

# ESTUDO DE METODOLOGIA USANDO ENERGIA EMITIDA, PARÂMETROS DA PLANTA E METEOROLÓGICOS, PARA APLICAÇÃO EM IRRIGAÇÃO

Rubens Augusto Camargo Lamparelli  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI  
Cidade Universitária Zeferino Vaz s/n. Barão Geraldo CP 6011 - 13081 Campinas/SP

## RESUMO

Este trabalho visou testar um método que possibilitasse determinar o verdadeiro estado de água na planta e assim detectar necessidade de irrigação. Foi realizado com cultura de trigo em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, em região de Cerrado. Em vários horários coletou-se medidas de parâmetros meteorológicos (temperaturas de ar, bulbo seco e úmido, radiação solar líquida) e temperatura de radiação de dossel através da energia emitida. Estes parâmetros foram usadas na construção do índice CWSI (Crop Water Stress Index) que foi testado para três diferentes tratamentos de água, baseado no número de irrigações, para o período de maior necessidade de água da cultura. Os resultados mostraram que apesar do índice ter um comportamento coerente com os tratamentos, ele demonstra ser mais sensível a mudanças dos parâmetros meteorológicos que a condições de água na planta.

## ABSTRACT

This work had the aim of testing a method which enables to know the true plant water contents, as well as detecting the irrigation necessity. Wheat was used in dark red Latossol, clayey texture, into Cerrado region. Meteorological parameters (air temperature dry and wet bulb, net radiation) and radiometric canopy temperature were taken at different times. These parameters were used in the construction of CWSI index (Crop Water Stress Index) which was tested for three different water treatments based on irrigation numbers, for the greatest necessity period of culture water. The results showed that the index had a coherent behaviour according to the treatments, but it demonstrated to be more sensible to changes of the meteorological parameters than to the plant water condition.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Trigo é tido como um dos produtos mais importantes das culturas alimentares. No Brasil tem-se constatado uma lenta expansão da produtividade média desta cultura ao longo dos anos. O Trigo irrigado tem produzido efeitos animados quanto ao rendimento por área. Há necessidade de então, de pesquisas com a finalidade de contribuir com o aumento de produtividade desta cultura.

Técnicas como adubação, sementes selecionadas, irrigação, já estão há muito tempo sendo usadas para se conseguir ganhos de produtividade. Outras técnicas, como o sensoriamento remoto, estão agora começando a ser usadas. Desde o lançamento do satélite Landsat-5, tornou-se disponível uma banda na região do infravermelho termal, permitindo o estudo do alvo vegetação sob o ponto de vista da energia emitida. Muitos trabalhos têm sido feitos, usando esta técnica, com especial atenção a irrigação (Nixon et alii, 1973; Clawson e Blad, 1982; Stewart et alii, 1983; Sharrat et alii, 1983).

Muitos autores citam a temperatura do dossel como um método eficaz para detectar estresse de água na planta (Tanner, 1963; Wiegand e Namken, 1966; Bartholic et alii, 1972; Gardner et alii, 1981; Jackson et alii, 1981; Epiphâ

nio, 1983).

Em função disso, as pesquisas se desenvolveram no sentido de se conseguir metodologias mais simples para avaliar o estresse de água. Os índices derivados dessas metodologias levam em conta somente a temperatura de dossel e a temperatura do ar ambiente (Idso et alii, 1977; Gardner et alii, 1981a; Epiphânio, 1983). Outros autores (Aston e Van Bavel, 1972; Jackson et alii, 1981) tem definido índices de estresse baseado em temperaturas de dossel e variáveis de referência selecionadas (radiação líquida, déficit de vapor d'água).

Clark e Hiler (1973), observaram que a resistência estomatal aumenta com o desenvolvimento do estresse de água, tendo como consequência o aumento da temperatura da folha. Eles concluíram que o estado da água na planta representa uma integração da demanda atmosférica, potencial de água no solo, densidade e distribuição da raiz e outras características. Portanto, para se ter uma verdadeira medida do déficit de água na planta, as medidas poderiam ser feitas na própria planta em vez de serem realizadas no solo ou na atmosfera.

Uma combinação entre balanço de energia e parâmetros aerodinâmicos pode ser usada para prever a evapotranspiração de superfícies

naturais (Penman, 1948; Hatfield, 1984). A relação pode ser escrita como uma função da radiação líquida e déficit de pressão de vapor (Monteith e Szeicz, 1962). Estas considerações podem levar a um meio realmente capaz de quantificar o estresse de água na cultura. Jackson et alii (1981) baseando-se neste fato desenvolveram uma metodologia, partindo do balanço de energia tendo como entradas: Parâmetros aerodinâmicos e meteorológicos além da temperatura radiométrica de dossel, criaram o índice "Crop Water Stress Index - CWSI".

O índice CWSI é definido como:

$$CWSI = 1 - \frac{ER}{EP} = \frac{\gamma(1+r_d/r_a) - \gamma^*}{\Delta + \gamma(1+r_d/r_a)} \quad (1)$$

$$r_d/r_a = \frac{\gamma r_n R_n / (\rho C_p) - (T_d - T_A)(\Delta + \gamma) - (e_A^* - e_A)}{\gamma [(T_d - T_A) - r_n R_n / (\rho C_p)]}$$

$$\gamma^* = \gamma(1 + r_{dp}/r_a)$$

onde:

ER - evapotranspiração real

EP - evapotranspiração potencial

$\rho$  - densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  - capacidade calorífica do ar (1/kg°C)

$T_d$  - temperatura de dossel (°C)

$T_A$  - temperatura do ar ambiente (°C)

$r_a$  - resistência aerodinâmica (s/m)

$r_d$  - resistência do dossel à transferência do vapor (s/m)

$r_{dp}$  - resistência do dossel à transferência do vapor em evapotranspiração potencial (s/m)

$\gamma$  - constante psicrométrica (Pa/°C)

$\Delta$  - declividade da relação pressão de vapor e temperatura  $(e_d^* - e_A^*) / (T_d - T_A)$

$e_A$  - pressão de vapor do ar (Pa)

$e_A^*$  - pressão de vapor saturado em  $T_A$  (Pa)

$e_d^*$  - pressão de vapor saturado em  $T_d$  (Pa)

$R_n$  - radiação líquida (w/m<sup>2</sup>)

Neste contexto e assumindo que a falta de água na planta implicará em um aumento de sua temperatura, este trabalho tem como objetivo, analisar a metodologia acima descrita, que utilizando-se a energia emitida pelas plantas, consegue-se estabelecer a necessidade de irrigação em Trigo cultivado na região de cerrados, tendo por base o comportamento do índice CWSI.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na estação

experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC - Brasília), em latossolo vermelho escuro, fase argilosa. A área recebeu adubação de manutenção, de acordo com a análise do solo.

A cultura utilizada foi o trigo, variedade BR-10, plantada em 19 e 20/05/1986 com 450 sementes/m<sup>2</sup> e espaçamento 17,5 cm.

Na área do experimento de 3 hectares, foram delimitadas três parcelas (A, B, C) de 10 x 20 m cada, correspondendo a três tratamentos A, B e C, respectivamente. As parcelas, suas medidas e disposições estão apresentadas na Figura 1.

Os tratamentos de água, A, B e C foram aplicados no período de maior necessidade de água da cultura, isto é, do 40º ao 70º dia após a emergência, Emborrachamento (Tubelis e Souza, 1982; Doorenbos e Kassan, 1979; Lomas em Mota, 1982). Até este momento todas as parcelas foram mantidas em capacidade de campo recebendo água toda vez que o tensiômetro colocado a 15 cm atingisse 0,65 atm. A quantidade de água aplicada cada foi a lâmina acumulada de evaporação do Tanque Classe A (Estação Meteorológica - Figura 1), no período que o tensiômetro levou para atingir 0,65 bar, corrigido com o coeficiente da cultura, calculado para o local (Luchiari Jr. e Resende, 1982).

No período de 30 dias foram efetuados os seguintes tratamentos:

TRATAMENTO A - Calculado para manter a cultura em evapotranspiração potencial durante todo o ciclo. A lâmina d'água a ser aplicada foi calculada através da curva característica (potencial de água no solo versus umidade) do solo local, baseado nas leituras dos tensiômetros instalados a 15, 30 e 45 cm de profundidade.

TRATAMENTO B - No período de 30 dias esta parcela recebeu uma irrigação no 55º dia após a emergência. A lâmina d'água a ser aplicada foi calculada através da curva característica do solo local, com base nas unidades encontradas através do método termogravimétrico, de três amostras retiradas de 15, 30, 45, 60 e 75 cm de profundidade.

TRATAMENTO C - A parcela com este tratamento recebeu duas irrigações, uma no 50º e outra no 60º dia após a emergência. A lâmina d'água resposta foi calculada da mesma maneira que no tratamento B.

A Figura 2 e a Tabela 1 mostram o cronograma dos tratamentos em relação ao ciclo da cultura e os valores dos coeficientes de cultura ( $k_c$ ) respectivamente.

## LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS E APARELHOS NO CAMPO

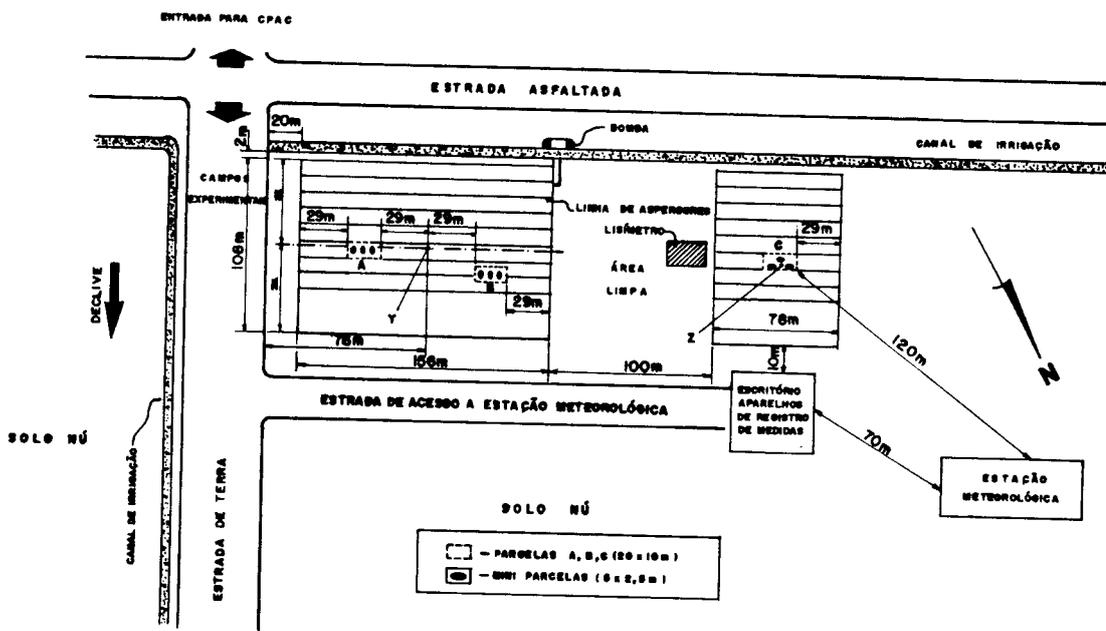


Fig. 1 - Localização das parcelas e aparelhos no campo.

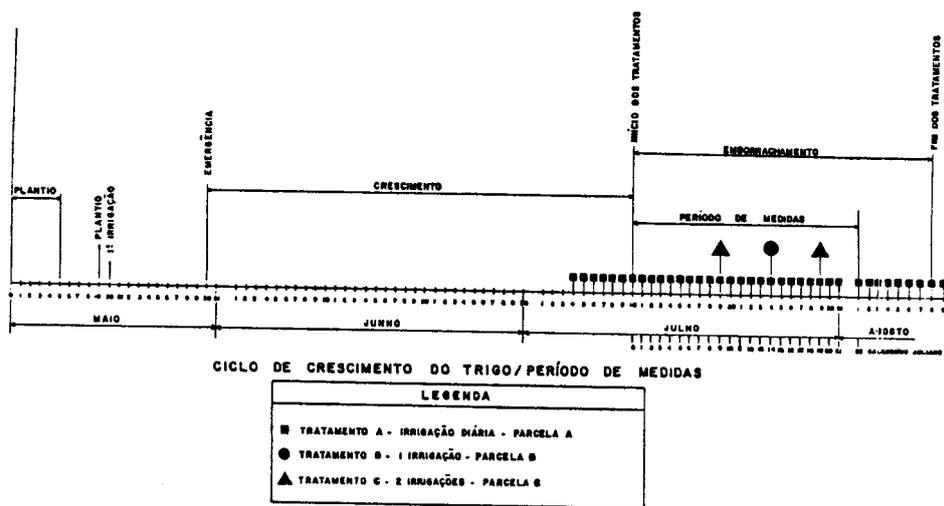


Fig. 2 - Cronograma.

TABELA 1  
VALORES DE  $K_C$

ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO	PERÍODO MÉDIO (DIAS)	$K_C$
I - Estabelecimento	0 - 10	0,4 - 0,5
IIa - Perfilhamento	11 - 23	0,5 - 0,95
IIb - Desenvolvimento Vegetativo	24 - 46	0,95 - 1,05
III - Floração	47 - 62	1,05 - 1,15
IV - Frutificação	63 - 97	1,15 - 0,85
V - Maturação	98 - 105	0,85 - 0,65

FONTE: Luchiari Jr. e Resende (1982).

$K_C$  - Coeficiente de cultura, calculado para o trigo, na área do experimento.

O período das medidas começou no dia 10/07 e se prolongou por 20 dias até 01/08/1982, isto é, do 40º ao 60º dias após a emergência.

### 2.1 - COLETA DE MEDIDAS METEOROLÓGICAS E TEMPERATURA RADIOMÉTRICA DE DOSSSEL

As medidas meteorológicas foram coletadas no campo nos horários de 9:45, 11:00, 13:00, 14:00, 15:00 e 16:00 hs. As temperaturas do ar (bulbo seco e úmido) foram coletadas por psicrômetros colocados, um, entre as parcelas A e B (ponto y - Fig. 1) a 1,15 m de altura do solo e outro no centro da parcela C (ponto z - Fig. 1) 1,30 m do solo. Da mesma forma os radiômetros líquidos foram colocados nos centros das parcelas a alturas do solo de 1,25 m em A; 1,09 m em B e 1,70 m em C.

As temperaturas radiométricas de dossel foram coletadas através do termômetro piroelétrico infravermelho - modelo ER-2008. Como as parcelas A, B e C eram muito grandes (10 x 20 m) optou-se por delimitar três miniparcelas de 2,5 x 5,0 m em cada uma delas, para efeito de tomada das medidas (Fig. 1). O aparelho foi manejado da borda de cada miniparcela, a uma altura de 1,70 m do solo, de onde foi realizado um "scanning" (varredura) do dossel. Este procedimento foi realizado uma vez a favor do sol e outra contra, de modo a ter no final uma média; evitando-se que valores só de folhas sombreadas ou só de folhas expostas diretamente a radiação solar, fossem consideradas. Assimiou-se neste experimento o valor de emissividade de igual a 0,97 e as temperaturas foram coletadas nos mesmos horários das medidas meteorológicas.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do índice CWSI para alguns dias estão apresentados na Tabela 2. Desta tabela constam os valores referentes as parcelas B e C. Aqueles pertencentes a "A" não são apresentados pois estando ela, teoricamente, em evapotranspiração potencial a relação  $\frac{E_R}{E_P}$  tem valor 1 e portanto CWSI = 0. (Eq. 1).

Para melhor visualização do comportamento do índice, os valores foram plotados em Gráficos (1 a 9). Pode-se observar nesta série de gráficos um comportamento lógico por parte do índice, isto é, inicia com valores baixos pela manhã, tem um pico entre 13:00 e 14:00 hs coincidindo com a máxima evaporação da planta e decai no fim da tarde. No primeiro dia (Gráfico 1) já se percebe este comportamento, apesar de ser início de tratamento. Sente-se uma maior definição das curvas a partir do dia 14/07, apesar das bruscas variações devido a presença de nuvens (Gráfico 2). A parcela C neste dia apresenta valores bem maiores que em B indicando uma taxa de elevação mais alta. Esta situação permanece até dia 18/07 (Gráfico 3), dia anterior a irrigação em C, com valores em torno de 0,40, embora não alcançasse os mesmos valores do dia 14/07 (Gráfico 2). Este resultado pode ser corroborado pelos dados de Resistência Estomáticas tomados no mesmo período. (Tab. 3).

Este fenômeno pode ter acontecido devido a proximidade que a parcela B teve de A (Fig. 1). Como esta era irrigada todo dia e o predomínio do vento era N, NNE e NE, ela poderia ter criado condições na parcela B, em função da umidade, propícias ao desenvolvimento de um menor nível de estresse, desde que as duas parcelas estavam com o mesmo número de dias sem água.

Ao se efetuar a irrigação em C, dia 19/07, e a realização de novas medidas no dia 21/07 (Gráfico 4) nota-se uma inversão das curvas, isto é, a parcela C que recebeu água a 2 dias mostra valores menores que a parcela B que até agora não recebeu água. Neste dia os valores em B, variaram de 0,20 a 0,59, enquanto na parcela C ficaram em torno de zero. No dia 22/07 (Gráfico 5) os valores tenderam a ficar no patamar de 0,4, apesar do aparecimento de valores com nuvens das 14:00 hs em diante. No mesmo gráfico é observado que os valores da parcela C chegam a um mínimo, tido como o período de resposta da planta ao tratamento.

Um dia antes da irrigação na parcela B (23/07 - Gráfico 6) mostra ter uma tendência de manter valores positivos, indicativo de situação de estresse, embora em alguns horários, nos quais houve aparecimento de nuvens (13:00, 14:00, 15:00, 16:00 hs), tenha havido um mascaramento desta tendência. Nos dias 23 e 24/07 aconteceram duas chuvas que talvez tenham influenciado o comportamento dos dois tratamentos (B e C) fazendo com que os valores se mantivessem próximos do dia 25/07 em diante (Gráficos 7, 8 e 9).

Os valores de potencial de água na folha em função de tratamentos (potencial de água no solo) foram comparados com os de Espinoza et alii (1980), que trabalhou com Trigo no CPAC, e verificou que há uma proximidade de resultados (Tab. 4).

TABELA 2  
VALORES DO ÍNDICE CWSI

PARCELAS		B					C					
DIAS \ HORÁRIOS	9:45	11:00	13:00	14:00	15:00	16:00	9:45	11:00	13:00	14:00	15:00	16:00
10/07	-0,10	-0,40	0,09	0,04	0,07	0,04	0,12	-0,01	0,18	0,17	0,02	0,02
14/07	-0,34	-0,57	0,11	<del>-0,23</del>	-0,22	0,08	-0,68	0,28	0,83	<del>-0,06</del>	0,67	-0,05
18/07	-0,23	0,02	-0,12	0,45	-0,09	-0,19	-0,67	0,41	0,44	0,47	0,38	-0,46
21/07	-0,21	0,59	0,27	0,55	0,21	-0,05	0,07	0,17	0,04	-0,17	0,09	0,09
22/07	0,10	0,40	0,52	<del>-0,26</del>	<del>-0,24</del>	<del>-0,23</del>	0,10	-0,32	-0,16	0,01	<del>-0,11</del>	<del>0,02</del>
23/07	-0,51	0,28	<del>-0,16</del>	<del>-0,06</del>	0,61	-0,70	-0,23	-0,10	<del>-0,12</del>	<del>-0,04</del>	0,12	<del>0,07</del>
25/07	-0,43	0,05	<del>-0,19</del>	<del>-0,81</del>	<del>-0,37</del>	0,10	-0,11	0,52	<del>0,17</del>	<del>0,07</del>	<del>-0,14</del>	<del>0,12</del>
28/07	0,29	-0,17	-0,13	-0,24	-0,15	-0,25	0,05	-0,05	-0,17	-0,07	-0,06	-0,02
31/07	*	0,10	0,23	<del>-0,14</del>	<del>0,03</del>	-0,87	*	0,16	0,06	<del>-0,06</del>	<del>0,01</del>	<del>0,01</del>

Obs.: / valores obtidos com nuvens

\* valores que não são possíveis de se calcular pois  $T_d - T_A = 0$

TABELA 3  
RESISTÊNCIA ESTOMÁTICA (s/cm)\*

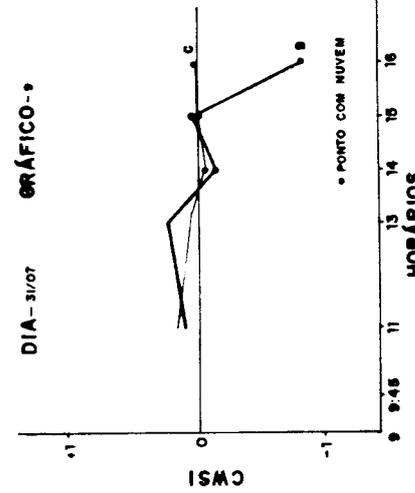
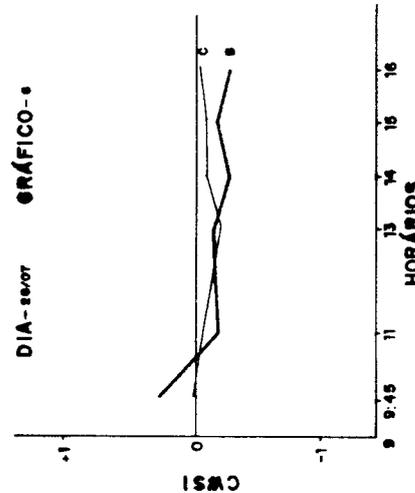
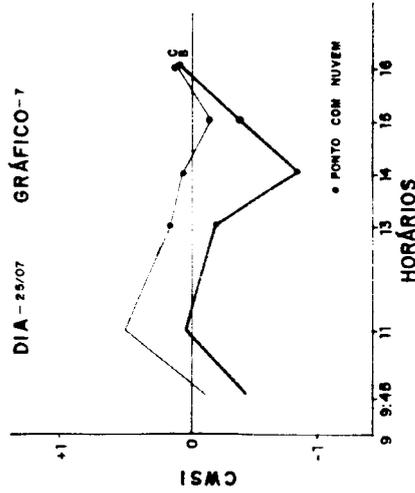
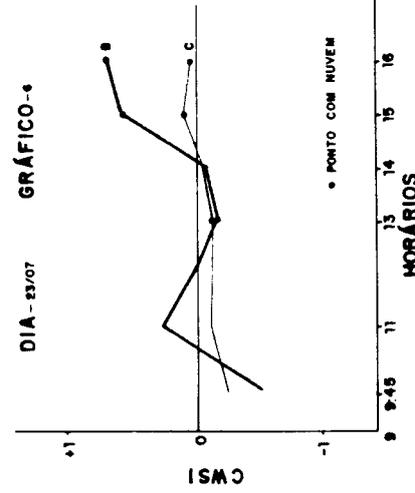
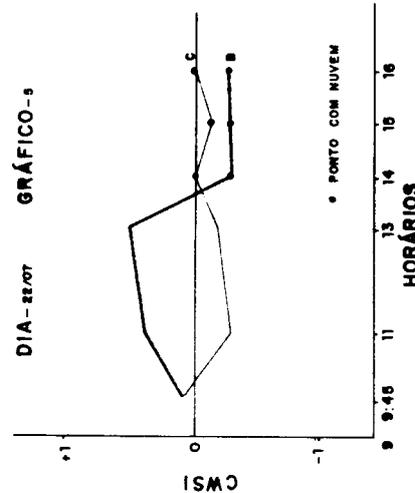
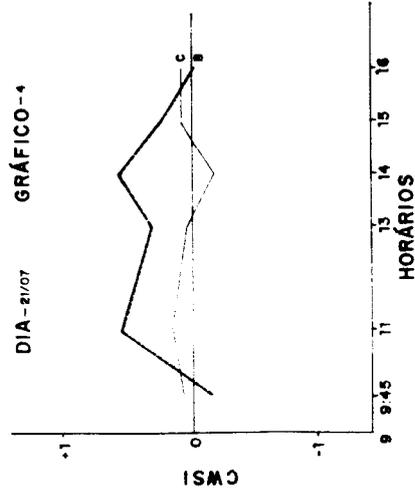
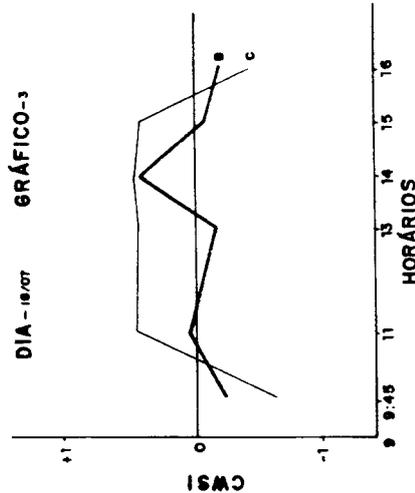
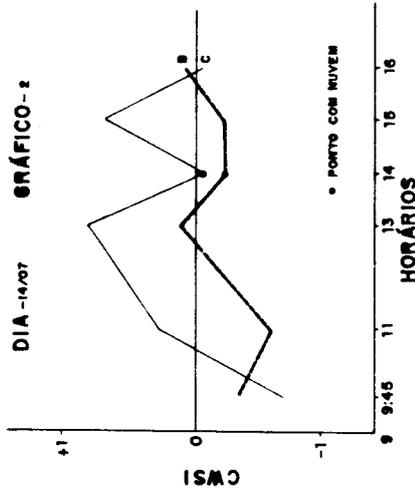
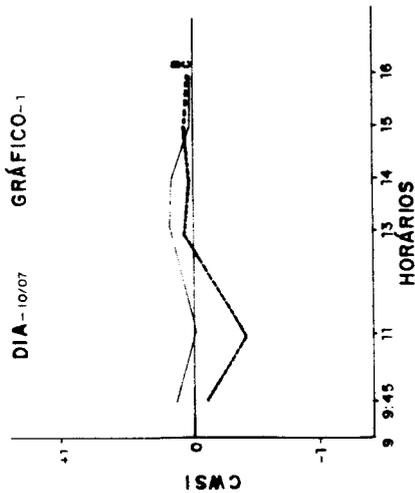
DIAS \ PARCELAS	11/07	14/07	18/07	21/07	22/07	23/07	25/07	28/07	31/07
B	2,7/2,8	2,2/3,1	2,2/5,0	4,0/10,0	2,0/11,0	-	3,0/5,0	2,0/3,0	1,7/2,7
C	2,4/3,2	2,5/3,0	30,0/60,0	2,3/4,3	1,4/3,7	-	3,0/5,8	1,7/2,5	1,4/2,0

\* valores máximos e mínimos tomados durante o dia

TABELA 4  
VALORES DE POTENCIAL DE ÁGUA NA FOLHA (BARES) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS (POTENCIAL DE ÁGUA NA FOLHA)

TRATAMENTOS	ESPINOZA ET ALII (1980)
0,3 a 0,7 bar (4 a 8 dias)*	13,8 a 22,0
2,0 bares (12 dias)*	18,0 a 24,0
8,0 bares (16 a 18 dias)*	21,0 a 27,5
<b>VALORES DESTE EXPERIMENTO</b>	
Parcela C - 1ª irrigação (9 dias)*	15,0 a 22,0
Parcela B - 1ª irrigação (14 dias)*	16,0 a 28,0

\* Os números entre parênteses são os períodos de frequência de irrigação.



Gráficos correspondentes ao comportamento do índice, com os tratamentos B e C, em função dos 6 horários de coleta de medidas, ao longo do período de medidas, ao longo do período de medidas.

#### 4 - CONCLUSÕES

- 1) O índice CWSI é muito influenciado pelo aparecimento de nuvens, as quais, interrompendo o fluxo de radiação que chega a planta mascara sua real condição de estresse.
- 2) Apesar de se observar o comportamento coerente com os tratamentos só foi possível uma análise qualitativa do índice. O fato da metodologia possuir um grande número de parâmetros extremamente sensíveis e que precisam ser medidos com muita precisão não possibilitou uma análise quantitativa do índice.
- 3) O uso do índice como uma ferramenta prática para detectar estresse de água em culturas ainda depende de mais estudos para se poder saber realmente qual a parcela de contribuição de cada parâmetro envolvido.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTON, A.R.; VAN BAVEL, C.H.M. Soil surface water depletion and leaf temperature. *Agronomy Journal*, **64**(3):368-373, May/June 1972.
- BARTHOLIC, J.F.; NAMKEN, L.N.; WIEGAND, C.L. Aerial thermal scanner to determine temperatures of soils and of crop canopies differing in water stress. *Agronomy Journal*, **64**(5):603-608, Sept./Oct. 1972.
- CLARK, R.N.; HILER, E.A. Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop Science*, **13**(s.f.):466-469, 1973.
- CLAWSON, K.L.; BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agronomy Journal*, **72**(2):311-316, Mar./Apr. 1982.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. (FAO - Plant Production and Protection, Paper nº 33).
- EPIPHANIO, J.C.N. **Sensoriamento Remoto termal para avaliação de produtividade e deficiência hídrica de milho (Zea mays L.) na região dos Cerrados**. Dissertação de Mestrado em São José dos Campos, São José dos Campos, INPE, Abr. 1983, 123 p. (INPE-2704-TDL/129).
- ESPINOZA, W.; SILVA, E.M.; SOUZA, O.C. Irrigação de trigo em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **15**(1):107-115, Jan. 1980.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; GARRITY, D.P.; WATTS, D.G. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. *Irrigation Science*, **2**(s.f.):213-224, 1981a.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; WATTS, D.G. Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. *Agricultural Meteorology*, **25**(3):207-217, Dec. 1981.
- HATFIELD, J.L.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, **32**(1):41-53, July 1984.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Remote Sensing of crop yields. *Sciences*, **196**(4285):19-24, Apr. 1977.
- JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; PINTER JR., P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, **17**(4):1133-1138, Aug. 1981.
- LUCHIARI JR., A.; RESENDE, M. Determinação do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para o trigo irrigado em áreas de cerrado do Planalto Central Brasileiro. In: REUNIÃO ANUAL DA COMISSÃO NORTE BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 9, EMBRAPA/CPAC, 1982, 2 p.
- MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. Radiative temperature in heat balance of natural surface. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **88**(s.f.):496-507, 1962.
- MOTA, F.S. Clima e zoneamento para a trituração no Brasil. In: FUNDAÇÃO CARGILL, **Trigo no Brasil**, Campinas, Fundação Cargill, 1982, v. 1, p. 29-58.
- NIXON, P.R.; NAMKEN, L.N.; WIEGAND, C.L. Spatial and temporal variation of crop canopy temperatures and implications for irrigation scheduling. SCHAHAKHI, F., ed. **Remote Sensing of the earth resources**. Tullahoma, T.N. University of Tennessee, 1973. v. 2, p. 643-657.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Soc. London Ser. A.*, **193**:120-145, 1948.
- SHARRATT, B.S.; REICOSK, D.C.; IDSO, S.B.; BAKER, D.G. Relationships between leaf water potential, canopy temperature, and evapotranspiration in irrigated and non irrigated alfalfa. *Agronomy Journal*, **75**(5):891-894, Sept./Oct. 1983.
- STEWART, B.A.; MUSICK, J.T.; DUSEK, D.A. Yield and water use efficiency of grain sorghum in a limited irrigation-dryland farming system. *Agronomy Journal*, **75**(4):629-634, July/Aug. 1983.
- TANNER, C.B. Plant temperatures. *Agronomy Journal*, **55**(s.f.):210-211, 1963.
- TUBELIS, A.; SOUZA, F.G.A. Determinação do período crítico de irrigação na cultura do trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **17**(8):1193-1198, Agosto 1982.
- WIEGAND, C.L.; NAMKEN, L.N. Influences of plant moisture stress, solar radiation and air temperatures on cotton leaf temperature. *Agronomy Journal*, **58**(s.f.):582-586, 1966.