growth. When submitted to successive cycles of water stress, the cotton crop may not be able to restore the temperature and transpiration patterns of a non-stressed crop.

Key words: canopy temperature, water stress, infrared thermometry, water stress index.

INTRODUÇÃO

A utilização da temperatura das folhas de um cultivo como indicadora do seu grau de estresse hídrico vem sendo estudada há bastante tempo e os trabalhos de JACKSON (1982) e IDSO & CLAWSON (1986) apresentam uma revisão considerável sobre a evolução e aplicações da termometria infravermelha.

Um problema associado às medições da temperatura do dossel vegetativo (T_c) refere-se a sua dependência em relação à variáveis meteorológicas e os trabalhos de WIEGAND & NAMKEN (1966), WIEGAND & SWANSON (1973), STONE et al. (1975), BERLINER et al. (1984) e O'TOOLE & HATFIELD (1983) avaliaram a influência dessas variáveis sobre a T_c .

Assumindo que fatores ambientais como a pressão do vapor d'água, o saldo de radiação e a velocidade do vento, estariam manifestados na temperatura do dossel vegetativo, JACKSON et al. (1977) e IDSO et al. (1977) definiram o índice **graus dia de estresse (SDD)** como a diferença entre as temperaturas do dossel e do ar ($T_c - T_a$). IDSO et al. (1977) e EPIPHANIO (1983) relacionaram o SDD com a produtividade do trigo e milho, respectivamente, enquanto JACKSON et al. (1977), além de relacionarem o SDD com o consumo hídrico do trigo, apresentaram um modelo simples de determinação da evapotranspiração

da cultura.

GARDNER et al. (1981) denominaram de **estresse diário de temperatura (TSD)**, à diferença entre as temperaturas do dossel de parcelas estressada e não estressada; enquanto CLAWSON & BLAD (1982) definiram a **variabilidade da temperatura do dossel (CTV)** como a diferença entre as temperaturas máxima e mínima, observadas numa mesma parcela.

IDSO et al. (1981) propuseram uma normalização do SDD, ocasião em que definiram o **índice de estresse hídrico da cultura (CWSIi)** com base em observações da diferença $T_c - T_a$ e do déficit de pressão do vapor d'água (DPV), realizadas com diferentes culturas. Constataram que durante boa parte do dia a relação entre $T_c - T_a$ e DPV se mostrou linear e independente de outros parâmetros atmosféricos, exceto a nebulosidade. JACKSON et al. (1981) fundamentaram o **índice de estresse hídrico da cultura (CWSIj)**, no balanço de energia e o determinaram para um cultivo de soja. Para determinar o CWSIj faz-se necessário o conhecimento de outras variáveis, além da diferença $T_c - T_a$ e do DPV, como as resistências ao fluxo de vapor d'água aerodinâmica (r_a), da cultura (r_c) e da cultura em condição de transpiração potencial (r_{cp}), o saldo de radiação (S_r) e a tangente à curva da pressão de saturação do vapor d'água (Δ). O CWSIj é considerado mais complexo do que o de CWSIi por requerer um maior número de variáveis atmosféricas e da própria planta.

Na última década diferentes estudos foram realizados objetivando comparar o CWSIi com o CWSIj para diferentes variedades de algodoeiro herbáceo (WANJURA et al., 1984; SILVA, 1994), bem como relacioná-los com a produtividade de algodão em caroço (PINTER JR et al., 1983; HOWELL et al., 1984) ou com o potencial da água das folhas desta cultura (PINTER JR & REGINATO, 1982; REGINATO, 1983; O'TOOLE et al., 1984). SILVA et al. (1993) avaliaram o comportamento diurno do CWSIj para o algodoeiro herbáceo em condições de campo, em Ipanguaçu-RN. A resistência da cultura em condição de transpiração potencial foi estimada segundo O'TOOLE & REAL (1986) e concluíram que o comportamento diurno de CWSIj se assemelha, em forma, à diferença $T_c - T_a$.

O presente estudo objetivou a detecção do estresse hídrico do algodoeiro herbáceo através da quantificação do CWSIi e do CWSIj, nas condições semi-áridas do Nordeste brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido na base física da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, situada no município de Ipanguaçu-RN (latitude: 5°30' S; longitude: 36° 55' O; altitude: 68 m). O solo da área experimental foi classificado como franco-argilo-siltoso. A cultura utilizada na pesquisa foi o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* r. *latifolium* Hutch), cultivar CNPA 6H. Foram consideradas duas parcelas de 40 m x 30 m e em cada uma um tratamento de irrigação. No

tratamento estressado (TE) a cultura foi submetida a situações de estresse hídrico, iniciadas 53 dias após a semeadura (DAS=53). No tratamento não estressado (TNE) a cultura foi mantida em boas condições de suprimento de água, recebendo duas irrigações semanais com base em estimativas da evapotranspiração segundo o método do Tanque Classe A, com um coeficiente de cultivo sugerido por AZEVEDO et al. (1991). O sistema de irrigação adotado foi o de sulcos em nível, fechados nos extremos, com adução de água por tubos janelados, espaçados de 1m. Foram realizadas 25 irrigações no TNE e 18 no TE. A semeadura foi realizada em 28 de agosto de 1992, configurada em fileiras duplas espaçadas de 65 cm e fileiras simples espaçadas de 35 cm, orientadas na direção norte-sul, atingindo uma densidade populacional de 100.000 plantas/ha. Os tratos culturais: adubação, controle de ervas daninhas e de pragas, foram efetuados de acordo com recomendações técnicas para a região.

A temperatura do dossel da cultura (T_c) foi medida com termômetro infravermelho AG-42, da Telatemp, mantido a cerca de 1,0 m do dossel com inclinação de 45° em relação à horizontal e orientado no sentido norte-sul. Para cada tratamento foram obtidos três conjuntos de medições simultâneas de T_c , do saldo de radiação (S_r) e da diferença $T_c - T_a$, representada por DT1, nos horários das 09 h 30 min e 13 h 30 min (tempo local). A velocidade média do vento (u) foi medida a 2,0 m do solo, entre os horários das 09 h 15min e 09 h 45 min, e entre 13 h 15 min e 13 h 45 min. Após as medições de T_c , S_r e DT1, obtinham-se as leituras do psicrômetro e barômetro, mantidos em abrigo meteorológico instalado entre as parcelas.

Foram considerados os índices de estresse hídrico da cultura propostos por IDSO et al.(1981) - $CWSI_i$ e por JACKSON et al. (1981) - $CWSI_j$. Para calcular o $CWSI_i$ faz-se necessário estabelecer a relação linear entre as temperaturas do dossel e do ar ($T_c - T_a$) com o déficit de pressão do vapor d'água (DPV), para uma condição de suprimento de umidade adequado a cultura, representada por $(T_c - T_a)_{reg}$. Uma outra informação imprescindível refere-se à condição de estresse máximo da cultura, originando a diferença $(T_c - T_a)_{max}$. Para cada observação em tempo real a cultura vai exibir uma certa diferença entre a sua temperatura e a do ar nas proximidades do dossel, $(T_c - T_a)_{obs}$, podendo-se calcular o $CWSI_i$ segundo a expressão:

$$CWSI_i = \frac{(T_c - T_a)_{obs} - (T_c - T_a)_{reg}}{(T_c - T_a)_{max} - (T_c - T_a)_{reg}} \quad \mathbf{1}$$

onde $(T_c - T_a)_{reg}$ é obtida pela expressão de regressão linear, obtida para a cultura bem abastecida de

umidade, qual seja:

$$(T_c - T_a)_{reg} = a + b \text{ DPV} \quad 2$$

onde **a** e **b** são, respectivamente, os coeficientes linear e angular da reta de regressão e o **DPV** (KPa) é obtido com base nas medições psicrométricas.

JACKSON et al. (1981) consideraram o $CWSI_j = (1 - E_{Tr}/E_{Tp})$, onde **E_{Tr}** e **E_{Tp}** são a evapotranspiração real e potencial, respectivamente. Considerando o modelo de evapotranspiração de Penman-Monteith, obtém-se (JACKSON, 1982; FOLEGATTI, 1988; SILVA, 1994):

$$CWSI_j = \frac{g(1 + r_c/r_a) - g(1 + r_{cp}/r_a)}{\Delta + g(1 + r_c/r_a)} \quad 3$$

onde **g** é a constante psicrométrica e Δ é a tangente à curva da pressão de saturação do vapor d'água (KPa/°C) no ponto correspondente à média entre as temperaturas do ar e da cultura. A resistência r_{cp} foi estimada segundo os métodos porométrico e de O'TOOLE & REAL (1986), conforme SILVA (1994) e AZEVEDO et al. (1995). A resistência aerodinâmica (r_a) foi obtida com base na expressão proposta por MONTEITH (1973), válida para qualquer condição de estabilidade atmosférica:

$$r_a = \frac{[\ln [(z - d) / z_0]]^2}{0,16 u(z)} \cdot \left[1 - \frac{5 g (z - d) (T_{kc} - T_{ka})}{T_{km} u(z)^2} \right] \quad 4$$

onde **d** e **z₀** representam respectivamente o deslocamento do plano zero (m) e o coeficiente de rugosidade da superfície (m), que são definidos em função da altura da planta (h) pelas expressões: $d=0,65 h$ e $z_0=0,13h$; **u(z)** corresponde à velocidade média do vento (m/s) obtida no nível z acima do solo, que na pesquisa foi 2,0m; **g** é a aceleração da gravidade (9,8 m/s²) e **T_{kc}**, **T_{ka}** e **T_{km}**, representam, respectivamente, as temperaturas absolutas (K) do dossel da cultura, do ar e a média dessas duas. Para a determinação da razão r_c/r_a , recorreu-se a equação derivada do balanço de energia (JACKSON et al., 1981; JACKSON, 1982; FOLEGATTI, 1988; SILVA, 1994):

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{g r_a S_r / (r c_p) - (T_c - T_a)(\Delta + g) - (e_{s,a} - e_a)}{g[(T_c - T_a) - r_a S_r / (r c_p)]} \quad 5$$

onde S_r é o saldo de radiação (W/m^2), $r = 1,23 \text{ Kg}/m^3$ é a densidade do ar e $c_p = 1.000,0 \text{ J}/\text{Kg.K}$ é o calor específico do ar a pressão constante, $e_{s,a}$ é a pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do ar e e_a é a pressão parcial do vapor d'água atmosférico.

RESULTADOS

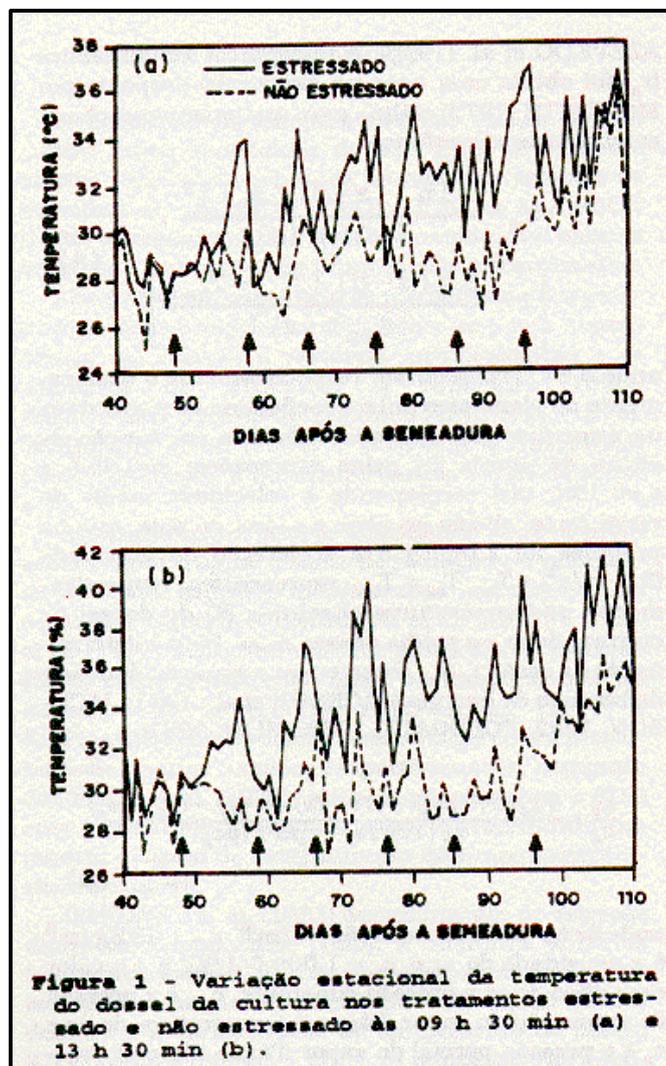
Na Figura 1 está apresentada a variação estacional da temperatura do dossel do algodoeiro herbáceo nos tratamentos estressado e não estressado, para os horários das 9 h 30 min e 13 h 30 min. De uma maneira geral a T_c no TE foi mais elevada do que no TNE. O menor valor medido de T_c no TNE foi de aproximadamente $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e ocorreu às 9 h 30 min, 44 dias após a semeadura (DAS=44). Para esse mesmo horário, o menor valor de T_c no TE foi de $26,7 \text{ }^\circ\text{C}$, tendo ocorrido no DAS=48, logo no início do período de medições (que, para as medições termométricas, foi do DAS=40 até o DAS=110). Antes da cultura ser submetida a estresse hídrico, as temperaturas em ambos os tratamentos apresentaram valores aproximadamente iguais, como pode ser observado na Figura 1. O maior valor de T_c ocorreu no TE, como era de se esperar, e foi de $37,0 \text{ }^\circ\text{C}$ no horário das 9 h 30 min e de $41,8 \text{ }^\circ\text{C}$ no horário das 13 h 30 min. Observa-se, ainda, que às 9 h 30 min os valores de T_c , para ambos os tratamentos, são inferiores aos observados às 13 h 30 min. No entanto, de acordo com as observações realizadas, as menores diferenças de $T_c - T_a$, para cada tratamento, ocorreram às 13 h 30 min. Pode-se justificar esta ocorrência, como uma consequência do aquecimento máximo do ar atmosférico em torno das 14 h 30 min e em virtude das plantas não se aquecerem no transcorrer do dia na mesma proporção que o ar atmosférico.

Os dias correspondentes às irrigações no TE estão indicados com uma seta na parte inferior da Figura 1. Observa-se que após as irrigações há uma perceptível diminuição da temperatura do dossel da cultura, que em algumas ocasiões é dificultada pela interferência da nebulosidade local. Como no TE ocorreram intervalos de tempo maiores entre as irrigações, que chegaram até a 11 dias, as diminuições em T_c após as irrigações neste tratamento eram mais expressivas que no TNE. Ademais, no TNE o turno de rega era da ordem de três a quatro dias, o que impedia o estresse hídrico e, por conseguinte, alterações muito pronunciadas na T_c . SILVA et al.(1991) observaram comportamento idêntico ao estudarem uma outra cultivar de algodoeiro, o CNPA Precoce I, também em Ipanguaçu-RN.

Uma análise dos dados obtidos permite observar uma grande variabilidade associada aos valores de

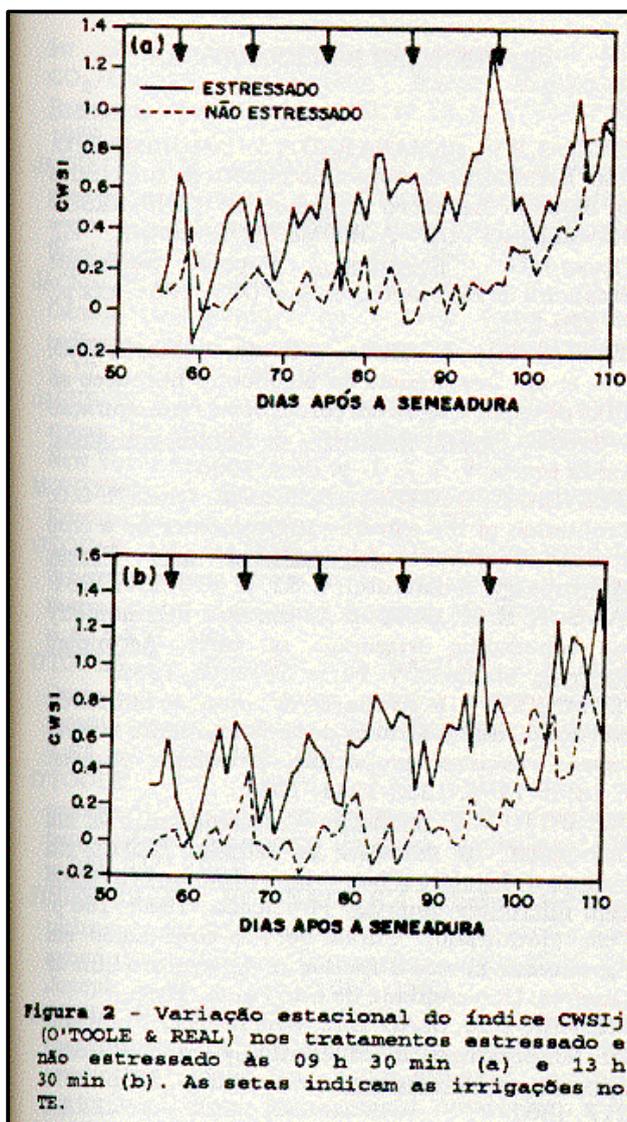
Sr, em ambos os horários e tratamentos. Isto decorre da presença marcante de nuvens sobre a área experimental, uma vez que a mesma se encontra apenas a cerca de 60 Km do litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte. Os valores do DPV foram maiores no horário das 13h30min e situaram-se entre 2,3 e 3,9 KPa. A temperatura do dossel da cultura, mesmo no TNE, apresenta uma diminuição significativa após as irrigações, o que confirma observações anteriores acerca da influência da transpiração sobre a temperatura das folhas.

Os valores de r_{cp} obtidos por SILVA(1994) e AZEVEDO et al. (1995), para os métodos porométrico e de O'TOOLE & REAL(1986), foram respectivamente iguais a 22,82 s/m e 18,04 s/m. Como pode-se notar, há uma pequena diferença entre estes valores, o que faz com que o CWSIj calculado por um e outro valor de r_{cp} , não apresente diferença apreciável, sobretudo na sua variação estacional. Por essa razão, são feitas considerações apenas para um dos casos.



Na Figura 2 foram plotados os valores do CWSIj com $r_{cp}=18,04$ s/m e as setas na sua parte superior referem-se aos dias em que ocorreram irrigações apenas no TE. Para ambos os horários no TE pode-se

notar que após uma irrigação há uma conseqüente diminuição do CWSIj, que se apresenta com uma virtual variabilidade. Pode-se observar, também, que após os dois primeiros períodos em que ocorreram estresse hídrico, a cultura não restabeleceu os padrões térmicos e do CWSIj, que foram apresentados no TNE. Isto pode ser explicado em razão de não haver, entre uma e outra irrigação, o pleno restabelecimento da umidade do solo no TE. Por outro lado, após uma irrigação a cultura somente alcançou um novo mínimo relativo, após um ou dois dias. Em JACKSON et al.(1981), o trigo precisou de cinco a seis dias para voltar a transpirar a taxas consideradas normais, período em que as plantas emitiram novas radículas a fim de voltarem a transpirar normalmente.



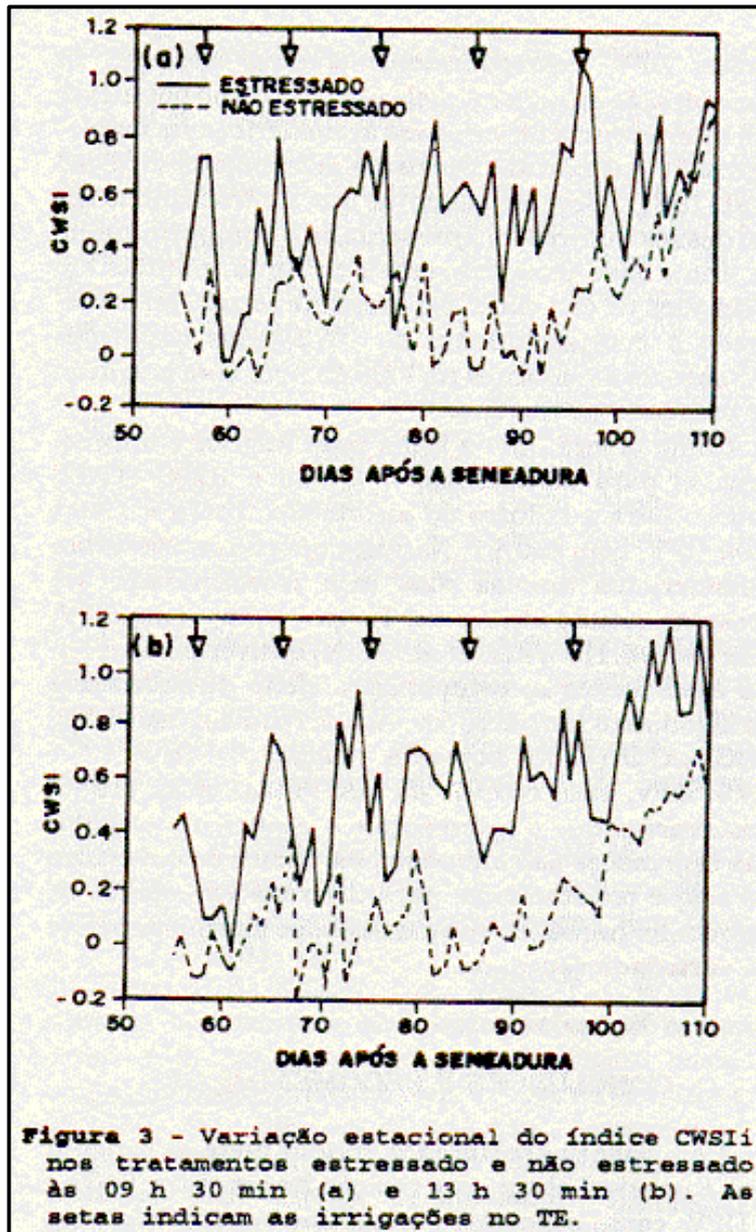
No período compreendido entre a última irrigação (DAS=97) e o final das medições (DAS=110), verificou-se os maiores valores do CWSIj em ambos os tratamentos. O valor máximo obtido foi de 1,51, que ocorreu 109 dias após a sementeira no TE às 13 h 30 min. Os valores do CWSIj no TNE, se situaram entre -0,2 e 0,4. A exemplo da variação estacional de Tc-Ta, os menores valores de CWSIj ocorreram às

13 h 30 min. A julgar pelo comportamento do CWSI_j, as irrigações devem ser administradas quando o CWSI_j atingir 0,3. No entanto, dada a grande variabilidade associada às variáveis atmosféricas usadas no cálculo do CWSI_j, há dificuldades substanciais de se administrar as irrigações com base no mencionado limite.

Em geral, não foram observados valores negativos do CWSI_j no TE, para quaisquer dos horários. Já no TNE, há várias ocorrências de valores negativos do CWSI_j. Estas ocorrências extremas podem estar associadas a fatores como: a) a possibilidade da cultura se encontrar transpirando a taxas tais que resulte em valores do r_{cp} superiores aos obtidos pelos métodos porométrico e de O'toole & Real; b) interferência da nebulosidade, com conseqüente variação no saldo de radiação, não contempladas pela sistemática de observações empreendida. Deve-se considerar que a cultura do algodoeiro leva de 40 a 60 seg para restabelecer o equilíbrio térmico após uma súbita variação na radiação solar global (WIEGAND & SWANSON, 1973).

Na Figura 3 foram plotados os valores do CWSI_i, obtidos segundo a Equação 1 e a metodologia proposta por IDSO et al. (1981), para ambos os tratamentos e horários de observações. As setas na parte superior da referida figura, indicam os dias em que ocorreram irrigações no TE. Observa-se às 09 h 30 min no TE, que o CWSI_i ultrapassou o valor unitário apenas uma vez. No mesmo tratamento às 13 h 30 min o CWSI_i atingiu o valor 1,2, que ocorreu após a suspensão das irrigações e na senescência, período em que a medição da temperatura do dossel da cultura está mais sujeita à interferência do solo. A cada irrigação percebe-se que há uma virtual diminuição nos valores do CWSI_i, conforme fora observado também para o CWSI_j. Percebe-se, também, que após o primeiro período de estresse, a cultura não restabelece os padrões térmicos verificados no TNE. Este comportamento também foi verificado no horário das 13 h 30 min para o mesmo tratamento. Com base nos valores obtidos no TNE, observou-se que em apenas três ocasiões, no horário das 9 h 30 min, e em outras duas ocasiões, às 13 h 30 min, o CWSI_i foi superior a 0,3.

No TNE, pode-se notar a ocorrência de valores negativos do índice CWSI_i, sendo mais acentuada às 13 h 30 min. Sugere-se que tais ocorrências sejam conseqüência: a) da ocorrência de valores de T_c abaixo daquele previsto pela regressão de $T_c - T_a$ versus DPV, correspondente a uma situação de transpiração superior àquela prevista como potencial; e b) interferência de variáveis atmosféricas na temperatura T_c que não são previstas pelo método de IDSO et al.(1981). Deve-se salientar que no trabalho original desses autores foi apresentado o comportamento da linha base para diferentes culturas, obtidas em condições de céu claro. No presente estudo foi investigado o comportamento do CWSI_i nas condições atmosféricas reinantes no Vale do Açu, com acentuada presença de nuvens.



Como já fora dito, a linha base inferior é imprescindível para caracterizar o CWSIi e IDSO (1982) obteve, para a cultura do algodoeiro, $T_c - T_a = 1,49 - 2,09.DPV$, com $r=0,97$. Naquela oportunidade foram considerados apenas dias sem nebulosidade. No presente estudo obteve-se: $T_c - T_a = 0,76 - 1,92.DPV$, com $r=0,95$. HOWELL et al. (1984) obtiveram diferentes coeficientes ao estudarem o efeito da salinidade no algodoeiro herbáceo, cv. Acala. Para a Acala (SJ-2) REGINATO (1983) obteve a relação: $T_c - T_a = 1,0 - 1,70.DPV$, com $r=0,97$. Já HATFIELD et al. (1985) observaram que o intercepto e o coeficiente angular das regressões são afetados pelo índice de cobertura do solo e constataram, para diversas variedades de algodoeiro herbáceo que a linha base inferior depende da variedade estudada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que é possível obter uma relação linear entre T_c e o DPV, com coeficiente de correlação significativo, o que possibilita a determinação do $CWSI_i$.

Para a cultura alcançar bons rendimentos, sugere-se que as irrigações sejam administradas para $CWSI_i=0,4$ ou $CWSI_j=0,3$. No entanto, a determinação destes índices de estresse hídrico pode ser dificultada pela presença de nebulosidade na região estudada. Assim, recomenda-se muita cautela nas medições e a realização da pesquisa com as irrigações sendo administradas para diferentes valores dos índices $CWSI_i$ e $CWSI_j$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração indispensável do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão - CNPA da EMBRAPA, da Escola Superior Agrícola de Mossoró - ESAM e da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, tanto pelo uso de suas áreas experimentais, quanto pela sessão de equipamentos, laboratórios e biblioteca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, P.V., RAMANA RAO, T.V., AMORIM NETO, et al. Estimativa do consumo hídrico de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VII, Viçosa-MG. Resumos..., Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/UFV, 1991, xxx p., p. 229-231.
- AZEVEDO, P.V. de, SILVA, B.B. da, RAMANA RAO, T.V. et al. Resistência do algodoeiro herbáceo ao fluxo de vapor d'água em condições de transpiração potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. in-if, 1995.
- BERLINER, P., OOSTERHUIJUS, D.M., GREEN, G.C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v. 31, p. 219-230, 1984.
- CLAWSON, K. L., BLAD, B. L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. Agronomy Journal, Madison, v. 74, p. 311-316, 1982.
- EPIPHANIO, J. C. N. Avaliação da condição hídrica da cultura do milho através de sensoriamento remoto termal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 18, n. 11, p. 1233-1241, 1983.
- FOLEGATTI, M.V. Avaliação do desempenho de um "scheduler" na detecção de estresse hídrico em cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) irrigada com diferentes lâminas. Piracicaba, 1988,

- 188 p. Tese (doutorado). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, 1988.
- GARDNER, B.R., BLAD, B.L., WATTS, D.G. Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 207-217, 1981.
- HATFIELD, J.L., WANJURA, D.F., BARKER, G.L. Canopy temperature response to water stress under partial canopy. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 1607-1611, 1985.
- HOWELL, T.A., HATFIELD, J.L., YAMADA, H. et al. Evaluation of cotton canopy temperature to detect crop water stress. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p. 84-88, 1984.
- IDSO, S.B., JACKSON, R.D., REGINATO, R.J. Remote-sensing of crop yields. **Science**, Washington, v. 1, p. 19-25, 1977.
- IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER Jr., P.J. et al. Normalizing the stress degree day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 24, p. 45-55, 1981.
- IDSO, S.B. Non-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 27, p. 59-70, 1982.
- IDSO, S.B., CLAWSON, K.L. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/Climate connection. **Water Resources Research**, Washington, v. 22, n. 12, p. 1702-1716, 1986.
- JACKSON, R.D., REGINATO, R.J., IDSO, S.B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resources Research**, Washington, v. 13, n. 3, p. 651-656, 1977.
- JACKSON, R.D., IDSO, S.B., REGINATO, R.J. et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, p. 1133-1138, 1981.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D., ed. **Advances in Irrigation**. New York, Academic Press, v. 1, p. 43-85, 1982.
- MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics**. Edward Arnold, London, 241 p, 1973.
- O'TOOLE, J.C., HATFIELD, J.L. Effect of the wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 811-817, 1983.
- O'TOOLE, J.C., TURNER, N.C., NAMUCO, O.P., et al. Comparison of some crop water stress measurement methods. **Crop Science**, Madison, v. 24, p. 1121-1128, 1984.
- O'TOOLE, J.C., REAL, J.G. Estimation of aerodynamic and crop resistances from canopy temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 305-310, 1986.
- PINTER JR., P.J., REGINATO, R.J. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 25, p. 1651-1655, 1982.
- PINTER JR., FRY, K.E., GUINN, G. et al. Infrared thermometry: a remote sensing technique for

- predicting yield in water-stressed cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 6, p. 385-395, 1983.
- REGINATO, R.J. Field quantification of crop water stress. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, p. 772-781, 1983.
- SILVA, B.B., RAMANA RAO, T.V., AZEVEDO, P.V. et al. Comportamento da temperatura do dossel do algodão herbáceo em condições irrigadas e sob stress hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VII, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/UFV, 1991, xxx p., p. 259-261.
- SILVA, B.B., RAMANA RAO, T.V., AZEVEDO, P.V. et al. Determinação do índice de estresse hídrico (CWSI) do algodoeiro herbáceo com base no balanço de energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VIII, Porto Alegre, RS. **Resumos...**, Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/UFRGS-UFSM, 1993, 211 p., p 75.
- SILVA, B.B. **Estresse hídrico em algodoeiro irrigado evidenciado pela termometria infravermelha.** Campina Grande-PB, 1994, 144 p, Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, 1994.
- STONE, L.R., KANEMASU, E.T., HORTON, M.L. Grain sorghum canopy temperature as influenced by clouds. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 4, p. 177-181, 1975.
- WANJURA, D.F., KELLY, C.A., WENDT, C.W. et al. Canopy temperature and water stress of cotton crops with complete and partial ground cover. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 5, p. 37-46, 1984.
- WIEGAND, C.L., SWANSON, W.A. Time constants for thermal equilibration of leaf, canopy, and soil surfaces with change in insolation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 722-724, 1973.
- WIEGAND, C.L., NAMKEN, L.N. Influences of plant moisture stress, solar radiation, and air temperature on cotton leaf temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, p.582-586,1966.