

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO**

**RELAÇÕES HÍDRICAS DO CACAUEIRO:  
EFEITO DA ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DA ÁGUA DO  
SOLO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO**

**Luciano Sobral Fraga Junior**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2017**

**RELAÇÕES HÍDRICAS DO CACAUEIRO:  
EFEITO DA ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DA ÁGUA DO SOLO E  
CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO**

**Luciano Sobral Fraga Junior**  
Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2015

Dissertação apresentada ao colegiado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos)

**Orientador:** Prof. Dr. Lucas Melo Vellame  
**Coorientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lúgia Borges Marinho

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

F811r

Fraga Junior, Luciano Sobral.

Relações hídricas do cacau: efeito da área foliar, potencial da água do solo e condições de sombreamento / Luciano Sobral Fraga Junior. – Cruz das Almas, BA, 2017.

61f.; il.

Orientador: Lucas Mello Velame.

Coorientadora: Lígia Borges Marinho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Cacau – Cultura agrícola. 2.Cacau – Crescimento vegetativo. 3.Irrigação com déficit hídrico – Avaliação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.74

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO**

**RELAÇÕES HÍDRICAS DO CACAUEIRO:  
EFEITO DA ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DA ÁGUA DO SOLO E  
CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação  
Luciano Sobral Fraga Junior

Aprovada em: 06 de Fevereiro de 2017.

---

Prof. Dr Lucas Melo Vellame  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Orientador)

---

Prof. Dr Alisson Jadavi Pereira da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano  
(Examinador Interno)

---

Dr. Willian Fernandes de Almeida  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Examinador Externo)

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Luciano Fraga e Sandra Ribeiro Costa.

Às minhas irmãs Elís e Laisa.

À minha vó Maria.

À minha namorada, Cris.

## AGRADECIMENTOS

À Deus e aos Espíritos benfeitores, por toda luz na minha caminhada.

Ao professor Lucas Melo Vellame por toda orientação, amizade, ensinamentos e incentivos constantes.

A Professora Lígia Borges Marinho por toda orientação e apoio, sem o qual este trabalho não seria realizado.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia especialmente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao professor Alisson Jadavi por todas as contribuições.

Ao professor Vital Pedro da Silva Paz por todo apoio e incentivo.

Aos professores Aureo Oliveira, Tales Miler e Mauricio Coelho por todos os ensinamentos.

Aos colegas de curso pela convivência e amizade: Neilon, Damiana, Francisco, Hewsley, Monikuely, Regiana, Allan, Thais, Antônio, Hélio, João, Lucylia e Mairton.

Aos funcionários do NEAS, em especial à Edilson Bastos (Boi) pelo grande apoio e amizade.

À Ancelmo Cazuza pela amizade e ajuda imprescindível para a montagem do experimento.

À Rafael Vasconcelos por toda amizade.

À Geovana Paim pela amizade e apoio na coleta de dados.

À toda turma da UNEB de Juazeiro que me ajudou sob o sol do sertão, na minha presença e na minha ausência, para que esse trabalho fosse realizado: Fernanda, João, Aureliano, Juliana e Arthur.

À FAPESB pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento do projeto a partir do qual esse trabalho foi desenvolvido.

## RELAÇÕES HÍDRICAS DO CACAUEIRO: EFEITO DA ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DA ÁGUA DO SOLO E CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

**RESUMO:** O cultivo de cacau tem se expandido para áreas com características ambientais muito diferentes das regiões tradicionais de exploração, inclusive com o uso da irrigação e plantio à pleno sol. Isso tem demandado estudos sobre as relações hídricas e o consumo de água pela planta. A quantificação da transpiração é essencial para a implantação e manejo da cultura, pois este é o principal fator na determinação da demanda hídrica do cacau. Atualmente há uma tendência de remoção do sombreamento alguns anos após o estabelecimento do plantio, contudo as relações entre níveis de sombreamento e o consumo hídrico e produção da cultura não tem sido devidamente estudadas. Dois experimentos foram conduzidos com o objetivo de: A) estimar a transpiração de plantas jovens de cacau em função da área foliar (AF), da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do potencial da água do solo ( $\Psi_a$ ); B) avaliar a relação da radiação solar e outras variáveis meteorológicas com a transpiração e o crescimento vegetativo do cacau cultivado em duas condições de sombreamento de bananeira no semiárido baiano. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação com plantas irrigadas por gotejamento. Inicialmente todas as plantas foram irrigadas com frequência diária e uma desfolha foi realizada formando 4 grupos com o mesmo número de folhas. Posteriormente metade das plantas permaneceu com irrigação frequente e a outra parte teve a irrigação suspensa. Não houve diferença significativa na transpiração média diária em plantas com área foliar média entre 1,11 a 3,71 m<sup>2</sup>. Com um potencial da água no solo até -24,89 kPa a transpiração média (L dia<sup>-1</sup>) pôde ser estimada linearmente em função da ET<sub>o</sub> (mm dia<sup>-1</sup>). Em condições de secamento do solo, a transpiração diária apresentou redução linear de 1,5% kPa<sup>-1</sup> a partir de um  $\Psi_a$  crítico igual a -24,89 kPa. No segundo experimento o fluxo de seiva foi estimado em plantas de cacau adultas em duas fileiras com distintos sombreamentos. Em uma das fileiras com quatro plantas de cacau, foi feito desbaste das bananeiras que estavam à sua volta para aumentar a exposição dos cacauzeiros à radiação solar. Na outra fileira com quatro plantas de cacau as bananeiras foram mantidas para manter o sombreamento. Foram instalados quatro sensores de radiação em cada fileira de plantas. Houve redução de 22 e 38% da radiação solar nas condições de sombreamento impostas o que afetou a transpiração e o crescimento vegetativo das plantas de cacau de forma direta e significativa.

**PALAVRAS CHAVE:** Déficit hídrico; Demanda hídrica atmosférica; Fluxo de seiva;; *Theobroma cacao* L.

## WATER RELATIONS OF COCOA PLANTS: EFFECT OF THE LEAF AREA, SOIL WATER POTENTIAL AND SHADING CONDITIONS

**ABSTRACT:** Cacao cultivation has expanded to areas with very different environmental characteristics from traditional farming regions, including the use of irrigation and planting in the full sun. This has demanded studies on water relations and water consumption by the plant. The quantification of the transpiration is essential for the implantation and management of the crop, as this is the main factor in the determination of the water demand of the cacao tree. Currently there is a trend of shading removal a few years after planting, however, the relationships between shade levels and water consumption and crop production have not been adequately studied. Two experiments were carried out with the objective of: A) estimating the transpiration of young cocoa plants according to leaf area (AF), reference evapotranspiration (ETo) and soil water potential ( $\Psi_a$ ); B) to evaluate the relationship of solar radiation and other meteorological variables with the transpiration and vegetative growth of the cacao tree cultivated under two conditions of banana shading in the semi - arid region of Bahia. The first experiment was conducted in a greenhouse with plants irrigated by drip irrigation. Initially all plants were irrigated daily and a defoliation was performed forming 4 groups with the same number of leaves. Subsequently half of the plants remained with frequent irrigation and the other part had the irrigation suspended. There was no significant difference in mean daily transpiration in plants with average leaf area between 1.11 and 3.71 m<sup>2</sup>. With soil water potential up to -24.89 kPa, mean transpiration (L day<sup>-1</sup>) could be estimated linearly as a function of ETo (mm day<sup>-1</sup>). Under soil drying conditions, daily transpiration presented a linear reduction of 1.5% kPa<sup>-1</sup> from a critical potential -24.89 kPa. In the second experiment the sap flow was estimated in adult cocoa plants in two rows with different shading. In one of the rows with four cocoa plants, banana trees were thinned around them to increase cocoa exposure to solar radiation. In the other row with four cocoa plants the banana trees were kept to maintain the shading. Four radiation sensors were installed in each row of plants. There was a reduction of 22 and 38% of the solar radiation in the imposed shading conditions, which affected the transpiration and the vegetative growth of the cocoa plants in a direct and significant way.

**KEY WORDS:** Atmospheric water demand; Flow of sap; Water deficit; *Theobroma cacao* L.



## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 6  |
| TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE CACAU E SUAS RELAÇÕES COM A<br>ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E $ETo$ ..... | 9  |
| RESUMO: .....   | 10 |
| ABSTRACT: .....   | 11 |
| INTRODUÇÃO .....  | 12 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....   | 13 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 20 |
| CONCLUSÕES .....  | 25 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 26 |
| TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CACAUEIRO CULTIVADO<br>À SOMBRA DE BANANEIRA NO SEMIÁRIDO BAIANO .....       | 29 |
| RESUMO .....  | 30 |
| ABSTRACT .....  | 31 |
| INTRODUÇÃO .....  | 32 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....   | 34 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 41 |
| CONCLUSÕES .....  | 47 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 48 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 53 |

## INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo do cacau se expandiu pelas margens do rio Amazonas no estado do Pará e foi introduzido na Bahia em 1746, onde encontrou boas condições edafoclimáticas formando a principal região produtora do país (Silva Neto, 2001). Adaptou-se bem à faixa litorânea do sul da Bahia, região úmida, caracterizada pela distribuição regular de chuvas durante maior parte do ano e com reduzido déficit hídrico (CODEVASF, 2009). A região do Baixo Sul da Bahia, compõe hoje uma área tradicional de cultivo do cacau, devido à notável contribuição para o desenvolvimento econômico e social proporcionado pela cultura (Piasentim & Saito, 2014).

O desenvolvimento da lavoura cacauera nas regiões tradicionais vem sendo acometido por diversos problemas, principalmente os fitossanitários e os econômicos, contudo, o enfrentamento aos problemas fitossanitários tem sido dificultado pelo sistema de produção agroflorestal historicamente adotado nessas regiões, o qual contribui para a formação de microclima favorável à disseminação de doenças fúngicas. Neste contexto, o cultivo do cacau tem se expandido para áreas com características ambientais muito diferentes daquelas encontradas nas regiões tradicionais, especialmente para as regiões semiáridas, onde se têm obtido sucesso pelo manejo de plantios com espaçamentos regulares e com o uso de técnicas como a irrigação localizada, fertirrigação, além de material genético melhorado (CODEVASF, 2009).

O cacau é uma planta cujo centro de origem é uma região com clima tropical e subtropical, onde geralmente o consumo hídrico pelos vegetais é alto. Possui grande sensibilidade à deficiência hídrica, tendo seus processos fisiológicos afetados pela falta de umidade no solo. Normalmente o cultivo do cacau é recomendado para regiões onde a precipitação pluviométrica é bem distribuída ao longo do ano e com média superior a 1200 mm (Amorim & Valle, 1993). Temperatura do ar, umidade relativa e precipitação são fatores correlacionados e afetam a sazonalidade das condições microclimáticas dentro de uma plantação de cacau (Miranda et al., 1994).

O cultivo do cacau em regiões onde a precipitação média anual varia entre 600 a 800 mm, demandam indispensavelmente práticas de irrigação para assegurar produções regulares (Carr & Lockwood, 2011). No município de Linhares no estado do Espírito Santo, entre os anos de 1983 a 2001, a produção mostrou-se altamente responsiva às oscilações climáticas, variando entre 5 mil a 14 mil toneladas de cacau

por ano, entretanto a variabilidade da produção foi atribuída aos regimes de chuva irregulares da época (Silva Neto, 2001). Segundo Alvim (1965), o déficit hídrico é o fator que mais impõe dificuldade à produção do cacau, sendo até mais importante qualquer outro risco, inclusive pragas e doenças, e por isto, segundo o autor a produtividade é muito mais regulada pelas chuvas do que por qualquer outro parâmetro.

O uso da irrigação localizada no cultivo de fruteiras perenes, como no caso do cacauzeiro, requer conhecimento sobre as relações hídricas da cultura, além de informações primárias sobre solo e clima, que constituirão base extremamente importante para o correto planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação. Segundo Coelho Filho et al. (2004), a quantificação do volume de água utilizado no processo de transpiração é essencial para o manejo da irrigação localizada pois possibilita maior eficiência no uso da água, maior rentabilidade da produção e conservação do meio ambiente. O cacauzeiro por ser uma planta caducifólia, caracteriza-se por depositar suas folhas sobre o solo, provocando redução nas perdas de água por evaporação, aumentando ainda mais a importância da transpiração na determinação da demanda hídrica da cultura (Pamponet et al., 2012).

No entanto, a determinação da transpiração de plantas perenes em condições de campo é dificultada por fatores ambientais, tais como a disponibilidade de água no solo e as condições atmosféricas, além de fatores das próprias plantas, como a área foliar, geometria da copa e a disposição do plantio, que interferem na capacidade de interceptação de radiação solar e interação com o vento (Coelho Filho et al., 2005). Devido à variabilidade dos elementos ambientais que interferem nas respostas das plantas, o uso generalizado de modelos de estimativa da transpiração é dificultado, principalmente em culturas perenes. Modelos empíricos, embora possam estimar a transpiração com certa confiabilidade, estão sujeitos às características próprias dos ambientes onde foram desenvolvidos, e por isso podem provocar erros de estimativa quando utilizados em locais distintos, principalmente com relação ao clima.

A utilização de equipamentos padrões, como o caso de lisímetros de pesagem, é limitada devido ao seu alto custo e por dificuldades de instalação, o que impossibilita a repetitividade de medições provocando problemas de representatividade e qualidade de leituras. Além disso, as avaliações realizadas por estes equipamentos são difíceis quando em intervalos inferiores a 24 horas, devido à grande interferência

normalmente causada pelo vento, principalmente em se tratando de culturas com alta rugosidade.

A determinação do fluxo de seiva em fruteiras perenes por meio de metodologias que se baseiam na aplicação de calor ao caule tem sido muito utilizadas, já que permitem quantificar a transpiração em escala diária bem como estudar em escala temporal fina as relações entre transpiração e os fatores ambientais que influenciam neste fenômeno, sem que para isto necessite de parcelas uniformes (Vellame et al., 2009). Alguns estudos têm obtido bons resultados quando relacionam o fluxo de seiva com a demanda hídrica atmosférica e área foliar das plantas, possibilitando a estimativa da transpiração pelo conhecimento destes dois últimos fatores (Coelho Filho et al., 2004; Vila Nova et al., 1999; Coelho Filho et al., 2007). De acordo com Coelho Filho (2004), este procedimento tem sido menos subjetivo em relação ao uso de coeficientes de cultivo, pois integram em si efeitos das condições de demanda hídrica atmosférica e das características das plantas que são fatores que interferem diretamente nas trocas gasosas e energéticas.

Um experimento desenvolvido por Baligar et al. (2008), em ambiente controlado em Maryland, EUA, foram testados três genótipos (CCN51, LCT EEN 37/A e VB 1117) de cacaueteiro, que responderam de maneira semelhante às mudanças das condições ambientais (intensidade de luz, concentração de dióxido de carbono e déficit de pressão de vapor). Os autores relatam que a curto prazo, o aumento do déficit de pressão de vapor (DPV), de 0,9 para 2,2 kPa, causou ligeira redução na taxa fotossintética líquida e aumentou ligeiramente a transpiração, tendo um efeito mínimo sob a condutância estomática. Os autores consideraram que o cacaueteiro é ineficaz no controle da transpiração quando comparado a outras espécies arbóreas de florestas tropicais.

Resultados divergentes foram encontrados por Hernandez et al. (1989) que avaliou a sensibilidade dos estômatos do cultivar ICA4xIMC67 ao déficit de pressão de vapor na Colômbia. Os autores observaram que a condutância estomática de plantas sombreadas diminuiu quando o déficit de pressão de vapor aumentou de 0,5 para 3,5 KPa. A transpiração foliar aumentou inicialmente com DPV aumentando entre 0,5 a 1,0 KPa e reduziu até valores muito baixos quando o DPV alcançou valores de 4,0 KPa. Os autores argumentam que estas observações indicam que pode haver redução na resposta das plantas à irrigação durante períodos de ar quente e seco.

O controle estomático também foi verificado por Rada et al. (2005), em um estudo realizado em região semiárida da Venezuela com plantas sombreadas do cultivar Guasare de 4 anos de idade, irrigadas a cada 3, 12 ou 25 dias. Potenciais de água folha mínimos encontrados foram na faixa de -1,4 a -1,7 MPa, havendo evidências de ajustamento osmótico nos tratamentos de 3 e 12 dias. Em plantas severamente estressadas, a fotossíntese diária foi reduzida em 25% e a transpiração por 39% em comparação com o tratamento de 3 dias, o que implica um aumento na eficiência do uso da água.

Em trabalho realizado na Indonésia, Köhler et al. (2009), monitoraram o fluxo de seiva através de sondas de dissipação térmica em um sistema agroflorestal composto de cacaueteiro sombreado por *Gliricidia* com o objetivo de identificar fatores ambientais e estruturais das árvores que controlam o uso da água e avaliar o efeito da cobertura de árvores de sombra sobre o uso da água no cacaueteiro. Foram monitoradas dezoito plantas de cada espécie e identificou-se densidade de fluxo de seiva com valores máximos 49% maiores no cacaueteiro em resposta à radiação solar e ao déficit de pressão de vapor. A transpiração foi positivamente relacionada com o diâmetro do caule das plantas, sendo que no cacaueteiro o uso da água aumentou com a área foliar e com a diminuição da fração de clareiras. A taxa máxima de fluxo de seiva foi 13% mais elevada no cacaueteiro que na *Gliricidia*, sendo a transpiração média do estande estimada em 1,5 mm dia<sup>-1</sup> por unidade de área do terreno, 70% contribuído pelo cacaueteiro.

A técnica da sonda de dissipação térmica foi usada por Colas et al. (1999), na Indonésia para medir a transpiração de cacaueteiro cultivado a oito anos em monocultivo e em associação com coco. Em dias secos a densidade de fluxo de seiva aumentou rapidamente no início da manhã, atingindo valores de 0,25 a 0,3 L h<sup>-1</sup> antes de diminuir próximo às 11 h, quando o déficit de saturação do ar atingiu cerca de 2 kPa. Em dias de chuva, taxa de transpiração permaneceu relativamente constante durante o meio do dia. Durante um período de 18 dias consecutivos, a transpiração média em monocultivo foi de 9,8 L dia<sup>-1</sup>, sendo de 9,96 L dia<sup>-1</sup> para plantas em consórcio.

Além da necessidade de estudos que viabilizem a irrigação do cacaueteiro, a carência de informações científica sobre as relações hídricas de plantas perenes em especial o cacaueteiro justifica a realização de estudos desta natureza. Na literatura são encontrados alguns trabalhos com resultados diversos e conclusões muitas vezes

conflitantes no que diz respeito à interação do cacaueteiro com as condições de demanda hídrica atmosférica e conteúdo de água no solo, o que evidencia a necessidade de mais pesquisas nessa área (Baligar et al., 2008; Rada et al., 2005; Colas et al., 1999; Köhler et al., 2009; Hernandez et al., 1989).

O trabalho teve como objetivo geral quantificar as relações hídricas e o crescimento vegetativo do cacaueteiro cultivado em diferentes condições de sombreamento e demanda hídrica da atmosfera.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, P.T.; PEREIRA, C.P. Sombra e espaçamento nas plantações de cacau no estado da Bahia e Centro de Pesquisas do Cacau. In: **Relatório Anual, Ceplac/Cepec**, Ilhéus, Brasil, p.18-19.1965.

AMORIM, S. M. C.; VALLE, R. R. Absorção e resistência ao movimento da água no cacauzeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.907-913, 1993.

BALIGAR, V. C.; BUNCE, J. A.; MACHADO, R. C. R.; ELSON, M. K. Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapour pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. **Photosynthetica**, v.46, p.216–221, 2008.

CARR, M. K. V.; LOCKWOODTHE, G. Water relations and irrigation requirements of cocoa (theobroma cacao L.): a review. **Experimental Agriculture**. Bedford, v.47, n.4, p.653–676, maio, 2011.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA (CODEVASF). **Cadeia produtiva de cacau**: oportunidade de investimento em cacauicultura no Vale do São Francisco e do Parnaíba. Brasília, 2009, p. 31.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J.S.D.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V. Relações entre a transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima-ácida-Tahiti. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.265-274, 2004.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V.; BERNARDES, M.S.B. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Scientia Agricola**, v.62, p.240-247, 2005.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E F.; CRUZ, L. L. Uso da Transpiração Máxima de Mamoeiro para o Manejo de Irrigação por Gotejamento em Regiões Úmidas e Sub-úmidas. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2007.

COLAS, H.; MOUCHET, S.; REY, H.; KITU, W. T. Une approche du comportement hybrique du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) par des mesures de flux de seve brute: comparaison entre une culture pure et une culture associee sous cocotier (*Cocos nucifera* L.). **Anais...**In Proceedings of the 12th International Cocoa Research Conference, Salvador, Bahia, Brazil, November 1996, 637–644.

HERNANDEZ, A.D.P.; COCK, J.H.; EL-SHARKAWY, M.A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.1, n.2, p.155-161, 1989.

KÖHLER, M.; DIERICK, D.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Water use characteristics of cacao and *Gliricidia* trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. **Ecohydrology**, v.2, p.520 – 529, 2009.

MIRANDA, R.A.C.; MILDE, L.C.E.; BICHARA, A.L.; CORNELL, S. Daily characterisation of air temperature and relative humidity profiles in a cocoa plantation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.345-353, 1994.

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

PIASENTIN, F. B.; SAITO, C. H. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v.9, n.1, p.61-78, jan.-abr. 2014.



RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A.; RAMIREZ, M. E. Water relations and gas Exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficit. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.22, p.112–120, 2005.

SILVA NETO, P. J. (coord), **Sistema de Produção de Cacau para a Amazônia Brasileira**, Belém, Pará. CEPLAC, 2001, p. 125.

VELLAME, L.M.; COELHO FILHO, M.A.; PAZ, V.P.S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516–523, 2009.

VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R. Estimativa da transpiração máxima de macieiras, em pomares irrigados, pelo método de Penman adaptado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, p.245-250, 2002.

## CAPÍTULO 1

### **TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE CACAU E SUAS RELAÇÕES COM A ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E $ETo$ <sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo Submetido ao Comitê Editorial da Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental

## TRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE CACAU E SUAS RELAÇÕES COM A ÁREA FOLIAR, POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E ETo

**RESUMO:** O cultivo de cacau tem se expandido para áreas com características ambientais muito diferentes das regiões tradicionais de exploração, inclusive com o uso da irrigação e plantio à pleno sol. Isso tem demandado estudos sobre as relações hídricas e o consumo de água pela planta. A quantificação da transpiração é essencial para a implantação e manejo da cultura, pois este é o principal fator na determinação da demanda hídrica do cacaueiro. O trabalho teve como objetivo estimar a transpiração de plantas jovens de cacau em função da área foliar (AF), da evapotranspiração de referência (ETo) e do potencial da água do solo ( $\Psi_a$ ). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com plantas irrigadas por gotejamento. Inicialmente todas as plantas foram irrigadas com frequência diária e uma desfolha foi realizada formando 4 grupos com o mesmo número de folhas. Posteriormente metade das plantas permaneceu com irrigação frequente e a outra parte teve a irrigação suspensa. Não houve diferença significativa na transpiração média diária em plantas com área foliar média entre 1,11 a 3,71 m<sup>2</sup>. Com um potencial da água no solo até -24,89 kPa a transpiração média (L dia<sup>-1</sup>) pôde ser estimada linearmente em função da ETo (mm dia<sup>-1</sup>). Em condições de secamento do solo, a transpiração diária apresentou redução linear de 1,5% kPa<sup>-1</sup> a partir de um  $\Psi_a$  crítico igual a -24,89 kPa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Área foliar; Déficit hídrico; Fluxo de seiva; *Theobroma cacao* L.

## TRANSPIRATION OF YOUNG COCOA PLANTS AND THEIR RELATIONS WITH THE FOLIAR AREA, WATER POTENTIAL IN THE SOIL AND $ETo$

**ABSTRACT:** Cacao cultivation has expanded to areas with very different environmental characteristics from traditional farming regions, including with the use of irrigation and full sun planting. This has required studies on how water relations and water consumption by the plant. The quantification of the transpiration is essential for the implantation and management of the crop, for the main one responsible for the determination of the water demand of the cacao tree. The objective of this work was to estimate the transpiration of young cacao plants according to leaf area (AF), reference evapotranspiration (ET) and soil water potential ( $\Psi_a$ ). The experiment was conducted in a greenhouse with plants irrigated by drip irrigation. Initially all plants were irrigated daily and a defoliation was performed forming 4 groups with the same number of leaves. Subsequently, half of the plants remained under frequent irrigation and another part had suspended irrigation. There was no significant difference in daily mean transpiration in plants with average leaf area between 1.11 and 3.71 m<sup>2</sup>. With a soil-water potential of -24.89 kPa a mean transpiration (L day<sup>-1</sup>) could be estimated linearly as a function of  $ETo$  (mm day<sup>-1</sup>). Under soil drying conditions, a daily transpiration presented linear reduction of 1.5% kPa<sup>-1</sup> from a critical degree equal to -24.89 kPa.

**KEY WORDS:** *Theobroma cacao* L., Sap flow, Leaf area, Water deficit

## INTRODUÇÃO

O cultivo de cacau tem se expandido para áreas com características ambientais muito diferentes das regiões tradicionais de cultivo, especialmente nas regiões semiáridas, onde se têm obtido sucesso pelo manejo de plantios com espaçamentos regulares, irrigação localizada, fertirrigação, além de material genético melhorado.

A quantificação da transpiração é essencial na determinação da demanda hídrica do cacauzeiro, pois se trata de uma planta caducifólia que se caracteriza por depositar folhas sobre o solo, provocando redução nas perdas de água por evaporação (Pamponet et al., 2012). Alguns trabalhos tem demonstrado uma boa relação entre a transpiração, a demanda hídrica atmosférica e área foliar das plantas (Villa Nova et al., 2002; Coelho Filho et al., 2004; Oliveira et al., 2007). A estimativa da transpiração a partir destes fatores é importante para facilitar a determinação do consumo de água pela cultura sem a necessidade de muitas medições de campo.

Na literatura são encontrados trabalhos com resultados diversos e conclusões muitas vezes conflitantes no que se refere à interação do cacauzeiro com o ambiente de cultivo (Rada et al., 2005; Baligar et al., 2008; Köhler et al., 2009). Esses resultados são influenciados pela variabilidade espacial e temporal das variáveis que regem o processo de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera. Sendo assim, é importante a investigação das relações hídricas do cacauzeiro em diversas condições ambientais. Estudos com um grande número de plantas utilizando métodos com leituras contínuas, como as medições de fluxo de seiva, podem garantir maior confiabilidade nos resultados das pesquisas com essa cultura.

O objetivo deste trabalho foi estimar a transpiração de plantas jovens de cacau em função da área foliar, da evapotranspiração de referência e do potencial de água no solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação com cobertura plástica, no Núcleo de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Município de Cruz das Almas, BA (12° 48' S; 39° 06' O; 225 m de altitude). O clima local é classificado como úmido a sub-úmido, com precipitação média de 1143 mm ao ano (D'Angiolella et al., 1998).

Foram utilizadas 40 plantas de cacauero do clone CCN51 com porta enxerto do clone CEPEC2002 em estágio inicial de desenvolvimento, transplantadas no dia 20 de março de 2016 para reservatórios de solo com volume de 0,5 m<sup>3</sup> (Figura 1). Em cada reservatório foi instalado um sistema de drenagem formado por um dreno de 0,025 m de diâmetro, uma camada de 0,08 m de espessura de brita, uma tela de nylon e uma camada de 0,01m de areia lavada.



**Figura 1.** Vista da área experimental.

A coleta dos dados de transpiração, área foliar, potencial de água no solo e informações meteorológicas foi iniciada no dia 21 de setembro de 2016 e finalizada no dia 17 de novembro de 2016. Inicialmente foram contadas as folhas em todas as plantas do experimento e as plantas classificadas em quatro grupos de 10 plantas de acordo com o número de folhas (Tabela 1). Em seguida foi realizada uma desfolha para que as plantas de cada grupo tivessem o mesmo número de folhas.

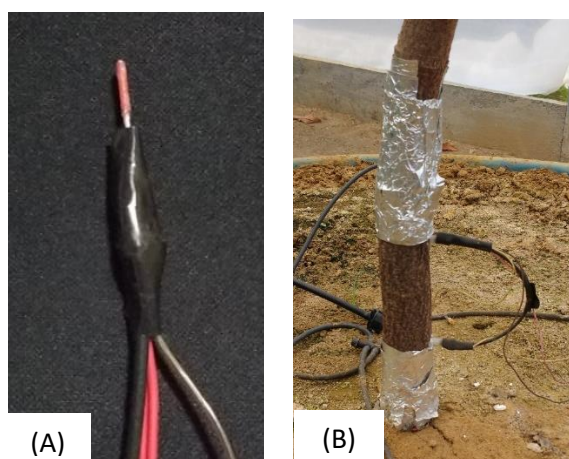
**Tabela 1.** Área foliar média dos grupos de plantas em que realizou-se a desfolha.

| Grupo | Nº de folhas | Área foliar (m <sup>2</sup> ) | CV%  |
|-------|--------------|-------------------------------|------|
| 1     | 75           | 1,11                          | 8,7  |
| 2     | 151          | 1,9                           | 27,2 |
| 3     | 226          | 3,13                          | 8,0  |
| 4     | 302          | 3,71                          | 7,8  |

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e dividido em duas etapas. Na primeira etapa, com duração de 18 dias, todas as plantas do experimento foram mantidas com a umidade do solo próximo à capacidade de campo objetivando-se manter a transpiração potencial. Na segunda etapa, metade das plantas de cada grupo foi irrigada até o final do experimento mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo e a outra metade teve a irrigação suspensa, assegurando com isso diferentes condições de potencial de água no solo.

### Transpiração

A transpiração das 40 plantas foi estimada pelo fluxo de seiva por meio do método da sonda de dissipação térmica (Granier, 1985). Foram construídas sondas de 1cm de comprimento (Figura 2A), aquecidas por meio de fontes de tensão contínua de acordo com a metodologia empregada por Pamponet et al. (2012). A instalação das sondas foi realizada no porta-enxerto, mantendo uma distância de 8 cm entre a sonda superior e inferior (Figura 2B).



**Figura 2.** Sonda de dissipação térmica com 1cm de comprimento (A), sonda de dissipação térmica instalada no caule (B).

A fim de calibrar a sonda de dissipação térmica para a estimativa da transpiração utilizou-se três lisímetros de pesagem formados pelos reservatórios de solo sobre plataformas de pesagem com capacidade de 1000 kg (modelo AZ-9090-1T - Alfa Instrumentos). Os lisímetros foram calibrados em cinco ciclos de carga e descarga com massas conhecidas. As incertezas nas medições ( $p < 0,05$ ) foram de 0,16%, 0,18% e 0,12%

Com vistas a medir apenas a transpiração das plantas, a superfície do solo dos lisímetros foi coberta com lona plástica para evitar perdas por evaporação (Figura 3).



**Figura 3.** Lisímetro de pesagem com a superfície do solo coberta por lona plástica.

O coeficiente angular da equação de Granier (1985) foi ajustado minimizando os desvios absolutos entre o fluxo de seiva acumulado em 24h e a transpiração medida com os lisímetros (Eq. 1).

$$F = 0,000357 \left( \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} AS \quad (1)$$

Em que:

F - fluxo de seiva,  $m^3$ ;

$\Delta T$  - diferença de temperatura entre as sondas,  $^{\circ}C$ ;

$\Delta T_{\max}$  - diferença de temperatura entre as sondas em fluxo nulo,  $^{\circ}C$ ;

AS - área de seção condutora do caule;  $m^2$



A estimativa da área de seção condutora do caule ( $AS - \text{cm}^2$ ) foi obtida a partir da Eq. 2. Para tanto, foram feitos cortes transversais de ramos de diferentes diâmetros de uma planta para obtenção de imagens dos cortes e definição das principais estruturas anatômicas do caule.

$$AS = -0,0004Pe^2 + 1,1367Pe - 4,8927 \quad (2)$$

Em que:

$AS$  – Área de seção condutora de seiva,  $\text{cm}^2$ ;

$Pe$  – Perímetro externo do caule,  $\text{cm}$ .

Para atenuar os gradientes térmicos naturais (GTN) os caules das plantas foram cobertos com papel laminado imediatamente acima e abaixo do ponto de fixação das sondas, sendo estas também protegidas por papel laminado em formato de saia (Figura 4).



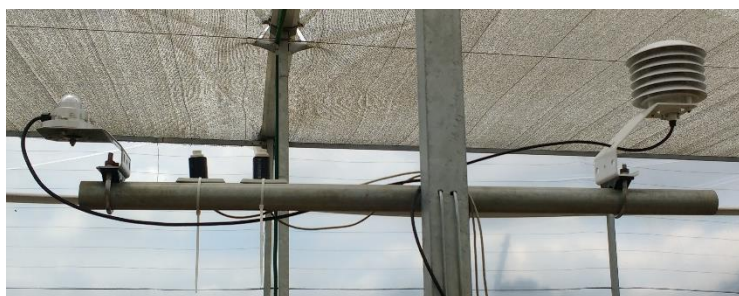
**Figura 4.** Proteção de papel laminado em formato saia para atenuar os gradientes térmicos naturais.

Para compensar o efeito dos GTN quatro sondas foram mantidas com o aquecimento desligado durante o experimento, funcionando como referência. As demais sondas tiveram o aquecimento desligado a cada 15 dias por um período de 24 horas conforme metodologia empregada por Pamponet et al. (2012).

### **Evapotranspiração de referência**

Foram instalados sensores no centro da área experimental para monitoramento da radiação solar global (LP02-Campbell Sci.), da temperatura e da umidade relativa

do ar (HMP50-Campbell SCi.) (Figura 5). Os dados meteorológicos foram utilizados para cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO. A velocidade do vento no interior da estufa teve seu valor fixado em 0,5 m s<sup>-1</sup> como recomendado no Boletim FAO 56 para condições em que esse elemento é praticamente nulo (Allen et al., 1998).



**Figura 5.** Sensores de radiação solar, temperatura e umidade do ar.

### Área foliar

A área foliar foi estimada semanalmente medindo-se o maior comprimento (L - cm) e a maior largura (W - cm) perpendicular à nervura central de todas as folhas, utilizando a equação obtida por Oliveira et al. (2012) (Eq. 3).

$$AF = 0,6638 L W \quad (R^2 = 0,9955) \quad (3)$$

Em que:

AF é a área foliar (cm<sup>2</sup>),

L é a medida do maior comprimento (cm) da folha e

W é a maior largura (cm) perpendicular à nervura central.

### Potencial da água do solo

O potencial de água no solo foi obtido a partir de tensiômetros instalados em cada reservatório à profundidade de 0,20 m. As leituras foram realizadas diariamente às 14h por meio de tensímetro digital.

### Aquisição e análise dos dados

Para aquisição e armazenamento dos dados meteorológicos das plataformas de pesagem e do fluxo de seiva foi utilizado um “datalogger” CR1000 com dois

multiplexadores AM16/32 Relay Multiplexer (Campbell SCi), programados para realizar leituras dos sensores a cada 30 segundos e médias armazenadas a cada 15 minutos (Figura 5).



**Figura 5.** Sistema de aquisição e armazenamento de dados.

A porcentagem da transpiração esperada (PT<sub>r</sub>) foi calculada pela razão entre a transpiração real das plantas com déficit hídrico (Tr<sub>atual</sub>) e a transpiração esperada para essas plantas caso estivessem sendo irrigadas (Eq. 4). A transpiração esperada foi calculada com base na transpiração média das plantas irrigadas (Eq. 5).

$$PT_r = \frac{Tr_{atual}}{Tr_{esp}} \times 100 \quad (4)$$

$$Tr_{esp} = \frac{Tr_{inicial}}{Tr_{média\_inicial}} \times Tr_{média\_atual} \quad (5)$$

Em que,

Tr<sub>esp</sub> - transpiração esperada para a planta em condição de irrigação frequente, L dia<sup>-1</sup>;

Tr<sub>inicial</sub> - transpiração média da planta na 1<sup>a</sup> etapa (irrigação frequente), L dia<sup>-1</sup>;

Tr<sub>média\_inicial</sub> - transpiração média das plantas irrigadas na 1<sup>a</sup> etapa, L dia<sup>-1</sup>;

Tr<sub>média\_atual</sub> - transpiração atual média das plantas irrigadas de forma frequente, L dia<sup>-1</sup>

Foi realizada análise de variância e teste de médias para as variáveis transpiração (L dia<sup>-1</sup>) e transpiração por unidade de área foliar (L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), tendo como fontes de variação a área foliar e o potencial de água no solo.

Por meio de análise de regressão foram estabelecidas as relações da transpiração média das plantas irrigadas e das plantas sob secamento do solo com a  $ETo$ , com o potencial de água no solo e com a área foliar.

O percentual da transpiração esperada e o potencial da água no solo foram relacionados por meio de análise de regressão segmentada, minimizando o erro quadrático médio (RMSE) entre o percentual da transpiração esperada observado e calculado (Vellame et al., 2015), definindo assim o potencial de água no solo a partir do qual há redução linear da transpiração esperada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Efeito da área foliar e ETo na transpiração

O efeito da área foliar na transpiração pôde ser estudado de forma mais isolada do que quando se estuda simultaneamente plantas com diferentes estágios de desenvolvimento, uma vez que outras variáveis como sistema radicular e diâmetro do caule também interferem na transpiração.

Não foi identificada diferença significativa da transpiração média do período experimental o que pode ser atribuído a variabilidade da transpiração entre plantas dentro de uma mesma faixa de demanda hídrica da atmosférica. Por outro lado, verificou-se diferença significativa quanto à transpiração por unidade de área foliar média (TR/AF) durante o período experimental (Tabela 1). De acordo com este resultado as plantas do experimento com maior área foliar apresentaram transpiração por unidade de área foliar significativamente menor em comparação as plantas com área foliar menor.

**Tabela 1.** Valores médios de transpiração e transpiração por unidade de área foliar para as plantas com irrigação frequente.

| Área foliar média (m <sup>2</sup> ) | Coefficiente de variação da área foliar (%) | Transpiração (L dia <sup>-1</sup> ) | Transpiração/ Área foliar (L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| 1,11                                | 8,7   | 3,12 A                              | 2,49 A   |
| 1,90                                | 27,2  | 3,60 A                              | 2,04 A   |
| 3,13                                | 8,0   | 2,67 A                              | 0,87 B   |
| 3,71                                | 7,2   | 2,73 A                              | 0,75 B   |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

As relações entre evapotranspiração de referência e transpiração média diária das plantas irrigadas para todo o período experimental apresentaram coeficiente angular igual a 1,1379, 1,0161, 0,6435 e 0,5877 para as plantas nas diferentes ordens de área foliar (Tabela 2).

**Tabela 2.** Relação entre evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e transpiração média diária das plantas (TR) e média da transpiração diária por unidade de área foliar (TR/AF).

| Área foliar (m <sup>2</sup> ) | Equação                              | R <sup>2</sup> | Equação                                 | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|----------------|
| 1,11                          | TR = 1,1379 ET <sub>o</sub> – 0,4809 | 0,58           | TR/AF = 1,0783 ET <sub>o</sub> - 1,0571 | 0,60           |
| 1,90                          | TR = 1,0161 ET <sub>o</sub> – 0,1616 | 0,54           | TR/AF = 0,5234 ET <sub>o</sub> - 0,1449 | 0,58           |
| 3,13                          | TR = 0,6435 ET <sub>o</sub> + 0,6447 | 0,48           | TR/AF = 0,1443 ET <sub>o</sub> + 0,4384 | 0,21           |
| 3,71                          | TR = 0,5877 ET <sub>o</sub> + 0,8785 | 0,27           | TR/AF = 0,1073 ET <sub>o</sub> + 0,3942 | 0,17           |

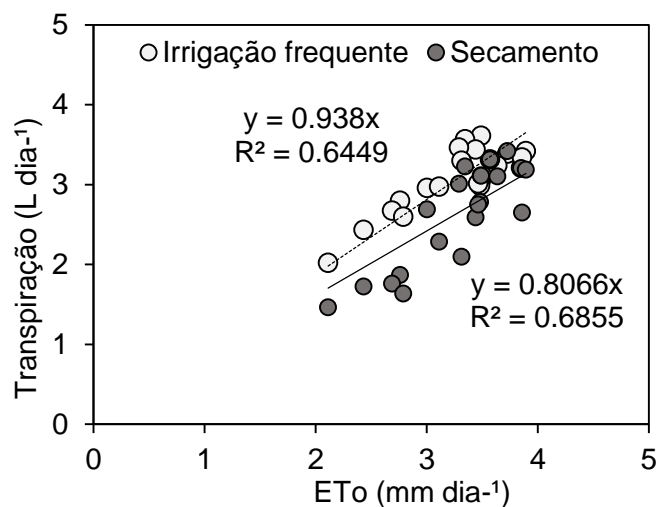
Com base nos coeficientes angulares e considerando que as plantas se encontravam irrigadas e sob as mesmas condições de demanda hídrica atmosférica, pode-se inferir que com o crescimento da área foliar as plantas jovens de cacauero apresentam redução na dependência da transpiração quanto à demanda de água pela atmosfera. Nota-se que a dispersão dos dados foi crescente, acompanhando o aumento da área foliar independente do coeficiente de variação (Tabelas 1 e 2).

Valle et al. (1987) verificaram em plantas de cacau adultas aumento gradativo da resistência estomática e decréscimo da transpiração nas folhas da camada superior para a camada inferior da copa. A redução da TR/AF verificada nas plantas com maior área foliar pode ter como causa o autosombreamento entre as folhas. Em contrapartida, a menor quantidade de folhas presentes nas plantas com área foliar menor pode facilitar a circulação de ar no interior da copa e com isso favorecer a remoção de ar saturado por vapor d'água o que produz maior transpiração. Coelho Filho et al. (2004) observaram em citrus que a TR/AF apresentou valores muito próximos em plantas com área foliar variando entre 0,17 a 1,1 m<sup>2</sup> para uma mesma faixa de demanda atmosférica. A relação entre TR/AF com ET<sub>o</sub> encontrada por esses autores foi linear, apresentando coeficiente angular entre 0,34 e 0,39 com intercepto da reta fixado em zero.

### **Efeito da disponibilidade de água no solo e ET<sub>o</sub> na transpiração**

Na relação entre ET<sub>o</sub> e transpiração verificou-se que as plantas submetidas a irrigação frequente apresentaram maior transpiração que àquelas sob secamento do solo (Figura 1). Este resultado é esperado, pois o cacauero é uma planta sensível ao déficit hídrico, realizando fechamento estomático como forma de evitar a perda de

água e com isso reduzindo a transpiração (Bae et al., 2008; Moser et al., 2010; Carr & Lockwood, 2011).



**Figura 1.** Relação entre evapotranspiração de referência e transpiração média diária de plantas irrigadas frequentemente e das plantas com irrigação suspensa na etapa 2

Em um curto período de secamento do solo (21 dias) foi possível verificar diferenças fisiológicas na cultura de acordo com o potencial de água no solo. As plantas apresentaram sintomas de murcha nas folhas com potencial de água no solo ( $\Psi_a$ ) a partir de -40 kPa (Figura 2).

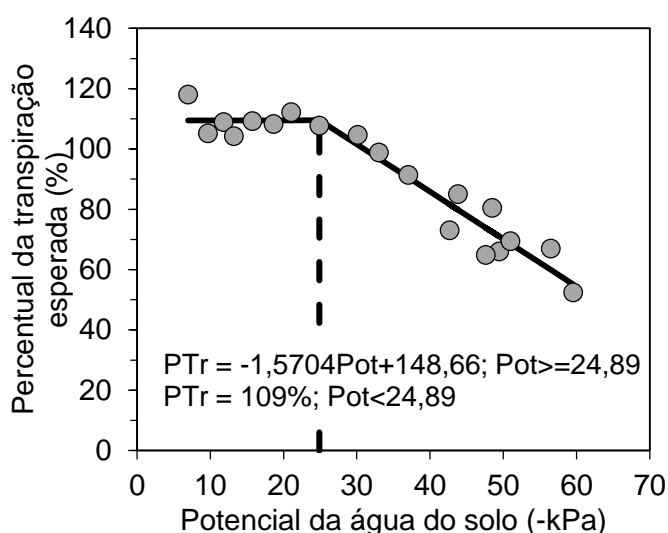


**Figura 2.** Plantas de cacau com sintomas de murcha causada pela redução do potencial da água do solo ( $\Psi_a$ ).

Alguns autores já observaram a sensibilidade do cacau ao déficit hídrico (Bae et al., 2008; Moser et al., 2010; Carr & Lockwood, 2011). Santos et al. (2016) observaram queda de folhas em genótipos de cacau submetidos ao déficit hídrico e discutem que consiste numa estratégia de aclimatação da planta. Segundo Muller et al. (2011) a baixa disponibilidade de água no solo pode acelerar a senescência das

folhas. Em região semiárida da Venezuela plantas adultas do cultivar Guasare sombreadas tiveram redução de 25% na fotossíntese e 39% na transpiração foliar em plantas irrigadas a cada 25 dias em comparação com plantas irrigadas a cada 3 dias (Rada et al., 2005).

Por meio de regressão linear segmentada observou-se que a partir de um valor crítico de potencial de água no solo (-24,89 kPa) a transpiração esperada mostrou tendência de redução linear de aproximadamente 1,5% kPa<sup>-1</sup>. Com potencial médio de -59,5 kPa a transpiração esperada teve o seu valor mínimo igual a 52,5%, o que corresponde a uma redução de 47,5% da transpiração média (Figura 3). Evidencia-se assim a sensibilidade do cacaueteiro ao déficit hídrico, já que para fins de manejo da irrigação é comum assumir valores críticos para algumas plantas lenhosas de até -100 kPa.



**Figura 3.** Relação entre transpiração esperada e potencial de água no solo.

A baixa capacidade de extração de água pelo sistema radicular e a baixa condutividade hidráulica dos tecidos vegetais podem explicar os resultados. De acordo com Fageria (2012), o sistema radicular é um dos órgãos mais sensíveis da planta à limitação de água, dada a alta capacidade das raízes para reconhecer e responder às mudanças nos parâmetros físico-químicos do solo.

O crescimento e produção das plantas dependem da atividade fotossintética que por sua vez está relacionada à condição hídrica da planta. Sendo assim, esses resultados indicam que sistemas de irrigação de alta frequência como a irrigação



localizada e estratégias de manejo como a irrigação por pulso podem apresentar vantagens significativas quanto à produção do cacaueteiro.

## CONCLUSÕES

Não houve diferença significativa na transpiração média diária em plantas com área foliar média entre 1,11 e 3,71 m<sup>2</sup>. Para plantas jovens de cacauero submetidas à irrigação e mantido o potencial de água no solo até -24,89 kPa, a transpiração média diária (L dia<sup>-1</sup>) estimada varia linearmente com a Eto. Acima desse valor ocorre redução linear da transpiração na ordem de 1,5% kPa<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Roma: **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 56. Rome, 297 p. 1998.

BAE, H.; KIM, S. H.; KIM, M. S.; SICHER, R. C.; LARY, D.; STREM, M. D.; BAILEY, B. A. The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p.174-188, 2008.

BALIGAR, V. C.; BUNCE, J. A.; MACHADO, R. C. R.; ELSON, M. K. Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapour pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. **Photosynthetica**, v.46, p.216–221, 2008.

CARR, M. K. V.; LOCKWOODTHE, G. Water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): a review. **Experimental Agriculture**. Bedford, v.47, n.4, p.653–676, 2011.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; ROJAS, J. S. D.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M. V. Relações entre a transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima-ácida-Tahiti. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.265-274, 2004.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Tendências climáticas para os tabuleiros costeiros da região de Cruz das Almas, BA. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Lavras, MG: SBEA, 1998. v.1, p. 43-45.

FAGERIA N. K. **The role of plant roots in crop production**. 1. ed. CRC Press. New York. 2012. 467.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. **Annales Sciences Forestieres**, Versailles, v.42, p.193-200, 1985.

KÖHLER, M.; DIERICK, D.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Water use characteristics of cacao and Gliricidia trees in an agroforest in Central Sulawesi, **Ecohydrology**, v.2, p.520 – 529, 2009.

MOSER, G.; LEUSCHNER, C.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; KÖHLER, M.; LEITNER, D.; SCHWENDENMANN, L. Response of cocoa trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, **Agroforestry systems**, v.79, p.171-187, 2010.

MULLER, B.; PANTIN, F.; GÉNARD, M.; TURC, O.; FREIXES, S.; PIQUES, M.; GIBON, Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 1715–1729, 2011.

OLIVEIRA, A. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, N. D. da. Área foliar de cacauzeiro irrigado e não sombreado cultivado no semiárido da Bahia. In: III Congresso Brasileiro Do Cacau, 3, 2012, Ilhéus, Bahia. **Anais...** Ilhéus, Congresso Brasileiro do Cacau, 2012.

OLIVEIRA, G. X. S.; COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. DE C.; COELHO, E. F.; PAZ, V P. DA S.; CASTRO NETO, M. T. DE. Relações entre transpiração máxima, evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 20-27, 2009.

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

RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A.; RAMIREZ, M. E. Water relations and gas exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficit. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.22, p.112–120, 2005.

SANTOS, E. A.; ALMEIDA, A.-A. F.; AHNERT, D.; BRANCO, M. C. DA S.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Diallel Analysis and Growth Parameters as Selection Tools for Drought Tolerance in Young Theobroma cacao Plants. **Plos One**, v. 11, 2016.

VALLE, R.R.; SILVA, W.S. da; MIRANDA, R.A.C. Stomatal resistance and transpiration rates of shaded and unshaded cacao trees. **Revista Theobroma**. v. 17, p. 175-187, 1987.

VELLAME, L. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; COELHO, R D. Effect of partial soil wetting on transpiration, vegetative growth and root system of young orange trees. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 5, p. 377-384, 2015.

VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R. Estimativa da transpiração máxima de macieiras, em pomares irrigados, pelo método de Penman adaptado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.245-250, 2002.

## **CAPÍTULO 2**

### **TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CACAUEIRO CULTIVADO À SOMBRA DE BANANEIRA NO SEMIÁRIDO BAIANO**

## **TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CACAUEIRO CULTIVADO À SOMBRA DE BANANEIRA NO SEMIÁRIDO BAIANO**

**RESUMO:** O cacauéiro é cultivado tradicionalmente em consórcio com outras espécies que tem o objetivo de fornecer sombreamento. Atualmente há uma tendência de remoção do sombreamento alguns anos após o estabelecimento do plantio, contudo as relações entre níveis de sombreamento e o consumo hídrico e produção da cultura não tem sido devidamente estudado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação da radiação solar e outras variáveis meteorológicas com a transpiração e o crescimento vegetativo do cacauéiro cultivado em duas condições de sombreamento de bananeira no semiárido baiano. O trabalho foi desenvolvido em condições de campo em uma área de consórcio entre bananeira prata anã e cacauéiro adulto do clone PS1319 na Universidade do Estado da Bahia, no município de Juazeiro. O estudo envolveu oito plantas cultivadas em duas fileiras distintas. Em uma das fileiras com quatro plantas de cacau, foi feito desbaste das bananeiras que estavam à sua volta para aumentar a exposição dos cacauéiros à radiação solar. Na outra fileira com quatro plantas de cacau as bananeiras foram mantidas para preservar o sombreamento. A transpiração das plantas foi estimada pelo fluxo de seiva a partir do método da sonda de dissipação térmica. A radiação solar incidente nas áreas sombreadas foi monitorada por piranômetros desenvolvidos com material de baixo custo. Foram quantificados o diâmetro do caule e a área foliar. A atenuação da radiação solar provocada pela bananeira foi quantificada pela relação da radiação da área experimental com a radiação solar obtida em uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a 200 m da área experimental. Foram efetuados testes de média, de correlação e análise de regressão com os dados de área foliar, diâmetro do caule, transpiração e os dados meteorológicos. Houve redução de 22 e 38% da radiação solar nas condições de sombreamento impostas o que afetou a transpiração e o crescimento vegetativo das plantas de cacau de forma direta e significativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxo de seiva; Radiação solar; Sombreamento; *Theobroma cacao* L.

## TRANSPIRATION AND VEGETATIVE GROWTH OF COCOA CULTIVATED TO BANANA SHADE IN BAIANO SEMIÁRIO

**ABSTRACT:** Cacao is traditionally cultivated in consortium with other species that aims to provide shade. Currently there is a trend of shading removal a few years after planting, yet the relationships between shade levels and crop yield have not been adequately studied. The objective of this work was to evaluate the relationship of solar radiation and other meteorological variables with the transpiration and vegetative growth of the cacao tree cultivated under two conditions of banana shading in the semi-arid region of Bahia. The work was carried out under field conditions in a consortium area between banana silver dwarf and adult cacao from clone PS1319 at the Universidade do Estado da Bahia, in the municipality of Juazeiro. Estimates of sap flow were carried out in plants grown in two different rows. In one of the rows with four cocoa plants, banana trees were thinned around them to increase cocoa exposure to solar radiation. In the other row with four cocoa plants the banana trees were kept to maintain shading. The sap flow was estimated by the thermal dissipation probe method, solar radiation incident in each plant was monitored by pyranometers developed with low cost material. The stem diameter and leaf area were quantified as growth variables. The attenuation of the solar radiation caused by the banana tree was quantified by the relation of the radiation of the experimental area with the solar radiation obtained in a meteorological station belonging to the National Institute of Meteorology, located 300 m from the experimental area. Mean, correlation and regression analysis were performed with data on leaf area, stem diameter, transpiration and meteorological data. There was a reduction of 22 and 38% of the solar radiation in the imposed shading conditions, which affected the transpiration and the vegetative growth of the cocoa plants in a direct and significant way.

**KEY WORDS:** *Theobroma cacao* L.; Sap flow; Shading; Solar radiation.



## INTRODUÇÃO

O cacauzeiro por ser uma espécie considerada ombrófila, é cultivado tradicionalmente em sistemas agroflorestais (Somarriba & Beer, 2010), predominando o consórcio com espécies leguminosas principalmente a *Erythrina fusca*, cuja finalidade principal é a fixação de nitrogênio e fornecer sombreamento ao cacauzeiro (Jaimez et al., 2013). Algumas culturas também têm sido incorporadas aos sistemas de cultivo para agregar valor à produção, tais como a seringueira, pimenta do reino, coco, canela, louro, pupunha e outras culturas (Silva Neto et al., 2001). De acordo com Padi & Owusu (1988), maior parte da área produtora de Gana e Costa do Marfim apresentam seus cultivos sob leve sombreamento, apresentando áreas de cultivo a pleno sol em 10% das lavouras em Gana e 35% em Costa do Marfim.

Apesar de atualmente haver uma tendência de remoção do sombreamento alguns anos após o estabelecimento do plantio, o que pode dar maiores rendimentos pelo menos a curto prazo (Padi et al., 2013), Asare (2005), afirma que a relação entre níveis de sombreamento e o rendimento da cultura não tem sido devidamente estudado. Em Gana e Costa do Marfim a produção de cacau tem registrado queda em áreas de cultivo solteiro à pleno sol, o que tem levado à reintrodução do sombreamento nas lavouras (Gyau et al., 2014).

No Brasil os problemas fitossanitários e econômicos que têm acometido o cultivo do cacau nas regiões tradicionais de exploração e provocado a expansão da lavoura cacauzeira para outras áreas com características ambientais diferentes, contudo, nessas regiões o cultivo sombreado nem sempre é viável a longo prazo e recomenda-se sombreamento provisório, apenas para a implantação da cultura (Silva Neto et al., 2001).

Na literatura são escassas as informações a respeito das relações hídricas e consumo hídrico do cacauzeiro em condições de sombreamento ou a pleno sol, o que causa dificuldades no manejo das lavouras, sobretudo para o manejo da irrigação. Segundo Coelho Filho et al. (2004), a quantificação da transpiração é essencial para o manejo da cultura e também da irrigação. Contudo, os diversos trabalhos com resultados diversos e conclusões muitas vezes conflitantes no que diz respeito à interação do cacauzeiro com as condições de demanda hídrica atmosférica e sombreamento, evidencia a necessidade de mais pesquisas nessa área (Baligar et

al., 2008; Rada et al., 2005; Colas et al., 1999; Köhler et al., 2009; Hernandez et al., 1989).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação da radiação solar e outras variáveis meteorológicas com a transpiração e o crescimento vegetativo do cacaueteiro cultivado em duas condições de sombreamento de bananeira no semiárido baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo em uma área de consórcio entre bananeira prata anã e cacaeiro adulto do clone PS1319 na Universidade do Estado da Bahia, no Vale do São Francisco, município de Juazeiro, BA, (9° 25' 3,6" S; 40° 28' 58,9" O; 365m de altitude) (Figura 1). O clima da região é classificado como semiárido, BSwH, de acordo com classificação climática de Köppen, com pluviosidade média anual entre 400 a 600 mm, temperatura média mensal de 26,5 °C e umidade relativa média mensal de 55% (Reddy & Amorim Neto, 1983).



**Figura 1.** Área experimental no campus da Universidade do Estado da Bahia e estação meteorológica do INMET (Fonte: Imagem Google Maps).

Foram estudadas 8 plantas cultivadas em duas fileiras distintas. Em uma das fileiras com quatro plantas de cacau, foi feito desbaste das bananeiras que estavam à sua volta com o objetivo de aumentar a exposição dos cacaeiros à radiação solar. Na outra fileira, com quatro plantas de cacau, não foi realizado nenhum desbaste, a fim de manter sombreamento. O espaçamento das bananeiras e dos cacaeiros foi de 3 x 3 m. A irrigação na área experimental foi realizada diariamente por sistema de microaspersão.

Para a aquisição e armazenamento dos dados de fluxo de seiva e radiação solar foi utilizado um “datalogger” CR1000 (Campbell SCi.) em cada fileira de plantas. Os equipamentos foram programados para realizar leituras dos sensores a cada 30 segundos e armazenar médias a cada 15 minutos.

## Fluxo de seiva

A estimativa do fluxo de seiva foi realizada pelo método da sonda de dissipação térmica (Granier, 1985), que consiste em utilizar um sensor composto por uma sonda (superior) aquecida à potência constante de 0,1 W e uma sonda (inferior) não aquecida. As duas sondas possuem sensor de temperatura interno (Termopar – cobre/constantan). A relação empírica entre a densidade de fluxo de seiva e a diferença de temperatura entre as duas sondas dá origem a equação 1.

$$F=0,000357 \left( \frac{\Delta T_{\max}-\Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} AS \quad (1)$$

Em que:

F - fluxo de seiva, m<sup>3</sup>;

$\Delta T$  - diferença de temperatura entre as sondas, °C;

$\Delta T_{\max}$  - diferença de temperatura entre as sondas em fluxo nulo, °C;

AS - área de seção condutora do caule; m<sup>2</sup>

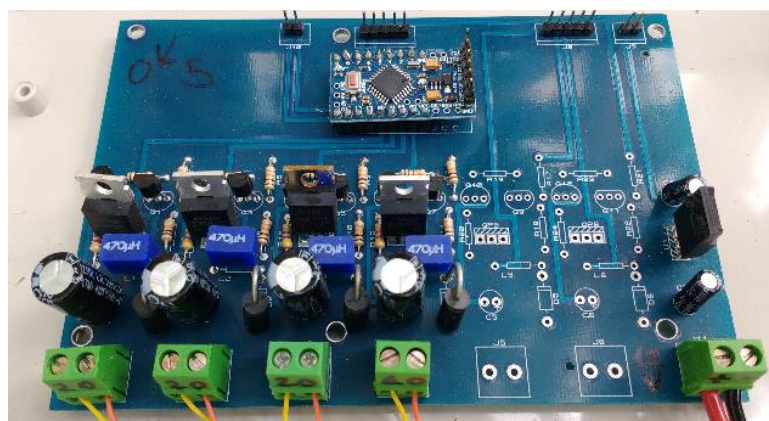
O fluxo de seiva diário (L dia<sup>-1</sup>) foi obtido pela integração dos valores de densidade de fluxo de seiva obtidos durante o dia.

Foram confeccionados 8 sondas de dissipação térmica com comprimento de 1 e 2 cm, instalados de acordo com o diâmetro do caule a fim de melhor representar a área de seção condutora de seiva (Figura 2A). Nas sondas superiores e inferiores foram inseridos termopares cobre/constantan para a leitura da temperatura e na parte externa da sonda superior foi fixado um fio de constantan enrolado na agulha, cuja função é fornecer calor ao caule. As sondas foram inseridas no caule com distância de 8 cm entre si e fixadas com pasta térmica (Figura 2B). Para atenuar os gradientes térmicos naturais (GTN) nas leituras de temperatura, os caules das plantas foram cobertos com papel laminado imediatamente acima e abaixo do local de fixação das sondas, sendo que estas também foram protegidas por papel laminado em formato de saia (Figura 2C).



**Figura 2.** Detalhe das sondas de dissipação térmica com 2 e 1 cm de comprimento(A); detalhe da sonda inserida ao caule (B); Isolamento térmico do caule e da sonda feito com papel alumínio (C).

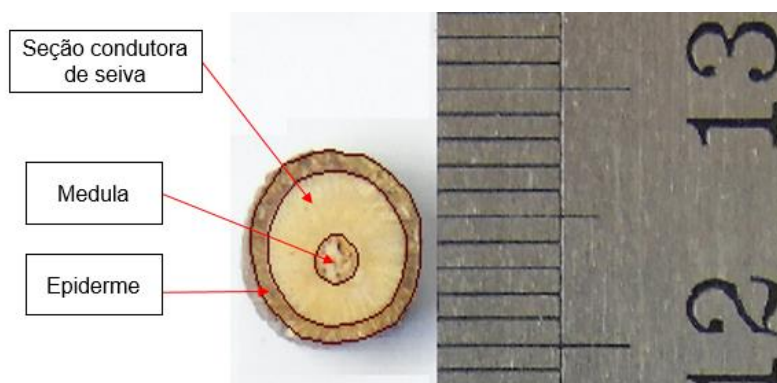
Para aquecer a sonda superior utilizou-se uma fonte de tensão ajustável desenvolvida na plataforma Arduino empregando Modulação por Largura de Pulso (PWM) (Figura 2). Os canais PWM do Arduino possibilitam controlar o tempo de acionamento e desligamento da fonte de tensão. A programação das fontes permitiu que fossem ligadas e desligadas várias vezes por minuto para fornecer potência igual a 0,1 W como sugerido na literatura, além de garantir melhor eficiência no uso da energia disponível no sistema pela redução do aquecimento dos componentes eletrônicos.



**Figura 3.** Placa eletrônica da fonte de tensão Ajustável.

A estimativa da área de seção condutora de cada planta foi realizada a partir de uma equação obtida por sua relação com o perímetro externo do caule. Ramos de diferentes diâmetros de uma planta foram cortados em sentido transversal para obtenção de imagens e definição das estruturas anatómicas do caule com o auxílio

de um software CAD (desenho assistido por computador) ( Figura 4).



**Figura 4.** Estruturas anatômicas do caule delimitadas com software de desenho assistido por computador

A área de seção condutora foi relacionada com o perímetro externo do caule e por meio de regressão obteve-se a equação 2.

$$AS = 0,0668Pe^2 - 0,0399Pe - 0,0306 \quad (R^2 = 0,999) \quad (2)$$

Em que:

AS - área de seção condutora (cm<sup>2</sup>);

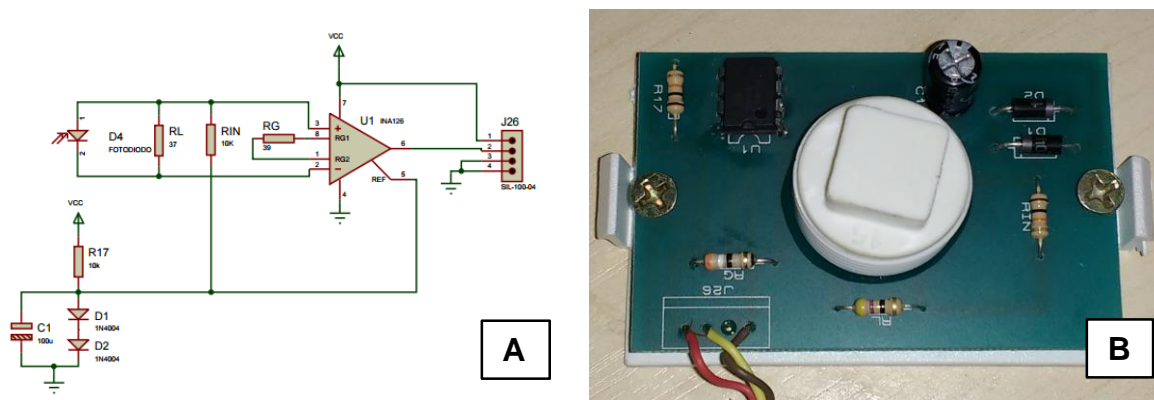
Pe - perímetro externo do caule (cm);

### **Radiação solar**

A radiação solar incidente em cada planta foi medida por piranômetros desenvolvidos com material de baixo custo. Optou-se pela construção dos sensores devido ao grande número de medidas necessárias no estudo e pelo alto custo dos sensores comerciais.

Os piranômetros foram montados com o fotodiodo do modelo BPV10NF como elemento sensível à radiação solar e conectados a um amplificador operacional (modelo INA126) para aumentar a intensidade da corrente elétrica produzida pelo sensor e possibilitar a leitura pelo sistema de aquisição de dados (“datalogger”) (Figura 5A). O fotodiodo foi protegido por um filtro de PVC (plug de ½” para conexões hidráulicas) para atenuar a radiação solar incidente sob o sensor, a fim de que não ocorresse saturação da corrente elétrica produzida em ocasiões de radiações de alta intensidade (Figura 5B).





**Figura 5.** (A) Diagrama eletrônico; (B) Piranômetro montado em placa eletrônica.

A calibração dos piranômetros foi realizada a partir de um sensor padrão do modelo LP02 (Campbel Sci.). O procedimento de calibração consistiu em instalar os sensores lado a lado (Figura 6), conectados a um sistema de aquisição de dados ao longo de alguns dias, obtendo-se medidas de radiação solar por meio do sensor padrão e medidas de tensão elétrica do sensor desenvolvido. O sistema foi programado para realizar leituras a cada segundo e armazenar médias a cada minuto. A partir da relação entre as duas grandezas obteve-se uma equação de calibração própria para cada sensor, que foi utilizada para estimar a radiação solar diária incidente em cada planta durante o experimento.



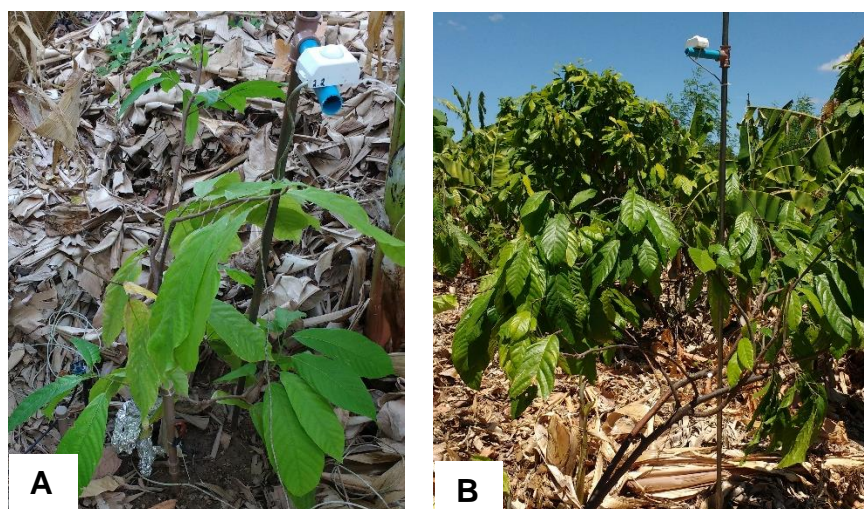
**Figura 6.** Sensores posicionados para calibração.

Na Tabela 1 estão apresentadas as equações que descrevem as relações entre a radiação solar diária medida pelos sensores de baixo custo (Sensor – MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e a radiação solar diária medida pelo sensor padrão LP02 (Rad – MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) durante um período de 30 dias, com os respectivos coeficientes de correlação.

**Tabela 1.** Relação entre Radiação solar medida pelos piranômetros de baixo custo e pelo sensor padrão LP02.

| Piranômetro | Equação                              | R <sup>2</sup> |
|-------------|--------------------------------------|----------------|
| 1           | Rad = 1 Sensor – 4. 10 <sup>-5</sup> | 0,975          |
| 2           | Rad = 1 Sensor + 9. 10 <sup>-5</sup> | 0,973          |
| 3           | Rad = 1 Sensor – 4. 10 <sup>-5</sup> | 0,979          |
| 4           | Rad = 1 Sensor + 9. 10 <sup>-5</sup> | 0,987          |
| 5           | Rad = 1 Sensor + 6. 10 <sup>-5</sup> | 0,982          |
| 6           | Rad = 1 Sensor + 1. 10 <sup>-5</sup> | 0,985          |
| 7           | Rad = 1 Sensor + 4. 10 <sup>-5</sup> | 0,982          |
| 8           | Rad = 1 Sensor + 4. 10 <sup>-6</sup> | 0,953          |

Os piranômetros foram instalados em uma haste metálica e posicionados acima das plantas em local que melhor representava a copa (Figura 7).



**Figura 7.** Piranômetro instalado sob copa de uma planta de cacau na área sem desbaste de bananeiras (A) e na área com desbaste de bananeira (B).

A radiação solar medida nas áreas sombreadas foi relacionada com a radiação solar medida por uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizada no campus da UNEB à 200 m da área experimental, para quantificar a atenuação da radiação solar provocada pelo sombreamento da bananeira.



Também foram coletados dados de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento pela estação do INMET para cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO com o objetivo de correlacionar com a transpiração (L dia<sup>-1</sup>) e transpiração por unidade de área foliar (L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

### **Crescimento vegetativo**

O diâmetro do caule foi medido no local de inserção da sonda de dissipação térmica superior utilizando-se uma fita graduada em milímetros. A área foliar foi estimada a partir da equação obtida por Oliveira et al. (2012) (Eq. 4).

$$AF = 0,6638 L W \quad (R^2 = 0,9955) \quad (4)$$

Em que:

AF é a área foliar (cm<sup>2</sup>),

L é a medida do maior comprimento (cm) da folha e

W é a maior largura (cm) perpendicular à nervura central.

Foi realizada análise de variância e teste de médias para as variáveis transpiração (L dia<sup>-1</sup>) e transpiração por unidade de área foliar (L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), tendo como fontes de variação os dois ambientes de cultivo do cacauzeiro. O crescimento vegetativo também foi avaliado a partir de análise de variância e teste de médias para a área foliar, diâmetro do caule e taxas de crescimento de área foliar em função dos dois ambientes de cultivo.

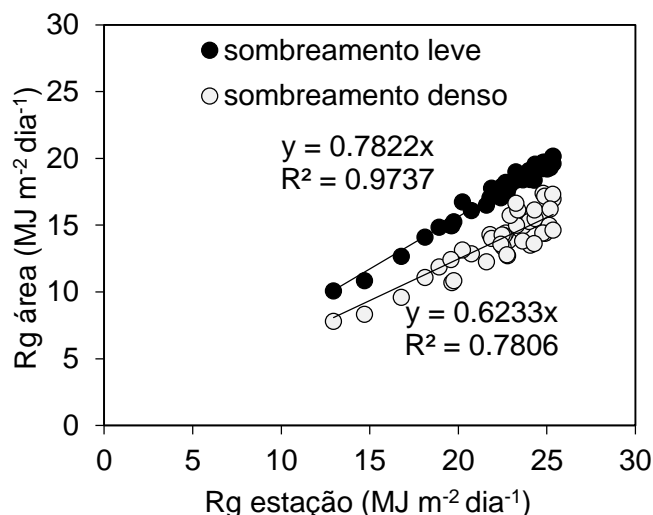
Foram efetuados análise de regressão com os dados de área foliar, diâmetro do caule, transpiração e os dados meteorológicos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 8 está apresentada a relação entre a radiação solar global medida na estação meteorológica do INMET com a radiação média medida pelos sensores na área experimental com desbaste e sem desbaste de bananeiras. A radiação solar na área onde foi realizado o desbaste de bananeiras apresentou sombreamento leve com redução da transmissividade em aproximadamente 22%, como pode ser verificado pelo coeficiente angular, o qual teve valor igual a 0,7822. Na área sem desbaste de bananeiras, o sombreamento foi mais denso apresentando coeficiente angular igual a 0,6233, que corresponde a uma redução aproximadamente igual a 38% da transmissividade. A área com maior incidência de radiação apresenta apenas sombreamento lateral, nessa condição a radiação solar incidente nos sensores apresenta um comportamento sistemático em função da hora do dia. Já a área com sombreamento na parte superior existe uma heterogeneidade da radiação na área em função das características da folhagem das bananeiras que mudam o padrão de sombreamento em função do crescimento e apresentam movimento em função do vento.

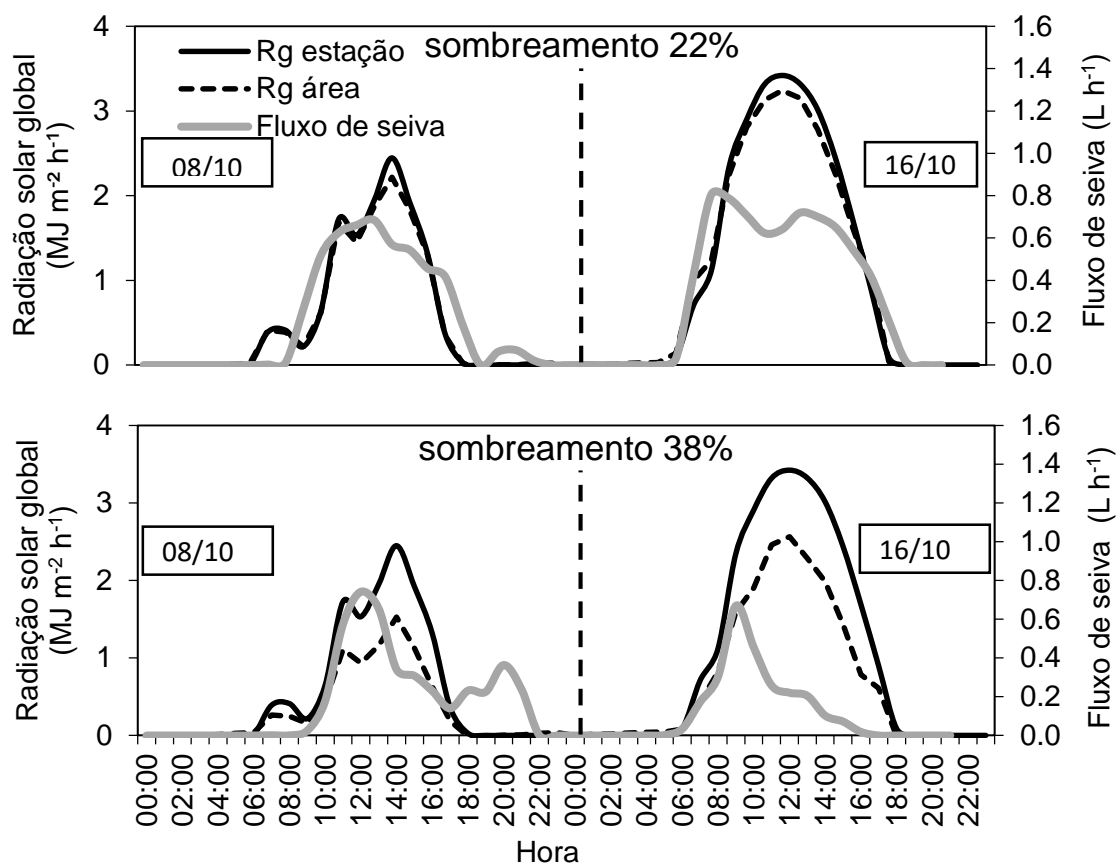
Pezzopane et al. (2005) relacionando a radiação solar global em Mococa SP e a radiação solar medida em uma área plantada com bananeira consorciada com café encontraram um coeficiente angular de 0,79. Os resultados desses autores indicam uma redução média da transmissividade de 21%, promovida pelas plantas de bananeira.

A relação entre radiação solar da estação com a radiação solar da área com sombreamento de 38% apresentou maior dispersão ( $R^2= 0,6233$ ) em comparação com a área com sombreamento 22% ( $R^2=0,9737$ ), o que pode ser resultado da variabilidade espacial da radiação interceptada pelos sensores da área com sombreamento denso.



**Figura 8.** Relação entre as medidas de radiação solar global (Rg) na área experimental com a estação meteorológica

Na Figura 9 estão apresentados o curso do fluxo de seiva, da radiação solar na área experimental e na estação meteorológica em um dia com nebulosidade (08 de outubro) e um dia de céu claro (16 de outubro). Verifica-se defasagem do fluxo de seiva em relação a radiação solar nas duas condições de sombreamento. Alguns autores encontraram resultados semelhantes ao estudar o curso do fluxo de seiva com outras culturas (Delgado-Rojas et al., 2007; Clearwater et al., 1999; Zhang et al., 2011; Wullschleger et al., 1998; Reis et al. 2009; Vellame et al., 2009) e indicam que nas primeiras horas da manhã ocorre transpiração da água armazenada nos tecidos vegetais aumentando o gradiente de potencial de água no interior da planta o que provoca fluxo de seiva. Ao fim do dia, quando a transpiração e a radiação solar tendem a cessar, ainda há fluxo de seiva no caule até que haja reposição de água perdida durante o dia nos tecidos vegetais.



**Figura 9.** Curso do fluxo de seiva, da radiação solar global média na área experimental e medido na estação meteorológica nos dias 08/10/2016 (nublado) e 16/10/2016 (céu claro).

Nota-se na Figura 9, que o curso do fluxo de seiva não segue totalmente ao curso da radiação solar, tanto no dia nublado como no dia de céu claro nos dois ambientes de sombreamento. No dia 8 de outubro (nublado) o fluxo de seiva tem início entre as 8 e 9 h da manhã e com uma maior defasagem em relação à radiação solar no final do dia, principalmente no ambiente com sombreamento de 38%. No dia 16 de outubro (céu claro), o fluxo de seiva tem início nas primeiras horas da manhã (6h) e o seu curso não responde ao aumento da radiação solar a partir de aproximadamente  $2,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  e  $1,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  para as condições de sombreamento de 22 e 38% respectivamente, apresentando uma redução a partir destes níveis de radiação. Vellame et al. (2012) observaram esse comportamento em citrus quando em condições de alta demanda hídrica da atmosfera e o associaram ao fechamento estomático devido ao aumento da temperatura foliar. Köhler et al. (2013), consideraram que o cacaueteiro cultivado a pleno sol controlam a transpiração de forma eficiente pelo fechamento estomático, reduzindo as perdas de água.

No ambiente com sombreamento de 38% o fechamento estomático apresentou uma ação mais forte na redução do fluxo de seiva, o que pode ser resultante de uma maior sensibilidade das plantas às condições micrometeorológicas nesse ambiente. Verifica-se que a transpiração nesse ambiente também apresentou correlação maior com o déficit de pressão de vapor, que altera sensivelmente em dia com alta intensidade de radiação solar devido ao aumento da temperatura do ar (Tabela 1).

De acordo com Köhler et al. (2013), em condições de maior sombreamento, em que as plantas de cacau experimentam menor demanda evaporativa da atmosfera, a transpiração é mais controlada pelo déficit de pressão de vapor. Segundo Pereira et al. (2009), a radiação solar é a fonte de energia primária para a fotossíntese e para a transpiração, e influencia diretamente outros elementos micrometeorológicos como a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor. Dalmago et al. (2006) verificaram que em dias com temperatura do ar alta, a possibilidade de haver desbalanceamento entre a perda e a absorção de água pelas plantas é maior e pode aumentar a resistência estomática mesmo em plantas bem irrigadas.

Apesar dos baixos valores dos coeficientes de correlação, nota-se que na área com sombreamento 22% a transpiração obteve maior correlação com a radiação solar ( $R^2=0,21$ ). Na área com sombreamento denso a transpiração apresentou maior correlação com a radiação solar ( $R^2=0,31$ ) e com o déficit de pressão de vapor ( $R^2=0,33$ ). Este resultado indica que o déficit de pressão de vapor tem maior importância no controle da transpiração nesse ambiente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas, transpiração e transpiração por unidade de área foliar.

|                             | TR(0,22) | TR(0,38) | TR/AF(0,22) | TR/AF(0,38) |
|-----------------------------|----------|----------|-------------|-------------|
| Temperatura do ar           | 0,01     | 0,05     | 0,01        | 0,24        |
| Radiação solar global       | 0,21     | 0,31     | 0,10        | 0,29        |
| Déficit de pressão de vapor | 0,07     | 0,33     | 0,04        | 0,38        |
| ETo                         | 0,11     | 0,21     | 0,04        | 0,23        |

A transpiração média apresentou diferença significativa ( $p<0,05$ ) entre as duas condições de sombreamento, com valor de 9,75 e 2,44 L. dia<sup>-1</sup> para as áreas com redução da transmissividade em 22 e 38% respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pelo maior porte das plantas no ambiente com sombreamento de 22% já

que não houve diferença significativa na transpiração por unidade de área foliar nas duas condições de cultivo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Média, coeficiente de variação (CV) e probabilidade de diferença (p) entre a transpiração das plantas nas duas áreas.

| Sombreamento | Transpiração                 |        | Transpiração por área foliar                 |        |
|--------------|------------------------------|--------|--|--------|
|              | Média (L dia <sup>-1</sup> ) | CV (%) | Média (L m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ) | CV (%) |
| 38%          | 2,44 B                       | 45,67  | 0,73 A                                       | 22,02  |
| 22%          | 9,75 A                       | 46,37  | 0,63 A                                       | 60,37  |
| p            | 0,02                         |        | 0,64   |        |

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As médias das avaliações biométricas de área foliar estão apresentadas na Tabela 3, na qual pode-se verificar que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na área foliar entre as duas condições de sombreamento nas avaliações dos dias 17 de agosto e 10 de novembro, com maior crescimento em área foliar do tratamento com 22% de redução da radiação solar. As plantas do ambiente com sombreamento de 22% também apresentaram maior crescimento vegetativo médio para todo o período experimental, com valor de 12,6 m<sup>2</sup> em comparação com 2,3 m<sup>2</sup> apresentado pelo tratamento com sombreamento denso. Na comparação entre as médias de cada avaliação observa-se que a maior área foliar ocorreu no dia 10 de novembro, dia da última avaliação, com valor médio total de 10,7 m<sup>2</sup>.

**Tabela 3.** Área Foliar nas áreas sombreadas (m<sup>2</sup>).

| Sombreamento | Avaliação |       |        |         |        | Média |
|--------------|-----------|-------|--------|---------|--------|-------|
|              | 20/04     | 16/07 | 17/08  | 07/09   | 10/11  |       |
| 38%          | 2,0 A     | 2,0 A | 2,2 A  | 2,5 A   | 2,8 A  | 2,3 A |
| 22%          | 8,0 A     | 9,2 A | 11,9 B | 15,3 AB | 18,6 B | 12,6B |
| Média        | 5,0       | 5,6   | 7,0    | 8,9     | 10,7   |       |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As médias das avaliações biométricas do diâmetro do caule estão apresentadas na Tabela 4, na qual pode-se verificar que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas na última avaliação e também entre as médias totais do período experimental,

com maior crescimento em diâmetro do caule apresentado pelo tratamento com 22% de redução da radiação solar.

**Tabela 4.** Diâmetro do caule nas áreas sombreadas (cm).

| Sombreamento | Avaliação |        |        |        |       | Média |
|--------------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|
|              | 20/04     | 16/07  | 17/08  | 07/09  | 10/11 |       |
| 38%          | 3,5 A     | 4,0 A  | 4,4 A  | 4,5 A  | 5,6 A | 4,4 A |
| 22%          | 5,9 A     | 6,6 AB | 7,0 AB | 7,6 AB | 8,7 B | 7,2 B |
| Média        | 4,7       | 5,3    | 5,7    | 6,0    | 7,1   |       |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A taxa de crescimento da área foliar (Tabela 5) foi crescente ao longo do experimento para as plantas sob sombreamento denso, apresentando valor máximo de 261 cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> na última avaliação realizada, dia 10 de novembro. Já as plantas sob sombreamento de 22% apresentaram taxa crescente até a penúltima avaliação, no dia 7 de setembro, quando apresentou valor igual a 1628,5 cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>. Na última avaliação as plantas deste tratamento apresentaram taxa com valor de 513 cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, o que representa uma redução de 70% em relação ao valor máximo encontrado.

**Tabela 5.** Taxa de crescimento da Área Foliar (cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) nas áreas sombreadas.

| Sombreamento | Avaliação |        |         |          |        | Média  |
|--------------|-----------|--------|---------|----------|--------|--------|
|              | 20/04     | 16/07  | 17/08   | 07/09    | 10/11  |        |
| 38%          | --        | 10,2A  | 64,7 A  | 114,2 A  | 261,0A | 112,5A |
| 22%          | -         | 265,2A | 831,5Aa | 1628,5 B | 513,0A | 809,5B |

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Uma possível explicação para a redução na taxa de crescimento na última avaliação são os ciclos de crescimento do cacaueiro que apresenta momentos de intensa emissão de folhas novas, alternando com períodos de repouso vegetativo e crescimento radicular (Almeida & Valle, 2008). Por outro lado, o autosombreamento entre folhas pode contribuir para a redução da taxa de crescimento, pois causa redução da transmissividade na copa da própria planta e reduz a capacidade de aproveitamento da radiação solar disponível.

## **CONCLUSÕES**

Houve redução de 22 e 38% da radiação solar nas condições de sombreamento impostas o que afetou a transpiração e o crescimento vegetativo das plantas de cacau de forma direta e significativa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMEZ, R.E.; ARAQUE, O.; GUZMAN, D.; MORA, A.; ESPINOZA, W.; TEZARA, W. Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**. v.114, n.1, p.1–11. 2013.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v.19, n.4, p.425-448, 2008.

ASARE, R. Cocoa agroforests in west africa: a look at activities on preferred trees in the farming systems, Danish Centre for Forest, **Landscape and Planning** v. 77. 2005.

BALIGAR, V. C.; BUNCE, J. A.; MACHADO, R. C. R.; ELSON, M. K. Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapour pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. **Photosynthetica**, v.46, p.216–221, 2008.

CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BUSANELLO, C. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* a. St. Hil. Cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 257-265, 2014.

COELHO FILHO M. A.; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J. S. D.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n.2, p.265-274, 2004.

CLEARWATER, M.J.; MEINZER, F.C; ANDRADE, J.L.; GOLDSTEIN. G.; HOLBROOK, N.M. The potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, n. 10, p. 681–687, 1999.

COLAS, H.; MOUCHET, S.; REY, H.; KITU, W. T. Une approche du comportement hybride du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) par des mesures de flux de seve brute: comparison entre une culture pure et une culture associee sous cocotier (*Cocos*

nucifera L.). **Anais**...In Proceedings of the 12th International Cocoa Research Conference, Salvador, Bahia, Brasil, Novembro 1996, 637–644.

DALMAGO, G. A.; HELDWEIN, A. B.; NIED, A. H.; GRIMM, E. L.; PIVETTA, C. R. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, 2006.

DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO FILHO, M.A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. **Annales Sciences Forestieres, Versailles**, v.42, n.2, p.193- 200, 1985.

GYAU, A.; SMOOT, K.; KOUAME, C.; DIBY, L.; KAHIA, J.; OFORI, D. Farmer attitudes and intentions towards trees in cocoa (*Theobroma cacao* L.) farms in Côte d'Ivoire. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 6, p. 1035-1045, 2014.

HADLEY, P.; END, M.; TAYLOR, S.T.; PETTIPHER, G.L. Environmental regulation of vegetative and reproductive growth in cocoa grown in controlled glasshouse conditions. In: **Proceedings of the International Cocoa Conference: Challenges in the 90s**, pp. 319–331. 1994.

HERNANDEZ, A.D.P.; COCK, J.H.; EL-SHARKAWY, M.A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.1, n.2, p.155-161, 1989.

JIANG, C; GAO, H; ZOU, Q; JIANG G; LI, L. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, p. 1-10, Jan. 2004.

KÖHLER, M.; DIERICK, D.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Water use characteristics of cacao and Gliricidia trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. **Ecohydrology**, v.2, p.520 – 529, 2009.

MORAIS, H.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A; GOMES, J.C.; SEI KOGUISHI, M. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.763-770, 2006.

PADI, B.; OWUSU, J.K. Towards an Integrated Pest Management for Sustainable Cocoa production in Ghana. **Anais...** Paper from workshop held in Panama, Smithsonian Institution. Washington, D.C. 1998.

PADI, F. K.; ADU-GYAMFI, P.; AKPERTEY, A.; ARTHUR, A.; OFORI, A. Differential response of cocoa (*Theobroma cacao*) families to field establishment stress. **Plant Breeding**, v. 132, n. 2, p. 229-236, 2013.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; ALFARO, A. T. Necessidades hídricas de citros e macieiras a partir da área foliar e da energia solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 671-679, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 487-499, 2005.

RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A.; RAMIREZ, M. E. Water relations and gas Exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficit. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.22, p.112– 120, 2005.

REEDY, S.J.; AMORIM NETO, M. DA S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa - CPATSA, 1993. 280p.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E.F. Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'Golden' cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.285-294, 2009.

SILVA NETO, P. J. DA; MATOS, P. G. G. DE; MARTINS, A. C. S.; SILVA, A. P. Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira. Belém, **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira** (CEPLAC), 2001. 125p.

SOMARRIBA, E.; BEER, J. Productivity of Theobroma cacao agroforestry systems with timber and legume service shade tree. **Agroforestry Systems**, v.81, p.109–121, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira 'valência' sob porta-enxerto limão'cravo' e citrumelo 'swingle' em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 34, n. 1, p. 24-32, 2012.

WULLSCHLEGER, S.D., CHILDS, K.W., KING, A.W., HANSON, P.J. A model of heat transfer in sapwood and implications for sap flux density measurements using thermal dissipation probes. **Tree Physiology**. v.31, p.669–679, 2011.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E.J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, p.1.207-1.214, 2011.

ZUIDEMA, P. A., LEFFELAAR, P. A., GERRITSMA, W., MOMMER, L., & ANTEN, N. P. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model

presentation, validation and application. **Agricultural Systems**, v. 84, n. 2, p. 195-225, 2005.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam motivar a realização de novas pesquisas a fim de aprofundar o entendimento das relações entre o consumo hídrico do cacaveiro com a área foliar, a demanda hídrica atmosférica e o potencial de água no solo em condições de sombreamento e também em condições de cultivo à pleno sol. Neste sentido sugere-se que novas pesquisas sobre as relações da área foliar com o consumo hídrico do cacaveiro possam ser incrementadas com o uso de metodologias que forneçam informações mais detalhadas do estado hídrico da planta e da sua dinâmica em relação à variação dos elementos meteorológicos e do conteúdo de água no solo. Medições de potencial de água na folha, temperatura foliar e fotossíntese podem fornecer maior consistência aos resultados obtidos nesses estudos, principalmente com o monitoramento contínuo dessas variáveis.

A grande sensibilidade do cacaveiro ao déficit hídrico pôde ser observada neste trabalho devido ao monitoramento contínuo da transpiração. Este resultado é de grande importância para o manejo da cultura e da irrigação, destacando os sistemas de irrigação localizada para a aplicação de água às plantas. Estratégias de manejo da irrigação que adotam alta frequência de aplicação de água, como a irrigação por pulsos, são altamente recomendadas para a cultura do cacau e devem ser melhor estudadas.

Recomenda-se que o estudo da relação da demanda hídrica atmosférica com a transpiração, tanto em condições sombreadas como à pleno sol, seja realizada com maior número de sensores meteorológicos para melhor detalhamento das condições atmosféricas do ambiente de estudo, levando em consideração a variabilidade espacial dos sistemas de cultivo do cacaveiro.