

ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO E FLUXO DE SEIVA EM CACAUEIROS JOVENS EM CONDIÇÕES DE BAIXA DEMANDA DE ÁGUA DA ATMOSFERA

A. Cazuza Neto¹; L. M. Vellame²; G. P. Araújo³; R. S. Vasconcelos⁴; R. A. Santana⁵.

RESUMO: Novas tecnologias agrícolas, em especial a irrigação, possibilitam o aumento da produtividade da cultura do cacau. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a temperatura foliar e a transpiração de cacaueiros jovens submetidos à restrição de água no solo, em condições de baixa demanda de água pela atmosfera. O experimento foi conduzido em estufa na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Foram efetuadas medidas de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica e temperatura foliar com um termômetro de infravermelho. As plantas foram submetidas a variações de potenciais de água no solo de -10 KPa, -10 à -30 KPa, -10 à -60 KPa e -10 à -80 KPa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. O melhor horário para a coleta de dados para a determinação do IEHC foi ao meio dia apresentando menor coeficiente de variação (6,2%) e melhor correlação entre o IEHC e o potencial de água no solo. A temperatura foliar se manteve acima da temperatura do ar ao longo do experimento nos dois períodos avaliados, o que confirma os baixos valores de transpiração. A medida que o potencial de água no solo diminuiu, ocorreu o aumento do índice de estresse hídrico, com coeficiente de correlação (R^2) de 0.99.

PALAVRAS – CHAVE: Temperatura foliar, *Theobroma cacao* L., Déficit hídrico.

CROP WATER STRESS INDEX AND SAP FLOW IN YOUNG CACAO TREES UNDER CONDITIONS OF LOW ATMOSPHERIC WATER DEMAND

ABSTRACT: New agricultural technologies, especially irrigation, make it possible to increase the productivity of the cocoa crop. The objective of the present work was to evaluate the leaf temperature and transpiration of young cacao trees submitted to water restriction in the soil, in conditions of low demand of water by the atmosphere. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Bahia Recôncavo. Sap flow measurements were

¹ Mestrando em Engenharia Agrícola- PPGEA, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Caixa Postal 82, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. Fone 075991279633. E-mail: ancelmocasuzza@gmail.com;

² Prof. Doutor, Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), UFRB, Cruz das Almas, BA. E-mail: lucasvellame@gmail.com;

³ Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: geovanapaimaraujo@hotmail.com;

⁴ Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: Svrafa@hotmail.com;

⁵ Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: rodrigoufrb@hotmail.com.

performed by the thermal dissipation probe and leaf temperature method with an infrared thermometer. The plants were subjected to variations of soil water potentials of -10 KPa, -10 to -30 KPa, -10 to -60 KPa and -10 to -80 KPa. The experimental design was completely randomized with three replicates. The best time for data collection for IEHC determination was at midday with a lower coefficient of variation (6.2%) and a better correlation between IEHC and soil water potential. The leaf temperature remained above the air temperature throughout the experiment in the two evaluated periods, which confirms the low values of transpiration. As the soil water potential decreased, the water stress index increased, with a correlation coefficient (R^2) of 0.99.

KEYWORDS: Leaf temperature, *Theobroma cacao* L., Water deficit.

INTRODUÇÃO

A cacauicultura brasileira é uma atividade de grande importância socioeconômica, sendo o cacau uma importante commodity agrícola de exportação no mundo. No entanto, a cacauicultura baiana passou por uma crise na década de 1980, por conta de condições climáticas desfavoráveis, preços baixos do cacau no mercado internacional, redução do poder aquisitivo do produtor e principalmente por problemas fitossanitários (ZUGAIB, 2008). Uma das técnicas adotadas para o aumento da produtividade é o plantio de clones resistentes à vassoura-de-bruxa, mas este plano de ação não está sendo suficiente para reestabelecer a produtividade alcançada antes da infestação dessa enfermidade (LEITE, 2013).

O cacauero irrigado é pouco disseminado já que nas regiões tradicionais de plantio apresentam elevada precipitação pluviométrica bem distribuída ao longo do ano. No entanto, mesmo nessas regiões há a ocorrência de veranicos (redução da pluviosidade fora de época) o que geralmente leva à redução da produtividade, visto que os processos fisiológicos do cacau são muito sensíveis ao déficit hídrico (AMORIM, 1992). O conhecimento do comportamento hídrico do cacauero é de suma importância para que a irrigação seja manejada de modo que atenda as necessidades das culturas, favorecendo a expressão de seu potencial produtivo. Possibilitando assim, o manejo racional das irrigações resultando numa maior economia dos recursos hídricos, aumentando a eficiência do uso da água, possibilitando o aumento da receita líquida da propriedade rural (FRIZZONE et al, 2001).

Diversos métodos são usados para o manejo da irrigação, dentre estes aqueles que analisam o comportamento hídrico das culturas tem sido empregados, através da determinação

do fluxo de seiva e da temperatura do dossel vegetal para estimar índices de estresse hídrico. Deste modo, o índice de estresse hídrico da cultura pode fornecer subsídios para a tomada de decisão mais eficiente (COSTA et al, 2015). O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da temperatura foliar e da transpiração da cultura do cacau sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo, visando a estimativa de um índice aplicado ao manejo de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB, nas dependências do Núcleo de Engenharia de Água e Solo/NEAS, no município de Cruz das Almas, Bahia (12°40'19"S, 39°06'23"W e altitude de 220 m). Mudanças da cultivar 'CCN51' foram transplantadas em reservatórios de polietileno com capacidade de 100 litros. O efeito do estresse hídrico na transpiração e temperatura foliar foi determinado pela variação dos potenciais de água no solo, resultando nos seguintes tratamentos: -10 kPa, -10 à -30 KPa, -10 à -60 KPa e -10 à -80 KPa, em delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições. Para o monitoramento do potencial de água no solo tensiômetros foram instalados a 10 cm de profundidade acoplados a transdutores de pressão.

Quatro reservatórios, um para cada tratamento, foram depositados em cima de plataforma de pesagem com capacidade de 120 Kg, constituindo assim, lisímetros de pesagem.

Para calibração dos lisímetros de pesagem confeccionaram-se massas conhecidas utilizando-se balança analítica; as massas foram aplicadas em ordem crescente e decrescente em cinco ciclos de leitura.

Manejo da irrigação

As reposições de água foram realizadas quando se atingiu o potencial de água no solo máximo estabelecido e seu volume determinado a partir da variação de massa medida pelos lisímetros de pesagem para cada tratamento.

Com base nas equações (1, 2, 3 e 4) com as variações de massa medidas pelos lisímetros foram estimadas a massa do reservatório quando submetidas a -10 KPa e ao atingir o potencial máximo de água no solo estabelecido para cada tratamento.

$$LIS1 \text{ sinal} = 1,4485 \Psi - 0,025 \quad (R^2 = 0,8763) \quad (1)$$

$$\text{LIS2 sinal} = 1,2912 \Psi - 0,02 \quad (R^2 = 0,9404) \quad (2)$$

$$\text{LIS3 sinal} = 1,3587 \Psi - 0,04 \quad (R^2 = 0,9533) \quad (3)$$

$$\text{LIS4 sinal} = 1,3865 \Psi - 0,026 \quad (R^2 = 0,9378) \quad (4)$$

Em que: LIS sinal – sinal do lisímetro, m/v; Ψ – Potencial mátrico, KPa;

O volume (L) de água a ser aplicado foi estimado pela diferença entre a massa estimada do reservatório quando submetido a -10 KPa e massa estimada do reservatório ao atingir o potencial máximo estabelecido.

Monitoramento da transpiração e temperatura do dossel foliar

Para a medida da temperatura foliar foi utilizado um termómetro de infravermelho ST60 ProplusTMStandard, faixa de temperatura de -32 à 600°C com acurácia de 1%, com o qual coletou-se os dados em três folhas da planta diariamente no período da manhã (as 6 horas) e ao meio dia.

Fluxo de seiva

Para a medida da transpiração, sondas de dissipação térmica foram construídas e instaladas segundo Vellame (2009), no caule de todas as plantas. Sondas dissipação térmica de 1 cm de comprimento foram contruídas utilizando-se termopares de cobre-constantã de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de 1 mm, preenchidas com resina para fixação.

Variáveis meteorológicas

A radiação solar global foi monitorada por meio de piranómetro (LP02-L12 - Campbell Sci.) e a umidade relativa e temperatura do ar por sensor Vaisala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Os sensores foram instalados a 2 m de altura no centro da estufa. A evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) foi estimada pelo método padrão proposto pela FAO (ET_{OPM}).

Cálculo do índice de estresse hídrico

Após a normalização das linhas bases de temperatura inferior e superior, o IEHC foi calculado com base na seguinte equação:

$$IEHC = \frac{(tc - ta) - (tc - ta)LBI}{(tc - ta)LBS - (tc - ta)LBI} \quad (12)$$

Em que: IEHC: índice de estresse hídrico; ($T_c - T_a$): diferença de temperatura entre a cultura e o ar, °C; ($T_c - T_a$)LBI: Limite basal inferior; ($T_c - T_a$)LBS: Limite basal Superior.

As linhas de base superior e inferior são calculadas por:

$$(T_c - T_{ar})LBS = \frac{(R_n - G)rh}{\rho_{ar} c_p} \quad (14)$$

$$(T_c - T_{ar})LBI = \frac{(R_n - G)rh}{\rho_{ar} c_p (1 + \Delta/\gamma)} - \frac{DPVar}{\gamma(1 + \Delta/\gamma)} \quad (15)$$

Em que: R_n : saldo de radiação, $W m^{-2}$; G : fluxo de calor no solo, $W m^{-2}$; rh : resistência da transferência de calor sensível por convecção, $s m^{-1}$; rc : resistência de superfície à transferência de calor latente, $s m^{-1}$; ρ_{ar} : densidade do ar, $kg m^{-3}$; c_p é calor específico do ar, $J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$; Δ : declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água no ar, $Pa ^\circ C^{-1}$; γ : constante psicrométrica, $Pa ^\circ C^{-1}$;

A resistência da transferência de calor sensível por convecção (16) apresentada por Marin (2004) para plantas de café.

$$rh = \frac{1,263 AF + 12,139}{\sqrt{u}} \quad (16)$$

Em que: rh = resistência da transferência de calor sensível por convecção, $s m^{-1}$; AF = Area foliar média das plantas, m^2 u = Velocidade do vento, $m.s^{-1}$ R_n é o saldo de radiação, $W m^{-2}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período experimental houve baixa incidência de radiação no interior da estufa, apresentado valores médios do total de radiação por dia de $4.4 MJ.m^2$, sendo seu valor máximo e mínimo de 5,9 e 1,4 respectivamente. Fato este ligado a presença de nuvens na ocasião da condução do experimento. A temperatura do ar seguiu praticamente o comportamento da radiação, observaram-se temperaturas média de $24,08 ^\circ C$ com temperatura máxima e mínima de $33,6$ e $18,7 ^\circ C$ respectivamente, não sendo um fator limitante para o desenvolvimento da cultura. A umidade relativa média do ar foi de $77,5\%$ com valores máximos e mínimos de $93,3$ e $39,6$. Houve baixa evapotranspiração no interior da estufa, apresentando valor médio de $1,5 mm$ e valores máximos e mínimos de $2,01$ e $0,78 mm$ respectivamente, resultando em baixa demanda atmosférica o que pode ter interferido na transpiração das plantas.

A diferença entre a temperatura da cultura e do ar foram maiores que o limite basal superior $(T_c - T_a) LBS$, o que levou a superestimar os valores de IEHC, obtendo valores superiores a 1. Jeckson (1982) indica que o IEHC varia de 0 a 1, o IEHC esta compreendido entre 0 (estresse nulo), quando a diferença de temperatura $T_c - T_a$ estiver sobreposta a linha base

experimental inferior, e 1 (estresse máximo), quando a diferença estiver próximo da linha base experimental superior.

Ao longo do experimento a temperatura da cultura (T_c) de todas as plantas submetidas aos diferentes limites de potenciais de água no solo apresentaram temperatura foliar superior a temperatura do ar em ambos os períodos avaliados (Figura 1).

No período da manhã as plantas submetidas aos diferentes potenciais apresentaram temperatura foliar (T_c) e diferença de temperatura ($T_c - T_a$) semelhante, enquanto que ao meio dia houve diferença na temperatura da cultura e do ar submetida aos limites avaliados, sendo que as plantas submetidas aos maiores potenciais apresentaram maiores valores de temperatura foliar (Figura 1).

Para as medidas realizadas ao meio dia, as plantas submetidas ao potencial de - 80 KPa apresentaram diferença de temperatura ($T_c - T_a$) superior do que as plantas submetidas aos potenciais inferiores, sendo que as diferenças de temperatura foram maiores no período do meio dia do que no período da manhã. Apresentando valores máximos e mínimos da diferença para plantas com e sem estresse hídrico (80 e 10 Kpa) de 11, 48 e 0.52 e de 10.83 e -0.12 °C respectivamente, conforme (Figura 1). Corroborando com Costa *et al* (2015) que ao avaliar a termometria como indicativo do déficit hídrico do cafeeiro irrigado, com aplicação de 125%, 100%, 75% e 0% da lâmina requerida, observou que a temperatura foliar dos tratamentos com menor lamina obtiveram maiores temperaturas foliara do que os irrigados com a maiores laminas.

A estimativa dos limites basais com base nas medidas de temperatura e os dados meteorológicos no horário da medida apresentou coeficiente de variação de 6.2% para as leituras ao meio dia e 25.2% para as leituras no inicio da manhã (6h). Indicando assim, que os dados coletados ao meio dia são mais sensíveis para a determinação do IEHC.

A medida que o potencial de água no solo diminuiu, ocorreu o aumento do índice de estresse hídrico, com coeficiente de correlação (R^2) de 0.99. No entanto, não houve aumento significativo no comportamento do IEHC quando o potencial de água no solo atingiu - 60 Kpa em relação a -80 kPa, provavelmente por conta da baixa evapotranspiração da cultura e a baixa disponibilidade de água no solo (FIGURA 2). Corroborando com Araújo *et al* (2014) na determinação do índice de estresse hídrico da cana de açúcar na região do cerrado, observou que para potenciais inferiores (mais negativas) há aumento crescente do índice de estresse hídrico.

Ao longo do experimento houve baixa transpiração pelas plantas submetidas aos diferentes limites de potencial de água no solo, as plantas submetidas ao limite de -10 KPa

apresentaram um maior fluxo de seiva em relação aos outros tratamentos. A medida que a disponibilidade de água no solo reduziu a transpiração das plantas reduziu e ao fazer a reposição de água houve o aumento da transpiração (FIGURA 3).

No dia em que ocorreram baixa incidência de radiação, temperatura e evapotranspiração de referência, o fluxo de seiva foi muito baixo (inferior a $0.1 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$) para os diferentes limites de potencial de água no solo, exceto para as plantas submetidas a -10 KPa que apresentou fluxo de seiva de $1.5 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$ aproximadamente.

O fluxo de seiva apresentado não foi capaz de promover um resfriamento na sonda superior em que fosse possível aplicar o método. As variações entre a temperatura máxima do dia (fluxo nulo) e a mínima (fluxo máximo) foram menores que 2°C (Figura 15 e 16) Os gradientes térmicos naturais podem em muitos casos apresentar valores superiores aos encontrados nessas medidas inviabilizando a estimativa (FIGURA 4) (PAMPONET et al., 2012; VELLAME et al., 2011).

CONCLUSÕES

Sob baixa evapotranspiração a temperatura foliar do cacauzeiro submetidos aos limites de potencial de -10 , -30 , -60 e -80 KPa manteve-se acima da temperatura do ar, não havendo diferença significativa entre os potenciais. A termometria a infravermelho se mostrou um método mais sensível na indentificação do estresse hídrico na planta que o método da sonda de dissipação térmica sob condição de baixa evapotranspiração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. M. C., VALLE, R. R. Efeito da temperatura radicular na resistência ao movimento de água no cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). **Acta Botânica Brasílica** – Vol. 6. nº 1 (1992) – Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, pp 55-64. 1992.

ARAÚJO, R.; SÁ, A.; BEZERRA, R. S.; RODRIGUES, T. R.; SILVEIRA, A. L. R.; VELLAME, L. M. Índice de estresse hídrico em cana-de-açúcar no cerrado com termometria de infravermelho. In: II Inovagri International Meeting, 2014, Fortaleza. Anais do II Inovagri International Meeting - 2014. Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI/INCTSal, 2014. <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a335>

COSTA J. O.; BARROS, T. H. S.; SAMPAIO, P. R. F.; RIBEIRO⁴, N. L.; COELHO, R. D. Aplicação da termometria como indicativo de déficit hídrico do cafeeiro irrigado. In: **III Inovagri International Meeting, 2015, Fortaleza. Anais do III Inovagri International Meeting** - 2015. Fortaleza: INOVAGRI/INCT-EI/INCTSal, 2015. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a313>> . Acesso em: 20/07/2016.

FRIZZONE, J. A.; MATIOLO, C. S. REZENDE, R., Gonçalves, A. C. A. Viabilidade econômica de irrigação suplementar em cana-de-açúcar, *sacharum spp.*, para região Norte do Estado de São Paulo. **Acta scientiarum Agronomy**, Maringá, v.23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

LEITE, M. S. B. **Consumo hídrico do cacaueteiro jovem irrigado por gotejamento em consórcio com bananeira e pau-brasil**. 68 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, 2013.

Marin, F. **Evapotranspiração e Transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA. A. S.; MARINHO. L. B.; VELLAME, L. M. ; PAZ, VITAL P.S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de granier em cacaueteiro a pleno sol. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 120 - 132, 2012

Vellame L.M.; Coelho Filho M. A.; Paz V.S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, n.5, p.516–523, 2009 Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

ZUGAIB, A.C.C. Mudanças cambiais e o efeito dos fatores de crescimento ou declínio das receitas de exportações brasileiras de cacau em amêndoas. **Bahia Agrícola**. v.8, n. 2, p.43-48.

2008.

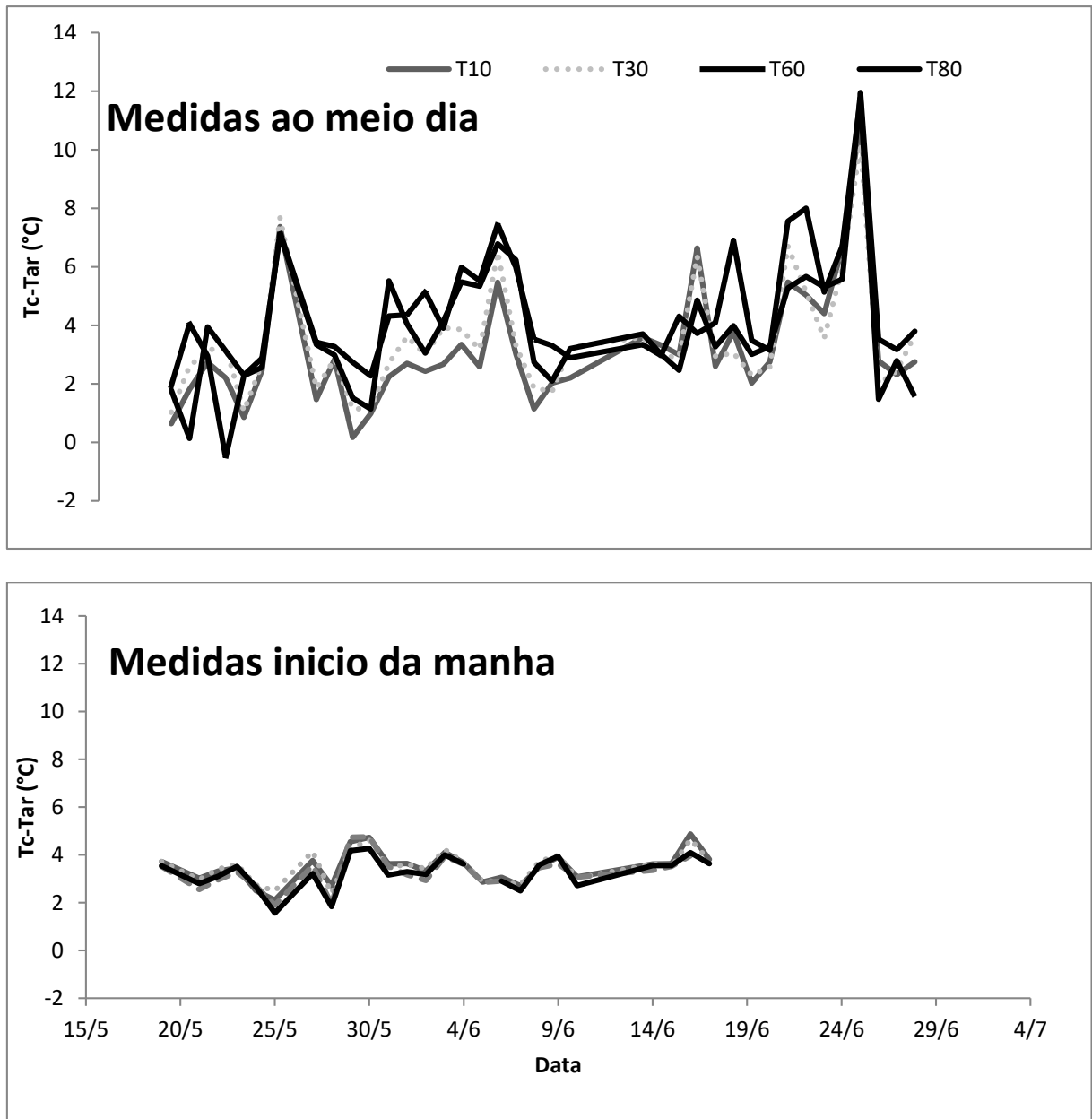


Figura 1. Diferença de temperatura da folha e do ar (Tc-Ta) no período ao meio dia e início da manhã.

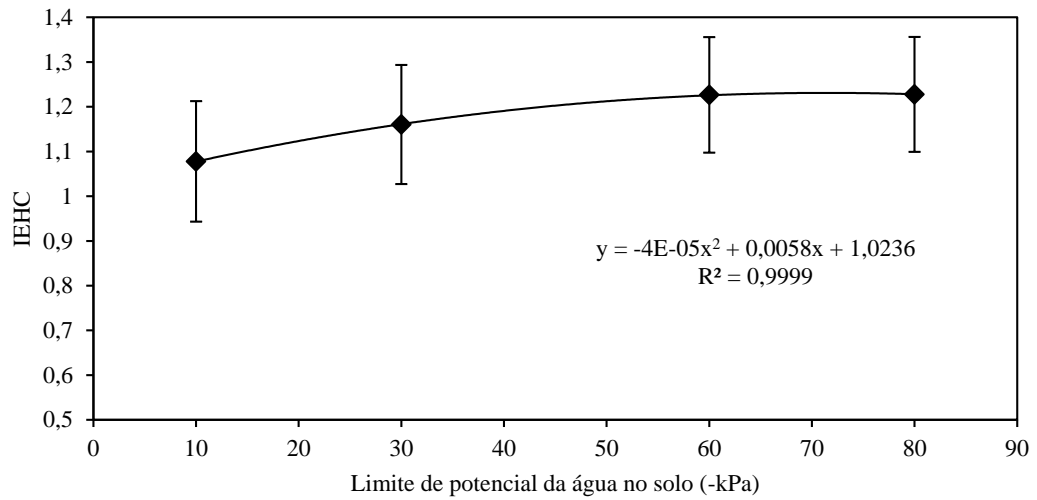


Figura 2. Correlação do índice de estresse hídrico e o limite de potencial da água no solo (-kPa) medidos no início da manhã e ao meio dia.

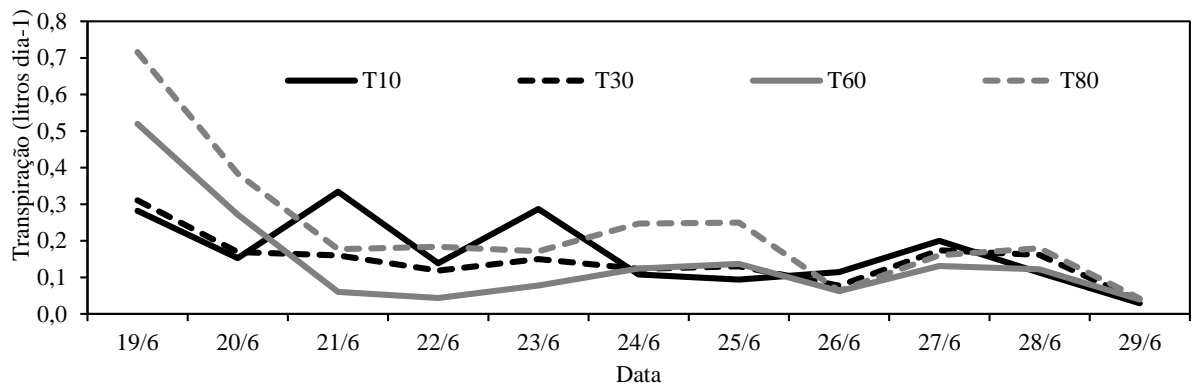


Figura 3. Fluxo de seiva no cacauzeiro submetido a diferentes limites de potencial de água no solo, obtido pelo método de sondas de dissipação térmica.

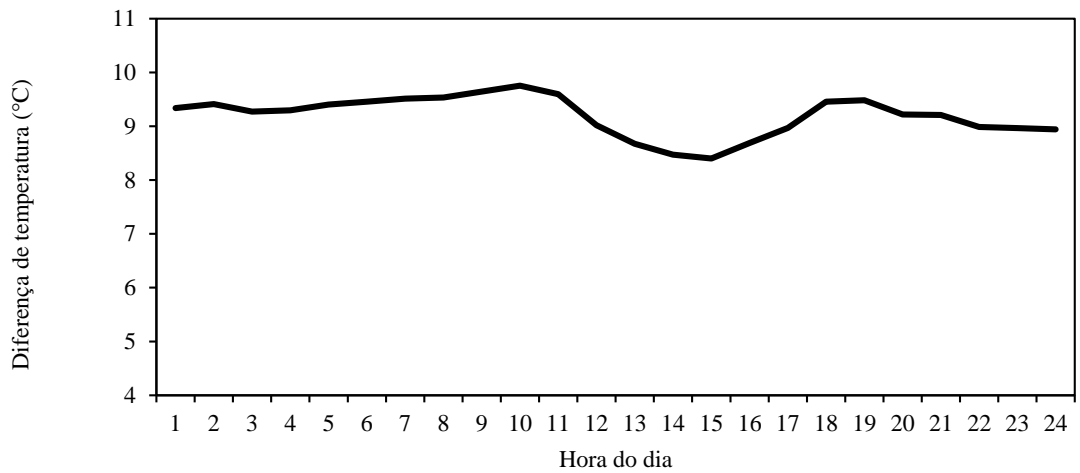


Figura 4. Curso diário da diferença de temperatura em uma sonda de dissipação térmica (19/06/2016).