

# ASPECTOS DO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DIRETO DA PERDA D'ÁGUA EM PLANTAS HERBÁCEAS COM BASE NA MARCAÇÃO DA SEIVA POR CALOR: Resultados preliminares<sup>1</sup>

Antonio Odair SANTOS<sup>2</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Para os cultivos de importância econômica existe carência de métodos de determinação direta da curva de perda d'água que sejam de preferência, simples, portáteis e confiáveis. Para os cultivos herbáceos têm particular importância para o monitoramento do uso da água pelas culturas e para o estabelecimento de relações hídricas no complexo solo-planta-atmosfera, principalmente para subsídio ao manejo preciso da irrigação.

A determinação da curva de perda d'água a partir de medições no fluxo de seiva no caule, tanto para plantas herbáceas como arbóreas tem sido feita pela utilização da técnica conhecida como sistema de pulso de calor que tem por base a aplicação de calor como elemento traço, para detectar o movimento de seiva no xilema, através do uso de sensores implantados.

Santos et al. (2000) discutiram a aplicação do sistema de pulso de calor na cultura do milho sob condições favoráveis de umidade do solo e apontaram correlação positiva com medições obtidas em lisímetro.

O desenvolvimento físico do sistema, a partir de materiais e processos nacionais ainda não foi bem estabelecido no Brasil, portanto se faz necessário o desenvolvimento de métodos e técnicas de montagem de protótipo capaz de dosar e fornecer adequadamente calor, assim como o desenvolvimento de sensores adequados para detecção da movimentação da seiva, bem como a programação para a leitura e armazenamento de dados, a campo.

O objetivo deste estudo é demonstrar aspectos do desenvolvimento de protótipo autônomo, portátil e móvel, para monitoramento direto da perda d'água em plantas herbáceas, com base na marcação da seiva por calor.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Base Teórica do sistema

A determinação do transporte d'água em plantas, através da marcação da seiva por calor tem por base a condução e convecção de calor em meio homogêneo e isotrópico (Swanson & Whitfield, 1981):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \rho_s C_s \frac{\Delta T}{\rho C \Delta x} + \frac{Q}{\rho C} \quad [1]$$

onde  $T$  é a temperatura em evolução ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t$  é o tempo,  $k_x$  e  $k_y$  são as difusividades térmicas ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) da mistura lenho-seiva,  $\rho$  and  $C$  são respectivamente, a densidade ( $\text{g m}^{-3}$ ) e calor específico ( $\text{J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) do lenho úmido e  $Q$  é o aumento da temperatura causado pela calor gerado internamente.

Configurando-se um eletrodo para geração de calor e sensores para diferencial de temperatura em um mesmo plano diametral e longitudinal pode-se descrever, de modo prático, a velocidade de seiva em uma seção caulinar herbácea do seguinte modo (p.e. Santos et al., 2000):

$$v = (x_1 - x_2) / 2t_0 \quad [2]$$

onde  $x_1$  e  $x_2$  são as distâncias acima e abaixo da fonte linear de calor, respectivamente,  $t_0$  é o tempo requerido para que o diferencial de temperatura entre  $x_1$  e  $x_2$  retorne aos seus valores iniciais (re-ocorrência).

A transpiração ( $Tr$ ) pode ser determinada utilizando-se a relação abaixo:

$$Tr = v(t_0) \cdot C_f \frac{d^2 \pi}{4} \quad [3]$$

onde  $C_f$  é um fator de calibração específico para cada espécie vegetal e  $d$  é o diâmetro médio do caule no local da implantação dos sensores.

### 2.2. Arquétipo da construção

#### 2.2.1. Placa controladora de pulso

Uma placa para controle do tempo e da carga do pulso foi desenvolvida com o intuito da marcação da seiva pelo calor. Foram construídos oito canais de pulso, com controle efetuado por um relé para cada conjunto de dois canais. O arranjo permitiu o fornecimento de pulso em cada dois canais conectados em serie, tendo-se quatro saídas finais em paralelo. O fornecimento de calor foi feito através de agulhas hipodérmicas, que foram implantadas radialmente na base do caule do milho. Para evitar a influência de campo elétrico sobre as leituras do "datalogger" a ligação entre a placa de pulso e este foi feito através de acoplamento óptico. Duas mini-baterias de 12 V foram utilizadas no sistema.

Considerando-se uma resistência média de 1 ohm para cada agulha utilizada como eletrodo e a circulação de uma corrente de seis ampéres em cada uma delas, uma dissipação da potência em torno de 72 W (72 Joules/s) foi implementada.

O experimento foi desenvolvido em laboratórios e a campo, no Centro de Engenharia Agrícola (IAC) em Jundiaí, durante os anos de 2002 e 2003.

#### 2.2.2. Sensores para detecção de movimento de seiva

A movimentação da seiva foi determinada através da medição diferencial da temperatura entre dois pontos amostrados na base do caule do milho. Para tanto, duas agulhas hipodérmicas foram arranjadas em um bloco de nylon (Figura 1). Dentro das agulhas foram introduzidos

1. Com suporte financeiro **CNPq\_CT- Hidro**

2. Dr. PqC do Centro de Engenharia Agrícola, (IAC). Cx. P. 26, CEP 13201-970, Jundiaí, SP. E-mail: [odairsan@iac.sp.gov.br](mailto:odairsan@iac.sp.gov.br)

juntas termopar do tipo T de 0,051 mm de diâmetro. A composição das juntas foi obtida em mesa de microsoldagem à mercúrio e argônio. A disposição dos fios dentro das agulhas foi feito sob isolamento. Obteve-se o isolamento dos fios entre si e entre os fios e as agulhas.

A condução do sinal da junta termopar, do sensor até o sistema de leitura, foi feito através de cabos de compensação de cobre blindados.

As distâncias entre as agulhas e entre estas e a fonte de calor obedeceu à configuração previamente estabelecidas para milho, descritas em Santos et al. (2000).

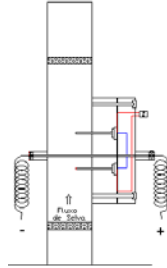


Figura 1. Diagrama do corpo de nylon e micro-circuito do sensor desenvolvido para leitura do fluxo de seiva em milho.

### 2.2.3. Leitura e armazenamento dos dados

A leitura da temperatura diferencial, em cada planta, foi efetuada a cada segundo, sendo a flutuação de cada sensor ponderada a cada 5 minutos. A cada quinze minutos um pulso de calor foi fornecido à seiva e a re-ocorrência da temperatura imediatamente anterior ao pulso foi armazenada. Desse modo, os últimos cinco minutos das curvas diferenciais, imediatamente anteriores ao pulso, foram utilizados como parâmetro de comparação. Uma sequência de pulsos de 400 e 500 milissegundos foi fornecido para verificar possíveis influências do intervalo de pulso sobre a detecção do tempo  $t_0$ .

### 2.2.4. Embalagem e alimentação elétrica

O Sistema construído obedeceu a uma configuração passível de ser acomodado em caixa selada, que foi adaptada sobre um "carrinho pneumático". A alimentação das baterias foi feita através de dois painéis solares, que foram instalados em uma haste progressiva de alumínio, construída para se ajustar ao "carrinho pneumático" e sustentar os painéis.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sensibilidade do sistema (integração pulso-sensor-leitura) para a movimentação de seiva pode ser observada na Figura 2, onde foram abordadas quatro plantas de milho em quatro dias seqüências. As curvas de re-ocorrência ( $t_0$ ) seguem a marcha diária acompanhando os picos da curva de radiação solar, demonstrando sensibilidade para a relação fluxo de seiva-controle estomático. Os sensores entre si demonstram concordância na marcha diária, o que evidencia coerência no processo de construção dos mesmos.

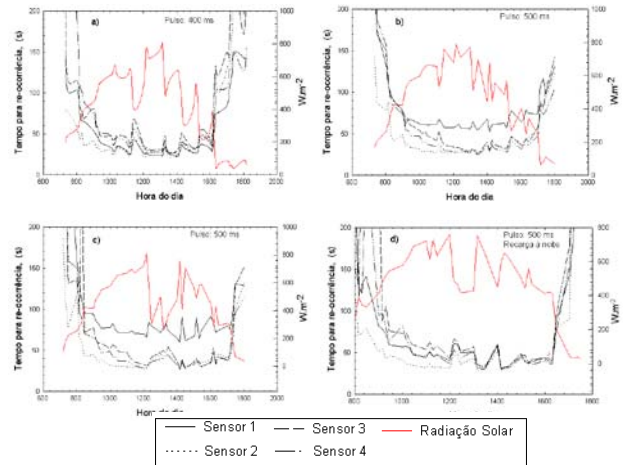


Figura 2. Marcha diária das curvas dos sensores construídos para determinação de parâmetros de cálculo da velocidade seiva ( $t_0$ ) e radiação solar, nos dias (a) 06, (b) 11, (c) 12, e (d) 13/02/2003, em milho.

A aplicação de dois tempos de pulso (400 ms e 500 ms) não produziu resultados diferenciados em termos de detecção das curvas de re-ocorrência. Nenhum dos tempos de carga utilizados causou danos aos tecidos do milho, para uma exposição de 15 dias seqüenciais. Na Figura 2 b-d observam-se maiores valores de  $t_0$  (baixos valores de transpiração em relação aos demais) descritos pelo sensor 1, que se diferenciou. Tal fato é resultado da baixo número de folhas na planta em questão, que possuía já 4 folhas baixas mortas. No entanto com a recarga da água no solo no dia 13/02, ocorreu o abrandamento do estresse, que foi detectado pelo sensor, que se igualou aos demais. Os detalhes discutidos evidenciam a sensibilidade do sistema desenvolvido para monitorar o fluxo de seiva e, portanto a transpiração.

Para a maioria dos dias observados o tempo de re-ocorrência é menor à tarde em comparação com os valores da manhã, fato que pode ser devido a re-hidratação dos tecidos da planta do final da tarde em diante.

## 4. CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido para medição da perda d'água em milho permitiu verificar relações coerentes entre transporte de calor e variações no fluxo de seiva na base do caule do milho, podendo ser calibrado para medição direta da transpiração.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SANTOS, A. O., BERGAMASCHI, H., ROSA, L.M.G., BERGONCI, J. I. Calibrated heat-pulse method for the assessment of maize water uptake. *Scientia Agricola*, v.57, n.1, p. 27-31, 2000
- SWANSON, R.H., WHITFIELD, D.W.A. Numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.32, p.221-239, 1981.