

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

**NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FUMO (*Nicotiana
tabacum* L.) TIPO SUMATRA CULTIVADO EM AMBIENTE
PROTEGIDO NO RECÔNCAVO DA BAHIA**

CARLOS DANIEL SEIFERT SCHMIDT

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
MARÇO - 2008**

**NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FUMO (*Nicotiana
tabacum* L.) TIPO SUMATRA CULTIVADO EM AMBIENTE
PROTEGIDO NO RECÔNCAVO DA BAHIA**

CARLOS DANIEL SEIFERT SCHMIDT

Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal de Santa Maria, 1992

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Engenharia e Manejo de Irrigação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

S349	<p>Schmidt, Carlos Daniel Seifert Necessidade hídrica da cultura do fumo (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) tipo Sumatra cultivado em ambiente protegido no Recôncavo da Bahia./ Carlos Daniel Seifert Schmidt. - 2008. 76 f.: il., tab., graf.</p> <p>Orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1. Fumo - irrigação. 2. Fumo - evapotranspiração. 3. Fumo - coeficiente de cultivo. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.</p> <p>CDD 20.ed. 633.71</p>
------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB
(Orientador)

Prof. Ph.D. Aureo Silva de Oliveira
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB

Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche
CEFET – Petrolina – PE

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

DEDICO

À minha Esposa Marilene,

pelo amor e gratidão de estar ao seu lado compartilhando todos os momentos e pelo seu carinho, paciência, compreensão e estímulo constante para a realização deste sonho.

Aos meus filhos Jéssica e Patrick Daniel,

pelas alegrias, sorrisos, carinhos e o aprendizado das coisas simples e valiosas da vida.

Aos meus pais Romano e Olívia,

por terem me dado a vida e me ensinarem o valor do aprendizado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de inspiração constante, pela realização de mais esta etapa da vida e pelo conforto espiritual e paz de espírito nas horas difíceis.

A toda a minha família pelo incentivo, apoio e compreensão pelas inúmeras horas em que estive ausente durante o período do mestrado.

Ao diretor da Danco, Felix Borer, pelo incentivo, liberação para o estudo e apoio financeiro e logístico para a realização da pesquisa.

Aos Professores Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira e Ph.D. Aureo Silva de Oliveira pela orientação, pelo apoio e enorme confiança depositada no meu trabalho.

Ao Professor Dr. Vital Pedro Silva da Paz pelos ensinamentos e incentivo.

Ao Professor Dr. José Fernandes de Melo Filho pela descrição do perfil do solo.

Ao Professor MSc. Oton Meira Marques pela amizade, constante incentivo e pelos momentos de descontração.

Ao Eng. Agr. MSc. Lucas Melo Vellame pelos ensinamentos e o apoio durante a construção, instalação e calibração do lisímetro de pesagem.

A todos os colegas do Mestrado, em especial a Valéria, Bruna e Márcio pela amizade, incentivo, convívio e pelas inúmeras horas de estudo em grupo.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em especial aos Professores Eugênio Ferreira Coelho e Carlos Ledo.

A Raimundo Barbosa Sampaio Filho pelo incentivo para que cursasse o Mestrado.

A todos os amigos e funcionários da Danco que colaboraram e incentivaram de alguma forma e em especial:

- aos técnicos Luiz César Nascimento Pereira e Carlos Alberto Fernandes Antunes pela participação, dedicação e auxílio na realização da pesquisa e pelo empenho e apoio nas horas em que estive ausente do trabalho;
- ao Eng^o. Agr^o. MSc. Carlos Eduardo Santana pelo enorme incentivo, colaboração e constantes diálogos e discussões para o aprimoramento da pesquisa realizada.
- a Ângelo Mário Daltro Pinto, Risoleta Araújo Silva, Marlene da Silva Conceição e Raimundo Nascimento Oliveira Filho pelo empenho e apoio nas horas em que estive ausente do trabalho;
- a Francisco de Almeida e Otávio dos Santos Silva, pela dedicação e empenho na construção do lisímetro de pesagem;
- e aos Eng^{os}. Agr^{os}. Roberto Antônio Liberalesso e Celizia Mendara Fassanario de Cerqueira pelo auxílio na realização da pesquisa.

Ao Eng^o. Agr^o. Odacir Tonelli Strada pelo auxílio na medição da área foliar do fumo.

Ao estudante de agronomia e estagiário da Danco, João Fonseca Gomes Júnior, pelo seu grande incentivo, empenho e dedicação durante toda a fase de pesquisa e elaboração da dissertação.

Ao estudante de mestrado Dário Costa Primo pelo incentivo e participação na realização deste trabalho.

Às bibliotecárias Isaelce Santos Silva e Márcia Cristina Passos da Paixão pelo auxílio na elaboração da ficha catalográfica e referências bibliográficas.

A todos os meus amigos que foram privados da minha presença e atenção durante este período.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	07
 CAPÍTULO 1	
 INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	09
Resumo.....	10
Abstract.....	11
Introdução.....	12
Material e métodos.....	13
Resultados e discussão.....	17
Conclusões.....	26
Referências bibliográficas.....	27
 CAPÍTULO 2	
 ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE FUMO (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) TIPO SUMATRA UTILIZANDO DIMENSÕES LINEARES DO LIMBO FOLIAR.....	30
Resumo.....	31
Abstract.....	32
Introdução.....	33
Material e métodos.....	35
Resultados e discussão.....	37
Conclusões.....	41
Referências bibliográficas.....	41

CAPÍTULO 3

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTIVO DO FUMO (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) TIPO SUMATRA.....	45
Resumo.....	46
Abstract.....	47
Introdução.....	48
Material e métodos.....	51
Resultados e discussão.....	56
Conclusões.....	64
Referências bibliográficas.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
ANEXOS.....	70

NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA DO FUMO (*Nicotiana tabacum* L.) TIPO SUMATRA CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO NO RECÔNCAVO DA BAHIA

Autor: Carlos Daniel Seifert Schmidt

Orientador: Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo determinar a evapotranspiração (ET_c) e os coeficientes de cultivo (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra cultivado em ambiente protegido (sob telado). A ET_c diária foi obtida utilizando-se um lisímetro de pesagem com 1,76 m² de área superficial (dimensões 1,10 m de largura, 1,60 m de comprimento e 0,60 m de profundidade). A calibração do lisímetro de pesagem foi feita com sacos de areia de massa conhecida, representando uma faixa de variação de massa equivalente a 62,5 mm. O erro de acurácia do sistema foi de ± 0,23 kg (± 0,1307 mm), sendo o lisímetro considerado adequado para o estudo da demanda hídrica diária da cultura do fumo em ambiente telado. O sistema também foi composto de estação meteorológica automática, tanque Classe A e abrigo para os equipamentos. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO e Tanque Classe A. A área foliar do fumo foi estimada pela equação $AF = 0,6610 \cdot C \cdot L$, na qual (C) representa o comprimento da folha e (L) a largura máxima. O ciclo da cultura foi de 95 dias e a evapotranspiração total ocorrida durante o ciclo foi de 407 mm, com valores médios diários de 5,1 mm d⁻¹ e valores máximos de 6,14 mm d⁻¹ na fase intermediária (40-60 DAT). O método mais adequado para a obtenção do K_c foi o método de Penman-Monteith FAO. Os coeficientes de cultivo obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO para os diferentes estádios de desenvolvimento, foram: Fase I = 0,34; Fase II = 0,80; Fase III = 1,30; Fase IV = 1,06 e Fase V = 0,99. Os valores de K_c obtidos são discordantes dos K_c's recomendados pela FAO para fumo.

Palavras-chave: evapotranspiração, irrigação, lisímetro de pesagem, coeficientes de cultivo

WATER REQUIREMENTS OF TOBACCO (*Nicotiana tabacum* L.) TYPE SUMATRA CULTIVATED IN PROTECTED ENVIRONMENT AT RECÔNCAVO REGION, STATE OF BAHIA

Author: Carlos Daniel Seifert Schmidt

Adviser: DSc. Francisco Adriano de Carvalho Pereira

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the evapotranspiration (ET_c) and the crop coefficients (K_c) for different growth stages of the tobacco culture (*Nicotiana tabacum* L.) type Sumatra, cultivated in protected environment (shade grown). A weighing lysimeter with 1,76 m² (1,10 m width, 1,60 m length and 0,60 m depth), was used to determine daily ET_c. The calibration of the weighing lysimeter was made with sand bags of known mass, representing a equivalent variation mass of 62,5 mm. The accuracy error of the system was ± 0,23 kg (± 0,1307 mm) and the lysimeter was considered adequate for the study of the daily water demand of tobacco cultivated in protected environment. The system was also composed by an Automated Weather Station, Class A Pan and a ditch with coverage to shelter the equipment. The reference evapotranspiration was estimated by Penman-Monteith FAO and Class A pan methods. The tobacco leaf area was estimated using the equation $LA = 0,6610 \cdot L \cdot W$, in which (L) represents the leaf length and (W) the maximum width. The total growing season of the culture was 95 days and the total evapotranspiration was 407 mm, with daily average values of 5,1 mm d⁻¹ and maximum values of 6,14 mm d⁻¹ at the intermediate phase (40-60 DAT). The best method to obtain the K_c was the Penman-Monteith FAO method. The crop coefficients obtained by Penman-Monteith FAO method for the different crop phases, were: Phase I = 0,34; Phase II = 0,80; Phase III = 1,30; Phase IV = 1,06 e Phase V = 0,99. The K_c values obtained are in disagreement with the K_c values recommended by FAO for tobacco.

Key words: evapotranspiration, irrigation, weighing lysimeter, crop coefficients

INTRODUÇÃO

O cultivo do fumo é realizado em uma grande amplitude de climas, entretanto, necessita de 90 a 120 dias sem geadas, cobrindo desde a fase de transplântio ao final da colheita. Para um ótimo desenvolvimento, necessita temperatura média diária entre 20 e 30 °C. A cultura é sensível ao encharcamento e exige solos bem arejados e drenados (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

No Nordeste brasileiro foram produzidas 38.880 toneladas de fumo na safra 2005/2006, correspondendo a 4,8% do total nacional e envolvendo 36.460 famílias. Nesta região destaca-se o Estado da Bahia, responsável pela produção de fumos escuros para a fabricação de charutos e cigarrilhas, o qual produziu 10.632 toneladas na safra 2005/2006 (FUMO, 2006).

Concentrada na região do recôncavo, especialmente no entorno do município de Cruz das Almas, a cultura fumageira possui grande importância econômica e social, garantindo o sustento a milhares de pequenos produtores rurais e empregados nas empresas de beneficiamento de fumo.

Apesar de ocupar apenas 0,3% da área cultivada no Estado, o fumo e seus derivados ficaram em 9º lugar na pauta das exportações do agronegócio baiano no ano de 2004, participando com 1% do valor das exportações, correspondendo a US\$ 16,699 milhões. Por seu impacto social, a cultura do fumo é considerada hoje um fator de promoção humana e de manutenção do homem no campo, envolvendo cerca de 104 mil pessoas vinculadas direta e indiretamente à atividade (OLIVEIRA, 2006).

Capa é denominada a folha de fumo destinada à cobertura externa de um charuto. Além de uma superfície perfeita, aspecto atrativo e coloração uniforme, exige-se que possua uma boa queima, elasticidade, textura fina, formação de

cinza floculada e um bom aroma e sabor. Dentre os principais tipos de tabacos no mundo destinados à produção de capas para charutos encontram-se o tipo Bahia e o Sumatra (TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL, 2000).

Embora a avaliação de sabor seja subjetiva, estima-se que a capa responda por 30 a 80% do sabor de um charuto. Este percentual varia de acordo com o tipo de fumo utilizado, sendo o Sumatra enquadrado entre os tipos considerados de sabor pronunciado (WEHLBURG, 1999).

A produção de capas de fumo para charutos requer um esforço tremendo em práticas de produção e de controle, envolvendo um processo de trabalho intensivo, estimado em torno de 12.000 horas-homem por ha, da sementeira ao fumo enfardado. Este conjunto de fatores explica o elevado valor da capa no mercado, o qual chega a US\$ 100,00 por kg para algumas variedades específicas (WEHLBURG, 1999).

Para a obtenção de folhas bem estruturadas e finas, os fumos para capa não devem receber diretamente muita luz solar, o que se consegue com a utilização de telas com diferentes taxas de sombreamento, permitindo uma redução superior a 40% na luz solar. A luz incidente no interior da área coberta é difusa, atingindo as folhas de fumo mais uniformemente. O sombreamento, ou seja, o cultivo sob telado, proporciona um microclima favorável ao desenvolvimento das plantas de fumo para a produção de capa (WEHLBURG, 1999).

Tendo por objetivo proteger a cultura de luminosidade intensa, reduzir o movimento do ar e a evaporação, esta prática surgiu no estado de Connecticut (Estados Unidos) como forma de imitar as condições climáticas naturais vigentes em Sumatra (Indonésia); espalhando-se então para a América Central, Caribe e Brasil, especificamente no Estado da Bahia (TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL, 2000).

Möller & Assouline (2007) verificaram que no interior de uma estufa coberta com tela de coloração preta com 30% de sombreamento e cultivada com pimentão em Israel, ocorreram reduções superiores a 40% na radiação global (RG) média e 50% na velocidade do vento. Porém, não houve redução significativa na temperatura máxima diária e no déficit de pressão de vapor. A necessidade hídrica da cultura foi 38% menor do que a registrada em área aberta.

A produtividade média da cultura do fumo na Bahia é muito baixa quando comparada com outras regiões do Brasil. Em 2005, a produtividade baiana ficou em 931 kg ha^{-1} (OLIVEIRA, 2006). No Rio Grande do Sul a média histórica é de 2.000 kg ha^{-1} (PRODUÇÃO, 2005). Em experimento realizado com o tipo Brasil-Bahia irrigado no período de inverno, obteve-se uma produtividade de 1.750 kg ha^{-1} em Cruz das Almas (LORDÉLLO NETO, 1999).

Com freqüência verifica-se redução na produção baiana de fumo em decorrência de adversidades climáticas, principalmente em função de estiagens. No ano de 1997 houve quebra de 60% na produção provocada pela seca de El Niño (SAFRA, 1998). Em 2001, problemas climáticos motivaram quebra estimada em até 60% (A PRODUÇÃO, 2002). Novamente em 2004 houve escassez de chuva em alguns momentos do desenvolvimento das plantações, ficando o seu desempenho atrelado basicamente ao comportamento do clima (PRODUÇÃO, 2004).

Cakir & Cebi (2006), estudando diferentes regimes de irrigação em fumo tipo Virgínia durante 3 anos consecutivos, verificaram que todos os parâmetros vegetativos e também o processo de acúmulo de massa seca foram significativamente afetados pela falta de água no perfil do solo nos primeiros estágios de desenvolvimento.

Segundo Karaivazoglou et al. (2006), a resposta da planta de fumo ao cloro presente na água de irrigação varia de acordo com o tipo de fumo, cultivar, método de adubação, cultivo e colheita. Em fumo do tipo Oriental, os níveis ótimos de cloro na água de irrigação para que não ocorra prejuízo à qualidade das folhas encontram-se abaixo de 20 mg L^{-1} . Flower (1999) cita que concentrações superiores a 1% de cloro nas folhas podem gerar fumo de baixa qualidade.

A evapotranspiração (ET) varia de acordo com a cultura, sendo atribuído em parte à arquitetura foliar, em parte às características das folhas e em parte à duração do ciclo e da época de cultivo (BERNARDO, 1995). Reichardt & Timm (2004) definem a evapotranspiração da cultura (ET_c) como sendo a máxima perda de água de uma determinada cultura em dado estágio de desenvolvimento quando não há restrição de água, enquanto que, a evapotranspiração de referência (ET_o) é aceita como um elemento meteorológico de referência para

estudos comparativos de perda de água pela vegetação em diferentes situações e locais.

De acordo com Reichardt & Timm (2004), o método direto mais comum utilizado para a determinação da ET_c é o evapotranspirômetro ou lisímetro. O mesmo consiste de um tanque enterrado no solo e dentro do qual as condições físicas do solo devem aproximar-se das condições do solo da área externa. O nível do lençol freático deve ser controlado para que as condições de umidade não sejam diferentes da área externa (BERNARDO, 1995).

Quanto ao tipo, Silva (1996) cita que os lisímetros usualmente são agrupados em pesáveis (lisímetros de pesagem de forma contínua ou intermitente, onde a variação de massa é determinada por um mecanismo de pesagem) e não-pesáveis (lisímetro de drenagem e de lençol freático em nível constante).

Os lisímetros de pesagem determinam a evapotranspiração pelo balanço de massa em intervalos de cerca de 1 h, e em função de sua precisão, são considerados equipamentos padrão para aferição dos demais métodos (FARIA et al., 2006). Pereira et al. (2002), apontam problemas na obtenção de leituras confiáveis destes equipamentos em dias chuvosos e dias com rajadas de vento, necessitando uma análise minuciosa dos dados obtidos. Os lisímetros de pesagem necessitam ser calibrados *in situ* através da adição e retirada de massa de quantidades conhecidas, permitindo assim, a obtenção de leituras confiáveis (FARIA et al., 2006).

Para a determinação da ET_o , utilizam-se diversos métodos indiretos, sendo o mais comum e simples o tanque Classe A, o qual é um tipo de tanque de evaporação padronizado. Para a aplicação prática dos dados obtidos, necessita-se multiplicar a lâmina de água evaporada por um fator de tanque (k_p), o qual varia de acordo com as condições às quais o tanque está exposto (REICHARDT & TIMM, 2004).

Existem métodos empíricos que combinam o efeito do balanço de energia com o poder evaporante do ar, destacando-se o método de Penman-Monteith (REICHARDT & TIMM, 2004). Möller & Assouline (2007) encontraram boa concordância entre os dados de evapotranspiração diários obtidos com lisímetro de pesagem e os estimados pelo método de Penman-Monteith a partir de variáveis meteorológicas obtidas com estação meteorológica automática.

O coeficiente de cultivo (K_c) relaciona as necessidades hídricas (ET_c) com a evapotranspiração de referência (ET_o) para os diferentes estágios de desenvolvimento das culturas (DOORENBOS & KASSAM, 1994; REICHARDT & TIMM, 2004). O K_c é determinado de forma experimental para inúmeras culturas e em diferentes estágios de desenvolvimento pela relação ET_c/ET_o (REICHARDT & TIMM, 2004).

No fumo, o K_c está linearmente relacionado com a cobertura do dossel até a primeira colheita de folhas. Após, ocorre diminuição na transpiração em decorrência da maturação das folhas, provocando uma redução mais rápida nos valores do K_c em relação à diminuição da cobertura do dossel (FLOWER, 1999).

Como regra geral, adota-se os seguintes valores de K_c para os diferentes estágios fenológicos do fumo: estágio inicial, 0,3 – 0,4 (10 dias); estágio de desenvolvimento, 0,7 - 0,8 (20 a 30 dias); estágio intermediário, 1,0 – 1,2 (30 a 35 dias); estágio final, 0,9 – 1,0 (30 a 40 dias); e, na colheita, 0,75 – 0,85. A necessidade hídrica varia de 400 a 600 mm (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

As taxas de crescimento variam de acordo com o tipo de fumo, condições ambientais e sistemas e regimes de irrigação empregados, conseqüentemente gerando a divulgação de diferentes coeficientes de cultivo para plantas com a mesma idade fisiológica (FLOWER, 1999).

De acordo com Bernardo (1995), os sistemas de irrigação por gotejamento compreendem os sistemas nos quais a água é aplicada no solo diretamente sobre a região das raízes em pequenas quantidades e com alta freqüência, mantendo-se a umidade na zona radicular sempre próxima à capacidade de campo. Permite maior eficiência no uso da água, reduzindo as perdas por evaporação, por não molhar toda a superfície do solo e não sofrer interferência do vento.

Um dos principais fatores que concorrem para o baixo índice de produtividade e redução da qualidade da produção fumageira é a baixa aplicação de tecnologias adequadas às características edafoclimáticas da região, bem como, o uso inadequado dos recursos hídricos disponíveis, uma vez que a pluviometria da região apresenta-se desuniformemente distribuída ao longo do ano.

Para a produção de folhas de fumo de alta qualidade para capa de charutos a chuva deve ser moderada e distribuída uniformemente durante a fase

de desenvolvimento, permitindo um rápido crescimento e grande desenvolvimento de folhas finas e uniformes, sem nervuras pronunciadas.

A determinação da necessidade hídrica da cultura do fumo, tipo Sumatra, para a região do Recôncavo da Bahia é portanto necessária para a otimização dos recursos hídricos disponíveis, visando aumento da produtividade e da qualidade do fumo para capa de charutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 656 p.

CAKIR, R.; CEBI, U. Growth and dry matter accumulation dynamics of flue-cured tobacco under different soil moisture regimes. **Journal of Agronomy**, v. 5, n. 1, p. 78-96, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução H. R. Gheyi. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

FARIA, R. T. de, et al. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.

FLOWER, K. C. Agronomy and physiology: field practices. In: DAVIS, D. L.; NIELSEN, M. T. **Tobacco**: production, chemistry and technology. Cambridge: University Press, p. 76-103, 1999.

FUMO. **Revista Agrobrasil 2006**. Balanço Brasileiro do Agronegócio 2006. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 100-105, 2006.

KARAIVAZOGLOU, N. A. et al. Effect of chloride in irrigation water on Oriental (sun-cured) tobacco. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n.8, p. 1413-1431, 2006.

LORDÉLLO NETO, A. V. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo (Kc) da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum*) na região de Cruz das Almas - Ba**. 1999. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola de Agronomia. Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1999.

MÖLLER, M.; ASSOULINE, S. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. **Irrigation Science**, v. 25, p. 171-181, 2007.

OLIVEIRA, J. M. C. de. A cultura do fumo na Bahia: refletindo sobre a convenção-quadro. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 2, p. 59-65, 2006.

PEREIRA, A. R. et al. Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 51-56, 2002.

PRODUÇÃO. **Anuário Brasileiro do Fumo**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 10-21, 2005.

PRODUÇÃO Nordeste. **Anuário Brasileiro do Fumo**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 26-31, 2004.

A PRODUÇÃO Nordeste. **Anuário Brasileiro do Fumo**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 38-43, 2002.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Ed. Manole, 2004. 478 p.

SAFRA 97/98 Fumos escuros. **Anuário Brasileiro do Fumo**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 18-25, 1998.

SILVA, F. C. da. **Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência**. 1996. 70 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1996.

TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL. **Tobacco Encyclopedia**. Germany: Ed. Voges, 2000. 279 p.

WEHLBURG, A. F. Cigars and Cigarillos. In: DAVIS, D. L.; NIELSEN, M. T. **Tobacco: production, chemistry and technology**. Cambridge: University Press, p. 440-451, 1999.

CAPÍTULO 1

INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM EM AMBIENTE PROTEGIDO ¹

¹ Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi descrever os procedimentos de instalação, calibração e análise de desempenho de um lisímetro de pesagem para estudo da demanda hídrica da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra. O lisímetro, com as dimensões 1,10 m de largura, 1,60 m de comprimento e 0,60 m de profundidade, foi instalado em área de cultivo comercial de fumo, sob tela de sombreamento de 30%. O sistema também foi composto de estação meteorológica automática, tanque Classe A e abrigo para os equipamentos. A calibração do lisímetro de pesagem foi feita com sacos de areia de massa conhecida, representando uma faixa de variação de massa equivalente a 62,5 mm. O erro de acurácia do sistema foi de $\pm 0,23$ kg ($\pm 0,1307$ mm). O erro de histerese foi o parâmetro de desempenho que mais influenciou na acurácia do sistema. Expressos em milímetros, os erros de repetibilidade, histerese, linearidade e acurácia encontram-se dentro de limites aceitáveis, correspondendo a 0,1137, 0,1705, 0,0624 e 0,1307, respectivamente. O sistema de lisimetria instalado mostrou-se adequado para o estudo da demanda hídrica diária da cultura do fumo em ambiente telado. O custo de construção e instalação do lisímetro de pesagem foi de R\$ 9.275,00.

Palavras-Chaves: lisimetria, demanda hídrica, evapotranspiração, tabaco

INSTALLATION, CALIBRATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A WEIGHING LYSIMETER

ABSTRACT: The objective of this work was to describe the installation procedures, calibration and performance analysis of a weighing lysimeter for the study of the water demand of the tobacco culture (*Nicotiana tabacum* L.), type Sumatra. The lysimeter, with the dimensions: 1,10 m width, 1,60 m length and 0,60 m depth, was installed into a tobacco commercial field, grown under a 30% shading screen. The system was also composed by an Automated Weather Station, Class A Pan and a ditch with coverage to shelter the equipment. The calibration of the weighing lysimeter was made with sand bags of known mass, representing a equivalent variation mass of 62,5 mm. The accuracy error of the system was $\pm 0,23$ kg ($\pm 0,1307$ mm). The performance parameter that most influenced the accuracy of the system was the hysteresis error. Expressed in millimeters, the repeatability, hysteresis, linearity and accuracy errors were into acceptable limits, corresponding to 0,1137, 0,1705, 0,0624 and 0,1307, respectively. The lysimetry system installed was considered adequate for the study of the daily water demand of tobacco cultivated in protected environment. The cost of constructing and installing the lysimeter was approximately US\$ 5,150.

Key words: lysimetry, water demand, evapotranspiration, tobacco

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) varia de acordo com a cultura, sendo atribuído em parte à arquitetura foliar, em parte às características das folhas e em parte à duração do ciclo e da época de cultivo (Bernardo, 1995). Reichardt & Timm (2004) definem a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) como um elemento meteorológico de referência para estudos comparativos de perda de água pela vegetação em diferentes situações e locais.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) corresponde à máxima perda de água de uma determinada cultura em dado estágio de desenvolvimento quando não há restrição de água, sendo que, o método direto mais comum utilizado para a sua determinação é o evapotranspirômetro ou lisímetro, o qual consiste de um tanque enterrado no solo (Reichardt & Timm, 2004).

Quanto ao tipo, Silva (1996) cita que os lisímetros usualmente são agrupados em pesáveis (lisímetros de pesagem de forma contínua ou intermitente, onde a variação de massa é determinada por um mecanismo de pesagem) e não-pesáveis (lisímetro de drenagem e de lençol freático em nível constante).

Os lisímetros de pesagem podem determinar a evapotranspiração pelo balanço de massa em intervalos de cerca de 1 h (Faria et al., 2006; Shukla et al., 2006). Em função de sua precisão, são considerados equipamentos-padrão para aferição dos demais métodos (Faria et al., 2006). Equipamentos com área menor que 2 m² vêm sendo muito utilizados atualmente em pesquisas de evapotranspiração, pois além de serem mais facilmente construídos, os custos também são menores (Campeche, 2002).

Payero & Irmak (2008) afirmam que o tamanho dos lisímetros de pesagem varia significativamente, sendo o mesmo uma função da intenção de uso e da resolução requerida ou desejada. Shukla et al. (2006) ressaltam que se faz necessário projeto e manutenção adequados dos lisímetros para a quantificação precisa dos efeitos das práticas culturais na quantidade e qualidade da água.

Pereira et al. (2002) apontam problemas na obtenção de leituras confiáveis destes equipamentos em dias chuvosos e dias com rajadas de vento, necessitando uma análise minuciosa dos dados obtidos. Howell et al. (1995)

constataram que velocidades de vento superiores a 5 m s^{-1} aumentaram o desvio padrão das leituras.

Os lisímetros de pesagem necessitam ser calibrados *in situ* através da adição e retirada de massa de quantidades conhecidas, permitindo assim, a obtenção de leituras confiáveis; bem como, deve-se utilizar equações próprias para cada lisímetro instalado, pois ocorrem variações decorrentes das características específicas do extensômetro elétrico de cada célula de carga e do peso morto do lisímetro em estudo (Faria et al., 2006).

Malone et al. (2000) mencionam que para qualquer uso dos dados de evapotranspiração computados por lisímetros de pesagem, as incertezas associadas a estes valores registrados devem ser conhecidas e reportadas. Wheeler & Ganji (1996) ressaltam que é muito importante conhecer os erros associados ao sistema de medição, os quais devem ser o quanto menor possível, possibilitando o uso dos dados com confiabilidade para os fins propostos.

O objetivo do presente estudo foi descrever os procedimentos de instalação, calibração e análise de desempenho de um lisímetro de pesagem para o estudo da demanda hídrica da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, cultivado em ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de lisimetria foi instalado na Fazenda Capivari, localizada no km 217 da BR-101, município de Governador Mangabeira, Bahia, $12^{\circ} 37'$ Sul e $39^{\circ} 03'$ Oeste e 220 m anm, de propriedade da empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda. A construção, instalação e teste do lisímetro ocorreram durante os meses de novembro e dezembro de 2006.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, com relevo plano e o clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por clima de bosque chuvoso quente e úmido, com temperatura média de 25°C .

A instalação dos equipamentos foi realizada em uma área de cultivo comercial de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, cultivado sob tela preta com 30% de sombreamento. Com o intuito de minimizar o efeito-oásis a área de

bordadura foi superior a 60 m a partir do lisímetro em qualquer direção radial. Na Figura 1 encontra-se um desenho esquemático do lisímetro de pesagem.

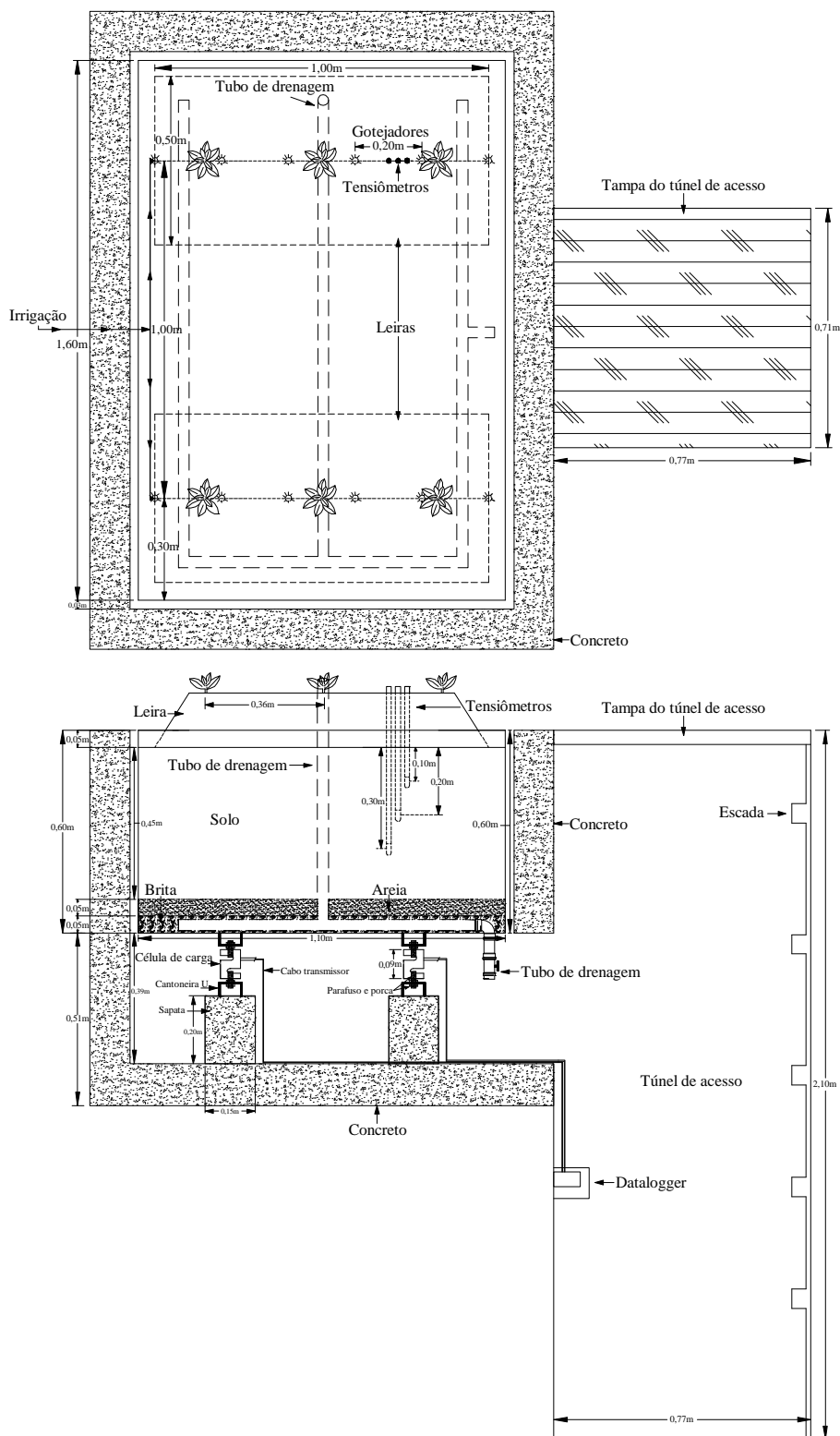


Figura 1. Desenho esquemático do lisímetro de pesagem

O lisímetro de pesagem foi construído em aço carbono, chapa nº 14, nas seguintes dimensões: 1,60 x 1,10 x 0,60 m, totalizando uma área de 1,76 m² de superfície. Para a sua instalação foi realizada a escavação do solo do local em camadas de 0,10 m e armazenado em lona plástica devidamente identificada, após peneiramento para a retirada de torrões que dificultariam a recomposição do solo.

O lisímetro foi instalado em uma caixa construída com paredes de alvenaria com 1 m de profundidade e a borda superior 0,05 m acima do nível do solo. Para facilitar a instalação e o nivelamento do sistema de pesagem, construiu-se duas estruturas metálicas retangulares com viga “U” de 150 mm, nas dimensões de 0,79 m x 0,55 m, entre as quais foram parafusadas as células de carga (Figura 2). Esta estrutura foi apoiada sobre quatro sapatas de concreto, com diâmetro de 0,15 m e altura de 0,20 m.

No fundo do tanque do lisímetro foi instalado o sistema de drenagem, composto por 3 tubos de PVC de 32 mm perfurados, dispostos paralelamente e conectados em forma de garfo. Para monitorar a profundidade da água no interior do lisímetro e detectar possíveis falhas na drenagem, conectou-se um tubo vertical à extremidade de um dos tubos perfurados, o qual emergia até a superfície do tanque.

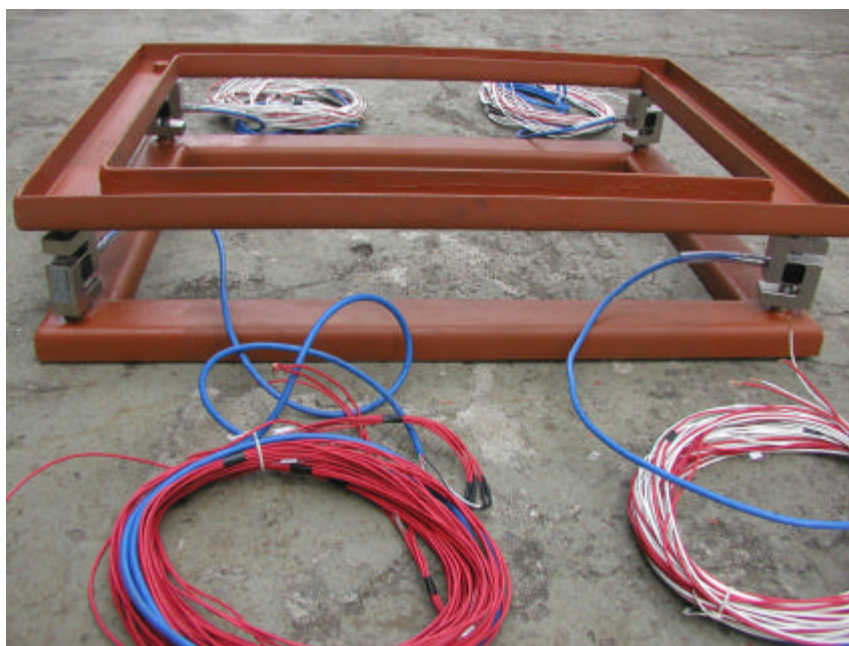


Figura 2. Estrutura metálica para suporte das células de carga

Os tubos de drenagem foram envoltos em uma manta de poliéster, sobre a qual foi disposta uma camada de cerca de 0,05 m de brita nº 1, seguida de outra camada de igual espessura de areia lavada. Acima desta camada ocorreu a recomposição do solo dos lisímetros em camadas de 10 cm, com leve compactação e na ordem inversa a da escavação.

O elemento sensível do lisímetro de pesagem constituiu-se de 4 células de carga, modelo Z-1T (Alfa Instrumentos, São Paulo, Brasil), capacidade individual de 1 t com sensibilidade de 2 mV/V e compensação de temperatura. A aquisição dos dados foi feita através de um coletor de dados, modelo CR 10 X (Campbell Scientific, Inc., Logan, EUA).

O “datalogger” foi programado para coletar os dados a cada 3 segundos e com armazenagem das médias a cada minuto. O terminal portátil para leitura dos dados possuía visor com resolução mínima de 0,0001 mV/V. Gonçalves Júnior (2004) define a resolução como a menor diferença entre indicações que pode ser significativamente percebida.

A calibração do lisímetro de pesagem em campo seguiu a metodologia proposta por Wheeler & Gangi (1996). Martin et al. (2001) e Santos et al. (2006) a utilizaram para análise do funcionamento de sistemas de pesagem.

A partir dos dados obtidos foi possível a determinação dos seguintes parâmetros de performance do sistema de pesagem: erro de repetibilidade, erro de histerese, erro de linearidade e acurácia. Repetibilidade é a habilidade que um dispositivo possui em produzir o mesmo resultado de leitura quando o mesmo peso é aplicado empregando o mesmo procedimento (Martin et al., 2001). Desta forma, o erro de repetibilidade é a maior diferença verificada entre as leituras.

Histerese de um sistema de medição é um erro que ocorre quando há diferença entre a indicação para um dado valor durante as etapas de valores crescentes e decrescentes (Gonçalves Júnior, 2004). No sistema de pesagem, é a diferença de leitura obtida para uma determinada massa entre as fases de carregamento e descarregamento.

Coelho Filho et al. (2004), afirmam que acurácia refere-se a quanto uma medida difere do seu valor real, incluindo os erros de precisão e sistemáticos, utilizando-se normalmente a falta de acurácia como indicativo da acurácia de um instrumento. Os erros sistemáticos (linearidade) são caracterizados por se repetirem cada vez que se efetuam as medidas e em qualquer sentido (leituras

crecentes ou decrescentes), sendo possível a sua compensação, enquanto que, os erros de precisão (repetibilidade e histerese) ocorrem de forma aleatória, não sendo possível a sua compensação.

Em laboratório foram pesados sacos de areia seca fechados e com massa de 1 kg (108 sacos), 0,5 kg (3 sacos) e 0,1 kg (5 sacos), pesados em balança de resolução de 0,01 g. Com o intuito de evitar mudanças na massa do lisímetro provocadas pela evaporação da água do solo, a superfície foi coberta com lona plástica.

Para minimizar o efeito do vento, a calibração foi iniciada às 4 h da manhã com duração de 5 h. A leitura inicial foi realizada com a anotação da voltagem do lisímetro descarregado, ou seja, apenas com o solo do preenchimento (peso morto). Após cada acréscimo de massa, aguardou-se a estabilização da voltagem no “display” portátil de leitura do “datalogger” para a realização da anotação.

Acrescentou-se os pesos em sequência de carga de massa equivalente a 10 kg sobre a superfície do lisímetro, obtida pela adição de 10 sacos de 1 kg, até atingir 90 kg. Em seguida os acréscimos foram de 5 kg de massa, obtidos pela adição de 5 sacos de 1 kg até atingir a massa de 105 kg.

Após, os acréscimos foram realizados de 1,0 kg até atingir 108 kg, de 0,5 kg até alcançar a massa de 109,5 kg, e de 0,1 kg até a massa final de 110 kg, equivalente a 62,5 mm de água sobre a superfície do lisímetro (1,76 m²). A retirada dos sacos de areia obedeceu a sequência inversa até a descarga completa, obtendo-se assim, 47 pares ordenados (mV, kg) para a confecção da curva de calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de calibração do lisímetro de pesagem encontram-se na Figura 3. A linearidade obtida entre as variações de massa e a voltagem foi excelente. A resposta da balança às massas-padrão aplicadas durante o procedimento de carga e descarga foi linear, com um coeficiente de determinação (r^2) de 0,9999. O erro padrão de estimativa da regressão linear foi de 0,06 kg, correspondendo a uma lâmina d'água de 0,03 mm.

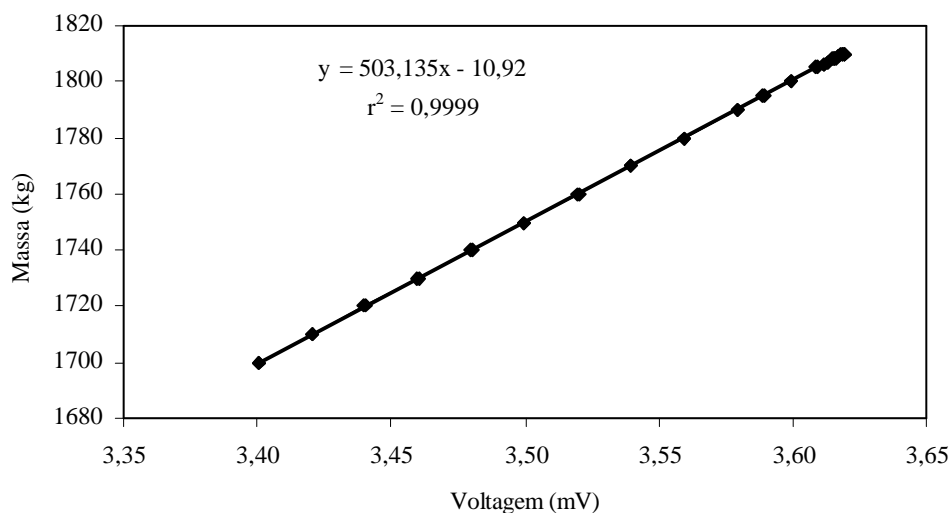


Figura 3. Curva de calibração do sistema de pesagem

As variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento variaram durante o período de calibração do lisímetro de pesagem (Tabela 1). Porém, as mesmas não influenciaram a calibração, o que pode ser verificado pelo alto coeficiente de determinação (r^2) obtido. Campeche (2002) cita que foram frustradas as tentativas de calibração de um lisímetro de pesagem com velocidade do vento superiores a $1,5 \text{ m s}^{-1}$, ocorrendo alta histerese.

Tabela 1. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento durante o período de calibração do lisímetro de pesagem na Fazenda Capivari, município de Governador Mangabeira, Bahia

Hora	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s^{-1})
04:00	24,0	92,0	0,0
05:00	23,9	92,5	0,0
06:00	24,2	88,5	0,0
07:00	24,0	88,0	0,4
08:00	26,6	71,0	0,5
09:00	27,7	64,5	0,7

A elevada precisão obtida na determinação das variações de massa na calibração deste lisímetro de pesagem foi semelhante a diversas outras calibrações encontradas na literatura. Howell et al. (1985) obteve precisão de 0,02 mm na calibração de um lisímetro de pesagem com área de superfície de 4 m^2 . Miranda et al. (1999) calibrando um lisímetro de pesagem com área de $2,20 \text{ m}^2$,

apoiado sobre balança eletrônica de precisão, encontrou um erro-padrão equivalente a 0,6 mm de lâmina de água.

Payero & Irmak (2008) calibrando 2 lisímetros de pesagem com área de 2,31 m², encontraram pequena histerese entre o ciclo de carregamento e descarregamento, a qual foi atribuída à falta de controle da evaporação durante a calibração. O erro máximo combinado encontrado nos lisímetros foi de 0,128 mm e 0,156 mm, sendo adequado para a medição diária da evapotranspiração.

Mendonça et al. (2007), obtiveram precisão de 0,09 mm com um lisímetro de pesagem de 6 m². Faria et al. (2006) ao calibrar uma bateria de 10 lisímetros de pesagem com área de 2,66 m² cada e apoiados sobre balança de redução de peso e com uma célula de carga, obteve erro-padrão variando entre 0,07 mm e 0,42 mm.

No entanto, para a utilização confiável dos dados gerados pelo sistema de pesagem, necessita-se de uma análise minuciosa dos dados obtidos durante o processo de calibração, o que não pode ser visualizado apenas pela análise de regressão linear.

Na Tabela 2, encontram-se os dados obtidos nos cinco ciclos de carregamento e descarregamento para a calibração do lisímetro de pesagem, com os desvios calculados pela diferença entre a massa aplicada e a leitura do “datalogger” e os erros de repetibilidade.

O erro de repetibilidade encontrado foi de 0,20 kg, o que representa um percentual de 0,18% do final de escala (FE). Santos et al. (2006) encontraram um erro percentual de 0,12% do FE. Martin et al. (2001), aplicando teste semelhante (sem intervalo entre as leituras), obtiveram um erro de 0,26 kg (0,58% FE); posteriormente, repetindo o mesmo teste com intervalo de 1 minuto entre as leituras, verificaram que o erro de repetibilidade reduziu para 0,12 kg (0,27% FE).

Para a obtenção do erro de histerese calcularam-se as diferenças computadas pelo dispositivo entre cada ciclo de carregamento e descarregamento para uma dada massa aplicada. O erro de histerese encontrado foi de 0,30 kg, aplicando-se uma massa de 40 kg, representando 0,27% do FE (Tabela 3). Silva et al. (1999) analisando o funcionamento de um lisímetro de pesagem com área de 1,02 m², verificou que não ocorreu histerese entre as séries de acréscimo e decréscimo de peso.

Tabela 2. Desvios e erros de repetibilidade por ciclo de carregamento e descarregamento na calibração do sistema de pesagem na Fazenda Capivari, município de Governador Mangabeira, Bahia

Massa aplicada (kg)	Desvios (kg)					Erros de repetibilidade (kg)
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	
0,00	0,14	0,04	0,09	0,09	0,09	0,10
10,00	0,06	-0,05	0,00	0,11	0,11	0,16
20,00	0,12	0,07	-0,08	-0,03	0,12	0,20
30,00	0,13	-0,02	0,18	0,11	0,18	0,20
40,00	0,14	0,04	0,19	0,19	0,09	0,15
50,00	0,00	-0,10	-0,05	0,10	0,05	0,20
60,00	-0,03	0,12	0,07	-0,06	0,12	0,18
70,00	0,13	-0,07	-0,02	-0,02	0,08	0,20
80,00	-0,03	0,07	-0,06	0,04	0,14	0,20
90,00	-0,10	0,10	-0,05	-0,05	-0,10	0,20
95,00	-0,07	-0,02	0,09	0,09	0,03	0,16
100,00	-0,06	0,02	0,12	-0,03	0,12	0,18
105,00	-0,10	-0,10	0,10	0,05	0,10	0,20
106,00	0,05	0,05	-0,05	0,10	0,10	0,15
107,00	-0,04	-0,04	0,01	0,01	0,11	0,15
108,00	-0,14	-0,08	0,02	-0,08	-0,14	0,16
108,50	-0,01	-0,08	-0,11	-0,13	0,07	0,20
109,00	-0,13	-0,08	-0,13	0,02	0,02	0,15
109,50	-0,08	-0,03	0,08	0,08	0,08	0,16
109,60	-0,07	0,13	-0,07	0,03	-0,07	0,20
109,70	0,18	0,08	0,03	0,23	0,23	0,20
109,80	0,18	0,13	0,03	0,18	-0,02	0,20
109,90	-0,02	0,03	0,13	0,13	-0,07	0,20
110,00	0,13	0,08	0,13	0,08	-0,07	0,20
109,90	0,18	0,08	0,03	0,13	0,18	0,15
109,80	0,13	0,03	0,23	0,08	0,13	0,20
109,70	-0,02	-0,07	-0,07	0,08	0,13	0,20
109,60	-0,07	0,08	0,08	0,03	0,03	0,15
109,50	-0,13	0,03	-0,13	-0,03	0,03	0,16
109,00	0,07	-0,13	0,02	-0,08	0,02	0,20
108,50	0,07	-0,03	-0,13	-0,08	0,02	0,20
108,00	0,12	-0,08	0,12	-0,08	0,07	0,20
107,00	-0,14	-0,09	0,06	-0,14	-0,14	0,20
106,00	0,10	0,05	-0,05	0,10	-0,10	0,20
105,00	0,00	-0,10	0,05	0,10	0,00	0,20
100,00	0,07	-0,03	-0,08	0,02	0,07	0,15
95,00	-0,02	-0,07	-0,12	-0,17	0,03	0,20
90,00	-0,10	-0,05	-0,10	-0,05	0,10	0,20
80,00	0,14	0,09	-0,06	0,04	0,04	0,20
70,00	-0,02	0,13	0,08	-0,02	-0,07	0,20
60,00	0,12	-0,08	-0,08	0,07	0,12	0,20
50,00	0,10	-0,05	-0,10	0,05	-0,10	0,20
40,00	-0,01	-0,11	0,04	-0,11	-0,06	0,15
30,00	0,03	-0,12	0,03	-0,17	0,03	0,20
20,00	-0,13	-0,08	-0,03	-0,13	0,07	0,20
10,00	0,06	0,06	-0,10	-0,10	-0,05	0,16
0,00	0,04	0,09	-0,01	-0,11	-0,01	0,20

Tabela 3. Desvios para o cálculo do erro de histerese na calibração do sistema de pesagem na Fazenda Capivari, município de Governador Mangabeira, Bahia

Massa aplicada (kg)	Desvios (kg)				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
0,00	0,10	-0,05	0,10	0,20	0,10
10,00	0,00	-0,10	0,10	0,20	0,15
20,00	0,25	0,15	-0,05	0,10	0,05
30,00	0,10	0,10	0,15	0,28	0,15
40,00	0,15	0,15	0,15	0,30	0,15
50,00	-0,10	-0,05	0,05	0,05	0,15
60,00	-0,15	0,20	0,15	-0,13	0,00
70,00	0,15	-0,20	-0,10	0,00	0,15
80,00	-0,18	-0,03	0,00	0,00	0,10
90,00	0,00	0,15	0,05	0,00	-0,20
95,00	-0,05	0,05	0,20	0,25	0,00
100,00	-0,10	0,05	0,20	-0,05	0,05
105,00	-0,10	0,00	0,05	-0,05	0,10
106,00	-0,05	-0,10	0,00	0,00	0,20
107,00	0,10	0,05	-0,05	0,15	0,25
108,00	-0,25	0,00	-0,10	0,00	-0,20
108,50	-0,08	-0,05	0,03	-0,05	0,05
109,00	-0,20	0,05	-0,15	0,10	0,00
109,50	0,05	-0,05	0,20	0,10	0,05
109,60	0,00	0,05	-0,15	0,00	-0,10
109,70	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10
109,80	0,05	0,10	-0,20	0,10	-0,15
109,90	-0,20	-0,05	0,10	0,00	-0,25

O erro de linearidade do sistema de pesagem corresponde ao desvio máximo encontrado entre os desvios médios das leituras entre as etapas de carregamento e descarregamento e a média do desvio para ambas as etapas, o qual foi de 0,11 kg, ou seja, 0,10% FE (Figura 4). As especificações do fabricante indicam um erro combinado máximo de 0,03% do FE por célula de carga.

Martin et al. (2001), calibrando um sistema de pesagem durante três anos consecutivos também verificaram que o erro de linearidade encontrado foi entre 3 a 5 vezes maior que o especificado pelo fabricante.

O desvio extremo encontrado entre a massa aplicada e a leitura do dispositivo para todos os ciclos de carregamento e descarregamento corresponde ao erro de acurácia do sistema de pesagem, o qual foi de $\pm 0,23$ kg.

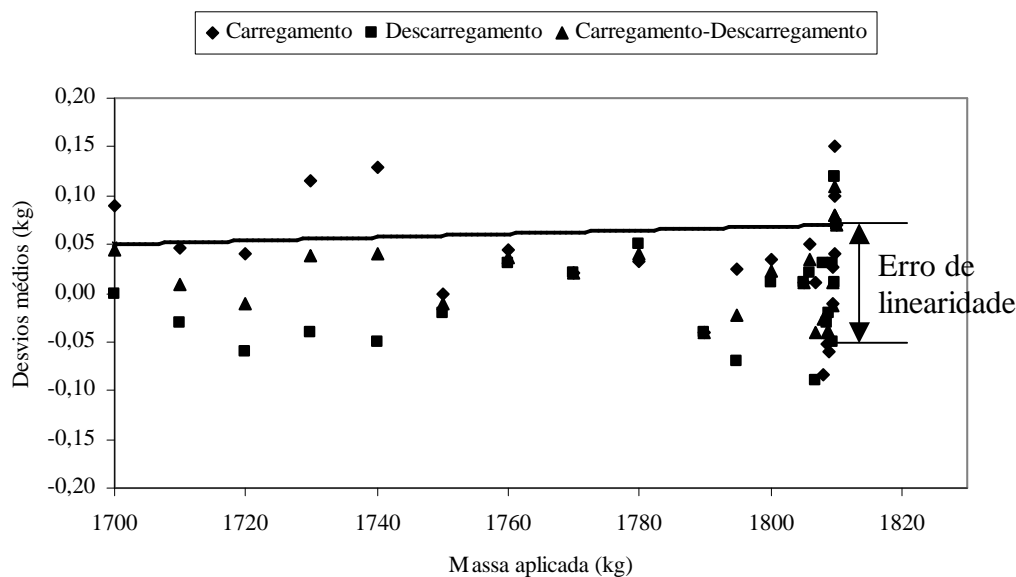


Figura 4. Desvios médios das leituras entre as etapas de carregamento e descarregamento e a média do desvio para ambas as etapas, com indicação do erro de linearidade.

As características técnicas da calibração do sistema de pesagem encontram-se na Tabela 4. Verifica-se que o erro de histerese foi o parâmetro de desempenho que mais contribuiu para a acurácia do sistema, ou seja, o erro de acurácia do sistema ocorreu em função de variáveis que não podem ser controladas. Expressos em milímetros, os erros de repetibilidade, histerese, linearidade e acurácia encontram-se dentro de limites aceitáveis, correspondendo a 0,11; 0,17; 0,06 e 0,13, respectivamente.

Tabela 4. Características técnicas da calibração do sistema de pesagem

Parâmetro de desempenho	Massa (kg)	Percentual (% FE)*	mm
Erro de repetibilidade	0,20	0,18	0,11
Erro de histerese	0,30	0,27	0,17
Erro de linearidade	0,11	0,10	0,06
Acurácia	$\pm 0,23$	$\pm 0,21$	$\pm 0,13$

* Final de escala

Em laboratório, Santos et al. (2006), efetuando a calibração de um sistema de pesagem com capacidade de 60 kg, encontraram erros de desempenho menores. Martin et al. (2001) observaram que à medida que aumentava o número de registros para uma mesma pesagem, os limites de variação reduziam.

O método de calibração adotado no presente trabalho influenciou para o aumento do erro de acurácia. A adoção de leituras médias ao invés de apenas uma leitura, bem como, o aumento do intervalo de tempo entre a colocação e retirada das massas no lisímetro, podem contribuir substancialmente para a redução do erro de acurácia do sistema de pesagem.

Payero & Irmak (2008) verificaram que a resolução de dois lisímetros de pesagem analisados poderia ter sido melhorada significativamente através da escolha de um “datalogger” de melhor resolução. Por outro lado, demonstraram que a resolução pode ser melhorada aumentando-se a área do lisímetro, utilizando-se o mesmo “datalogger”.

A Figura 5 apresenta variação decrescente contínua de massa ocorrida no lisímetro de pesagem entre os dias 10 a 12/01/2007. Esta variação em um lisímetro de pesagem é típica em dias ensolarados e nos quais não ocorrem chuva, irrigação ou drenagem. Verifica-se decréscimo gradual da massa do lisímetro durante o período diurno refletindo a evapotranspiração ocorrida. Pereira (1998) verificou que em torno de 85% da ET_c ocorre durante o período diurno. Durante o período noturno observa-se massa quase constante. A redução da massa registrada no período de 72 horas foi de 11,55 kg, correspondendo a evapotranspiração de uma lâmina de água de 6,6 mm.

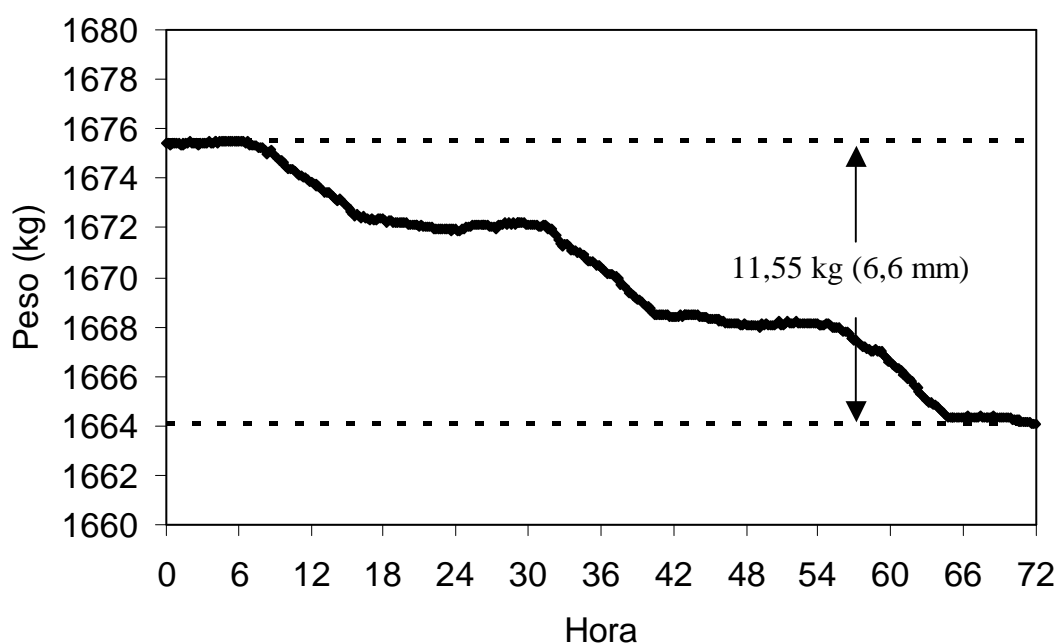


Figura 5. Variação de massa decrescente contínua do lisímetro de pesagem entre os dias 10 e 12/01/2007 em condições típicas de funcionamento.

A Figura 6 apresenta um período em que ocorreram chuvas e foram realizadas drenagens e irrigação (17 a 19/02/2007). Verificam-se ciclos de variação decrescente e crescente de massa no lisímetro de pesagem nos períodos diurno e noturno, ocasionados pelos processos de drenagem, irrigação, chuva e evapotranspiração. A variação de massa ocorrida neste período evidencia a necessidade de se realizar uma análise minuciosa dos dados registrados pelo “datalogger”, evitando-se dados incorretos de evapotranspiração.

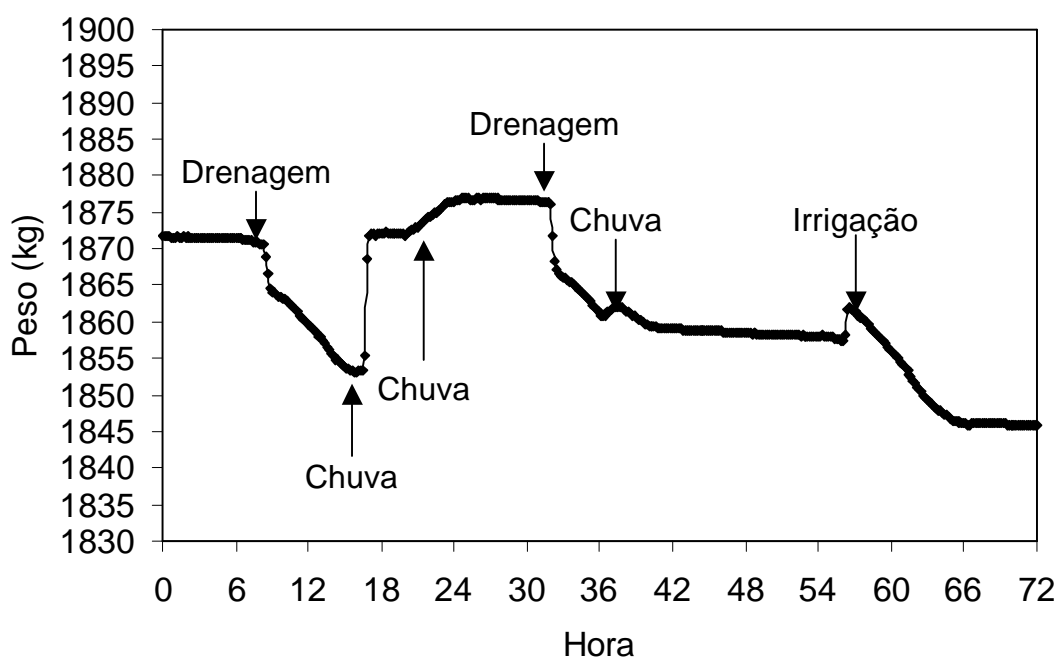


Figura 6. Variação de massa decrescente e crescente do lisímetro de pesagem entre os dias 17 a 19/02/2007 ocasionada pelos processos de drenagem, chuva, irrigação e evapotranspiração.

As variações decrescentes abruptas de massa que ocorreram foram em função de drenagens realizadas as quais foram necessárias devido à elevação do nível do lençol freático como resultado de chuvas ocorridas. As variações crescentes de massa que ocorreram foram em função de chuvas e irrigação.

Estes intervalos devem ser eliminados da análise dos dados para que se tenha coerência nos resultados de evapotranspiração obtidos. A análise minuciosa permitiu verificar que a redução da massa em decorrência da evapotranspiração registrada no período de 72 horas foi de 35,31 kg, correspondendo a uma lâmina de água de 20,1 mm.

Silva et al. (1999) e Faria et al. (2006) chamaram a atenção para os problemas operacionais que podem ocorrer com este sistema em dias com chuva

ou rajadas de vento, podendo tornar questionáveis os valores da evapotranspiração.

O custo da instalação do lisímetro de pesagem foi de R\$ 9.275,00 e encontra-se detalhado na Tabela 5. Este custo inclui somente as despesas de compra e aluguel de materiais e a construção. O custo da mão-de-obra dos pesquisadores não está incluído nesta relação. Payero & Irmak (2008) mencionam que além do custo elevado de implantação, os lisímetros de pesagem podem ter custos significativos na operação e manutenção.

Tabela 5. Custo detalhado da implantação do sistema de pesagem (US\$ 1,00 = R\$ 1,80).

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Custo total (US\$)
Caixa metálica	1	850,00	850,00	472,22
Suporte das células de carga	1	150,00	150,00	83,33
Sapatas da base do lisímetro	4	15,00	60,00	33,33
Paredes de alvenaria externas	1	170,00	170,00	94,44
Fosso para abrigo dos equipamentos	0,33	2.000,00	660,00	366,67
Fosso de inspeção	1	140,00	140,00	77,78
Células de carga	4	522,50	2.090,00	1.161,11
Fiação para células de carga	200	0,44	88,00	48,89
Aluguel de datalogger CR 10 X	1	2.000,00	2.000,00	1.111,11
Software para datalogger CR 10 X	1	1.000,00	1.000,00	555,56
Terminal portátil para datalogger	1	850,00	850,00	472,22
Painel solar	1	500,00	500,00	277,78
Bateria de moto	1	82,00	82,00	45,56
Caixa para datalogger	1	150,00	150,00	83,33
Areia lavada	0,3	30,00	9,00	5,00
Brita nº 1	0,3	70,00	21,00	11,67
Sistema de drenagem	1	80,00	80,00	44,44
Tensiômetros de punção	6	45,00	270,00	150,00
Escavação do solo	4	15,00	60,00	33,33
Peneiramento do solo	2	15,00	30,00	16,67
Reposição do solo do lisímetro	1	15,00	15,00	8,33
Custo total			9.275,00	5.152,78

Embora estes equipamentos sejam precisos e considerados como padrões na aferição de outros métodos, é aconselhável que se realize um diagnóstico detalhado dos dados registrados pelo “datalogger” ao longo de cada dia, confrontando-os com as anotações feitas e com os dados de estação meteorológica automática, evitando-se assim a ocorrência de erros grosseiros na medida da evapotranspiração baseada em lisímetros de pesagem.

CONCLUSÕES

O sistema de lisimetria instalado responde a mudanças pequenas de massa, tornando possível a sua utilização para o estudo da demanda hídrica diária da cultura do fumo tipo Sumatra cultivado em ambiente telado, na Região do Recôncavo do Estado da Bahia.

A regressão linear não deve ser o único parâmetro a ser utilizado para a avaliação da calibração de lisímetros de pesagem. Um coeficiente de determinação (r^2) elevado não representa integralmente a acurácia existente no sistema. O erro padrão de estimativa da regressão linear foi de 0,06 kg, enquanto que, o erro de acurácia do sistema foi de $\pm 0,23$ kg.

O erro de histerese foi o parâmetro de desempenho que mais influenciou na acurácia do sistema. Expressos em milímetros, os erros de repetibilidade, histerese, linearidade e acurácia encontram-se dentro de limites aceitáveis para estudos de demanda hídrica diária, correspondendo a 0,1137; 0,1705; 0,0624 e 0,1307, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda. pelo financiamento desta pesquisa e aos técnicos Carlos Alberto Fernandes Antunes e Luís César Nascimento Pereira pelo auxílio na instalação do sistema de lisimetria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernardo, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 656p.

Campeche, L. F. de S. M. Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.). Piracicaba: ESALQ, 2002. 67p. Tese Doutorado

Coelho Filho, M. A.; Vellame, L. M.; Coelho, E. F.; Souza, C. F. Instalação e operação de sistemas de aquisição e armazenamento de dados para o monitoramento do sistema solo-planta-atmosfera. Cruz das Almas: Embrapa/CNPMPF, 2004. 136p. (Documentos, 143).

Faria, R. T. de; Campeche, F. de S. M.; Chibana, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

Gonçalves Júnior, A. A. Metrologia: parte I. Florianópolis: UFSC, 2004. 129p. Apostila.

Howell, T. A.; McCormick, R. L.; Phene, C. J. Design and installation of large weighing lysimeters. Transactions of the ASAE, St Joseph, v.35, n.4, p.106-117, 1985.

Howell, T. A.; Schneider, A. D.; Dusek, D. A.; Marek, T. H.; Steiner, J. L. Calibration and scale performance of Bushland weighing lysimeters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.38, n.4, p.1019-1024, 1995.

Lordêllo Neto, A. V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo (Kc) da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum*) na região de Cruz das Almas - Ba. Cruz das Almas: UFBA, 1999. 55p. Dissertação Mestrado

Malone, R. W.; Bonta, J. V.; Stewardson, D. J.; Nelsen, T. Error analysis and quality improvement of the Coshocton weighing lysimeters. Transactions of the ASAE, St Joseph, v.43, n.2, p.271-280, 2000.

Martin, E. C.; Oliveira, A. S. de; Folta, A. D.; Pelegow, E. J.; Slack, D. C. Development and testing of a small weighable lysimeters system to assess water use by shallow-rooted crops. Transactions of the ASAE, St Joseph, v.44, n.1, p.71-78, 2001.

Mendonça, J. C.; Sousa, E. F. de; Bernardo, S.; Sugawara, M. T.; Peçanha, A. L.; Gottardo, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Campos dos Goytacazes, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

Miranda, F. R. de; Yoder, R. E.; Souza, F. de. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.1, p.107-110, 1999.

Payero, J. O.; Irmak, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. Irrigation Science, Heidelberg, v.26, n.2, p.191-202, 2008.

Pereira, A. R.; Santiago, A. V.; Maggiotto, S. R.; Folegatti, M. V. Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.10, n.1, p.51-56, 2002.

Pereira, F. A. de C. Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem. Piracicaba: ESALQ, 1998. 87p. Tese Doutorado

Reichardt, K; Timm, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 1.ed. Barueri: Ed. Manole, 2004. 478p.

Santos, R. M.; Oliveira, A. S. de; Vellame, L. M.; Brandão, F. J. C. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.6, p.1162-1169, 2006.

Shukla, S.; Srivastava, S.; Hardin, J. D. Design, construction, and installation of large drainage lysimeters for water quantity and quality studies. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.22, n.4, p.529-540, 2006.

Silva, F. C. da. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 70p. Tese Doutorado

Silva, F. C.; Folegatti, M. V.; Maggiotto, S. R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-58, 1999.

Wheeler, A. J.; Ganji, A. R. *Introduction to engineering experimentation*. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 415 p.

CAPÍTULO 2

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE FUMO (*Nicotiana tabacum* L.) TIPO SUMATRA UTILIZANDO DIMENSÕES LINEARES DO LIMBO FOLIAR ¹

¹ Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Ciência e Agrotecnologia

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE FUMO (*Nicotiana tabacum* L.) TIPO SUMATRA UTILIZANDO DIMENSÕES LINEARES DO LIMBO FOLIAR

RESUMO: Os trabalhos existentes sobre a estimativa da área foliar de fumo (*Nicotiana tabacum* L.) são poucos e específicos para cada tipo ou variedade. O objetivo deste trabalho foi determinar a equação que melhor descreve a relação entre as dimensões lineares (comprimento e largura máxima) e a área da folha do fumo tipo Sumatra, cultivado em ambiente protegido (sob telado), possibilitando a estimativa rápida e não-destrutiva da área foliar (AF), utilizando apenas o comprimento (C), Largura (L), ou ambos. A equação linear simples com a reta passando pela origem e utilizando-se ambas as medidas (C·L), representada pela equação de regressão $AF = 0,6610 \cdot C \cdot L$, é a mais recomendada para a estimativa da área foliar. Além de apresentar o coeficiente de determinação mais elevado ($r^2 = 0,9984$), é de fácil aplicação em função de sua praticidade.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Área de folha, método não-destrutivo, comprimento e largura de folhas, tabaco.

TOBACCO (*Nicotiana tabacum* L.) TYPE SUMATRA LEAF AREA ESTIMATION USING LINEAR LEAF BLADE DIMENSIONS

ABSTRACT: Reports on leaf area estimation in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) are few and specific for each type or variety. The objective of this work was to determine an equation that best describe the relationship among the linear dimensions (length and maximum width) and the leaf area (LA) of tobacco, type Sumatra, cultivated in protected environment (shade grown), allowing fast and non-destructive estimation of the leaf area just using the length (L), the maximum width (W), or both. The best equation to estimate the leaf area is the simple linear equation with the linear coefficient equal to zero and using both measurements (L·W), represented by the regression equation $LA = 0,6610 \cdot L \cdot W$. It has the highest determination coefficient ($r^2 = 0,9984$), and it is simple and practical to use.

INDEX TERMS: Leaf area, non-destructive method, leaf length and width, tobacco.

INTRODUÇÃO

Na região do Recôncavo do Estado da Bahia, Brasil, a cultura fumageira destaca-se pela sua importância econômica e social. O fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, utilizado para a produção de folhas destinadas ao capeamento de charutos e cigarrilhas, possui alto valor agregado. Em 2004, o fumo e seus derivados participaram com 1% do valor das exportações do agronegócio baiano, correspondendo a US\$ 16,9 milhões, ocupando apenas 0,3% da área cultivada no referido Estado. Por seu impacto social, a cultura do fumo é considerada um fator de promoção humana e de manutenção do homem no campo, envolvendo cerca de 104 mil pessoas vinculadas direta e indiretamente à atividade (OLIVEIRA, 2006).

Considerando-se a importância da cultura na região citada, aliado à falta de pesquisa neste setor, são necessários estudos mais aprofundados sobre o crescimento, espaçamento, exigência nutricional, necessidade hídrica, tratamentos culturais, controle fitossanitário, além de outros. Na avaliação da maioria destes parâmetros, o conhecimento da área foliar é de suma importância por estar estreitamente ligada aos mesmos.

Segundo Sficas & Antoniou (1989), uma característica mensurável muito importante no crescimento das plantas é a variação da área foliar, e no fumo, a mesma possui correlação significativa com a produtividade. Nesta cultura o produto comercial é formado exclusivamente pelas folhas, sendo importante não somente a maximização da produtividade, mas também um crescimento vegetativo equilibrado para a obtenção de matéria prima de alta qualidade (BOZHINOVA, 2006).

O tamanho e a forma das folhas de fumo podem ser importantes indicadores de qualidade ou valor, tendo-se como exemplos o tipo oriental (tamanho) e as variedades de fumo para capa de charuto (forma). Nos tipos de fumo pertencentes à espécie *Nicotiana tabacum* L. o formato das folhas geralmente é oval a oblongo-lanceolado e a depender da variedade, o seu comprimento varia de 3 cm a 100 cm (TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL, 2000).

Existem diversos métodos para a medição da área foliar das plantas, sendo classificados em destrutivos ou de laboratório e não-destrutivos ou de campo. Os

métodos destrutivos possuem grandes limitações quando o número de amostras é pequeno e quando existe a necessidade de se realizar novas medidas ou observar outras características ao longo do tempo na mesma amostra (ARAÚJO et al., 2005).

Bianco et al. (2003), citam que o método não-destrutivo é importante por ser preciso, rápido e permitir o acompanhamento do crescimento e expansão da mesma planta até o final de seu ciclo ou experimento. Este monitoramento ao longo do período vegetativo é de grande importância no melhoramento genético (BOZHINOVA, 2006). Pela sua facilidade, um dos métodos não-destrutivos mais usados é o que utiliza o comprimento ao longo da nervura principal das folhas, a sua largura máxima e as relações entre essas medidas (BANGE et al., 2000; NASCIMENTO et al., 2002).

Para possibilitar a sua aplicação este método necessita de um fator de correção, que Silva et al. (2002) o chamaram de fator de ajuste, o qual multiplicado pelas variáveis geométricas comprimento e largura máxima da folha, permite obter a área foliar correspondente ao formato geométrico da amostra em estudo. O fator de ajuste é denominado por alguns autores como fator de correção (ARAÚJO et al., 2005), fator de forma (MONTEIRO et al., 2005) ou coeficiente de correção (MIELKE et al., 1995; BOZHINOVA, 2006).

Diversos autores estimaram a área foliar em inúmeras espécies cultivadas, essências florestais e plantas daninhas pelo método não-destrutivo de equações de regressão entre a área foliar real e dimensões lineares das folhas: uvalheira, araçazeiro, goiabeira serrana e pitangueira (MIELKE et al., 1995), açazeiro (NOGUEIRA & CONCEIÇÃO, 2000), milho (GERALDO et al., 2000), girassol (BANGE et al., 2000), gergelim (SILVA et al., 2002), videira (GONÇALVES et al., 2002), *Typha latifolia* (BIANCO et al., 2003), meloeiro (ANDRIOLO et al., 2003), tomate e pepino (BLANCO & FOLEGATTI, 2003); algodoeiro (MONTEIRO et al., 2005) e mangueira (ARAÚJO et al., 2005).

Na cultura do fumo, os estudos sobre estimativa da área foliar pelas dimensões lineares são poucos e específicos para cada tipo de fumo, e muitas vezes, para cada variedade. Tipo é denominado um grupo de variedades com método de secagem, substâncias químicas gerais, propriedades de uso e características próprias de fumar (por exemplo, Virgínia, Oriental, Burley, etc.); enquanto que, variedade caracteriza um indivíduo ou grupo dentro de uma

espécie que difere das demais em algumas características (por exemplo, número de folhas, resistência a doenças, etc.) capazes de perpetuação (TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL, 2000).

Para o tipo Virgínia (Flue-Cured), Suggs et al. (1960) determinaram o fator 0,6345 a ser multiplicado pelo comprimento e largura das folhas. Este fator ainda vem sendo utilizado, conforme Berbec & Laskowska (2005). Para o fumo tipo Oriental, caracterizado por possuir folhas muito pequenas, Tejwani et al. (1957) encontraram o fator 0,66, o qual foi posteriormente usado por Comber (1981). No entanto, Korubin-Aleksoska & Mitreski (1998) utilizaram o fator 0,6345 nas pesquisas com fumo tipo Oriental, o qual originariamente foi determinado para fumo tipo Virgínia.

Torrecilla et al. (1987) encontraram o fator 0,7010 para uma variedade específica de fumo tipo Burley. No entanto, Bozhinova (2006) alerta para o risco de se utilizar fatores encontrados na literatura para o fumo tipo Burley. Determinando os coeficientes para mensuração da área foliar em três variedades de fumo tipo Burley cultivados na Bulgária, o autor concluiu que era necessário um fator diferenciado para cada variedade, os quais variaram entre 0,66 e 0,71, evitando-se assim, erros de até 10% na estimativa.

Por não terem sido encontradas referências na literatura quanto ao fator de ajuste "f" a ser aplicado ao fumo tipo Sumatra para a obtenção da área foliar através da medição de suas dimensões, o objetivo do presente trabalho foi determinar o fator de ajuste a ser multiplicado pelas dimensões lineares individuais (comprimento ou largura máxima) ou pelo produto entre as mesmas, possibilitando a determinação da área foliar por um método não-destrutivo e de forma rápida e eficiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 300 folhas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, cultivado sob tela com sombreamento de 30% em área de cultivo comercial, localizada no município de Governador Mangabeira, Bahia, nas coordenadas geográficas 12° 37' S e 39° 03' W e altitude de 220 m em relação ao nível do mar.

Coletou-se folhas com diferentes tamanhos e em plantas com estádios de desenvolvimento distintos, desde que as mesmas apresentassem limbo foliar

intacto, sem deformações oriundas de fatores externos, como pragas, doenças ou danos mecânicos. As coletas foram realizadas do início do mês de janeiro ao final do mês de março de 2007, contemplando todo o ciclo de cultivo comercial do fumo. Em cada coleta retirou-se de 10 a 20 folhas, as quais foram levadas ao laboratório para a determinação do comprimento do limbo foliar ao longo da nervura principal (C) e da largura máxima (L) perpendicularmente à nervura principal, utilizando-se régua de 50 cm.

A área foliar real (Afr) foi obtida pela digitalização das folhas e a medição por meio do programa computacional "Leaf Area Program" (THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD, 2007). Utilizou-se um escaner de mesa, configurado para uma leitura em 300 dpi, preto e branco, sem ajuste de escala.

O programa computacional requereu calibração, realizada por meio da digitalização de três figuras geométricas (círculo, quadrado e retângulo) de área conhecida. As dimensões geométricas das figuras foram realizadas com paquímetro digital (modelo Digimatic Caliper MIP/E-103, Mitutoyo), com resolução de 0,01 mm. Com base nas dimensões geométricas, obteve-se as áreas do círculo (67,6664 cm²), quadrado (56,4713 cm²), e do retângulo (97,6560 cm²).

Foram realizadas 10 leituras para cada figura geométrica. Posteriormente, realizou-se o mesmo número de leituras com o conjunto das três figuras. Em todos os procedimentos de leitura, verificou-se que o erro médio foi inferior a 0,50%. Considerando-se que a forma da folha não obedece a um padrão geométrico definido, optou-se pela utilização do conjunto das três figuras para a determinação do fator de calibração. Obteve-se um fator de calibração de 0,98057 para o programa computacional, com um erro médio de 0,1529% e desvio padrão de 0,4093 cm².

As folhas de fumo com tamanho superior ao campo de leitura do escaner, foram cortadas e cada parte digitalizada individualmente, sendo a área total o somatório das áreas individuais. Cada folha ou parte dela foram digitalizadas por cinco vezes, obtendo-se a área foliar em cm². Objetivando minimizar o erro médio da estimativa da área foliar, assumiu-se como área foliar real (Afr), a média da área foliar gerada pelas cinco leituras do programa computacional.

O fator de ajuste "f" foi determinado por meio da análise de regressão linear entre a área foliar real (Afr) da amostra de folhas e as dimensões lineares individuais de comprimento (C) ou largura máxima (L), ou pelo produto entre as

mesmas (C·L). A equação ajustada ao conjunto de dados foi do tipo $y = b \cdot x$, em que “b” corresponde ao fator de ajuste “f”.

A área foliar (AF) pode então ser obtida pela multiplicação entre o fator de ajuste “f” e as dimensões lineares individuais ou pelo produto entre as mesmas (equações 1, 2 e 3).

$$AF = f \cdot C \quad (1)$$

$$AF = f \cdot L \quad (2)$$

$$AF = f \cdot C \cdot L \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa computacional “Leaf Area Program” apresentou bom desempenho na estimativa da área foliar real (Afr) das folhas de fumo. No total foram realizadas 3.010 digitalizações para as 300 folhas de fumo analisadas, sendo encontrado um desvio padrão médio de 0,0786 cm², desvio padrão máximo de 0,4444 cm² e desvio padrão mínimo de 0,0501 cm². Por meio de digitalizações freqüentes das figuras geométricas de área conhecida, pôde-se verificar que não ocorreram modificações nos padrões de leitura do programa durante o período de avaliações, comprovando a estabilidade da calibração realizada.

Apesar de ser um método trabalhoso e demorado, o programa computacional “Leaf Area Program” mostrou-se eficiente na estimativa da área foliar, podendo ser usado com confiabilidade na ausência de medidores automáticos ou eletrônicos de área foliar, que geralmente possuem um custo de aquisição elevado. A Figura 1 apresenta uma representação da tela do software com a imagem digitalizada de uma folha de fumo e os comandos para efetuar a medição da área foliar.

Mediante os resultados das análises de regressão realizadas, observou-se maiores coeficientes de determinação para as regressões lineares entre a área foliar real (Afr) e o produto do comprimento (C) pela largura (L) do limbo foliar das folhas de fumo, caracterizando serem as equações que permitem estimativas mais precisas da área foliar (Tabela 1). Porém, todas as análises de regressão foram estatisticamente significativas pelo teste F, para $p = 0,01$, e com elevados coeficientes de determinação (r^2).

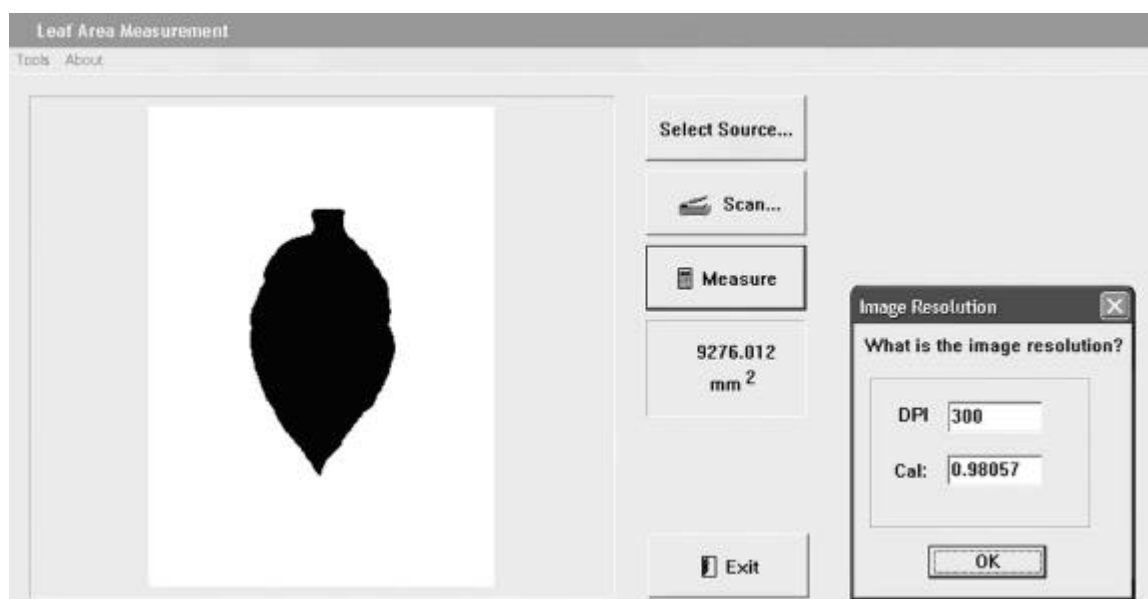


Figura 1. Representação de tela do software com a imagem digitalizada de uma folha de fumo e os comandos para efetuar a medição da área foliar.

Tabela 1. Análise de variância da regressão linear entre a área foliar real (variável dependente) e as dimensões lineares do limbo foliar de fumo (variável independente).

Dimensões ^{1/}	GL	S.Q. Resíduo	F	Equação de regressão	Coefficiente de determinação (r ²)
C	298	1.325.857,33	*	27,4469C - 444,5145	0,9315
L	298	1.373.376,54	*	46,4263L - 448,1334	0,9290
C·L	298	227.599,12	*	0,6600CL + 1,1266	0,9882
C·L (0,0)	299	227.651,81	*	0,6610CL	0,9984

^{1/} Medidas lineares das folhas: Comprimento (C) e largura (L)

* Significativo para $p = 0,01$.

Dentre todas as equações, a equação linear com o ajuste da reta passando pela origem foi a que apresentou maior coeficiente de determinação ($r^2 = 0,9984$), caracterizando que 99,84% da variabilidade existente nos dados encontrados da área foliar pode ser explicada pela regressão linear. Em contrapartida, a equação linear entre a área foliar real (Afr) e a dimensão linear largura (L) da folha, foi a de menor desempenho quando comparado com as demais equações, entretanto, a mesma apresentou um coeficiente de determinação elevado ($r^2 = 0,9290$).

A equação linear com o ajuste da reta passando pela origem é a mais recomendada para a estimativa da área foliar quando se necessita maior precisão, pois além de apresentar o coeficiente de determinação mais elevado (r^2

= 0,9984), não alterar a soma de quadrados do resíduo expressivamente, é de fácil aplicação em função de sua praticidade. Para Bange et al. (2000), o método a ser utilizado na estimativa da área foliar (uma ou duas dimensões lineares) depende do tempo disponível para se realizar as medições e do nível de precisão desejado.

Diversos autores também encontraram melhores ajustes nas equações de regressão quando relacionaram a área foliar real com o produto entre o comprimento e a máxima largura das folhas estudadas, a exemplo de: uvalheira, araçazeiro, goiabeira serrana e pitangueira (MIELKE et al., 1995); girassol (BANGE et al., 2000); gergelim (SILVA et al., 2002); *Typha latifolia* (BIANCO et al., 2003); mangueira (ARAÚJO et al., 2005) e fumo tipo Burley (BOZHINOVA, 2006).

A estimativa da área foliar das folhas de fumo, cultivado na Região do Recôncavo do Estado da Bahia, pode ser obtida por meio da equação $AF = 0,6610 \cdot C \cdot L$, caracterizando que a área foliar pode ser estimada por 66,10% do produto entre o comprimento e a máxima largura das folhas (Figura 2).

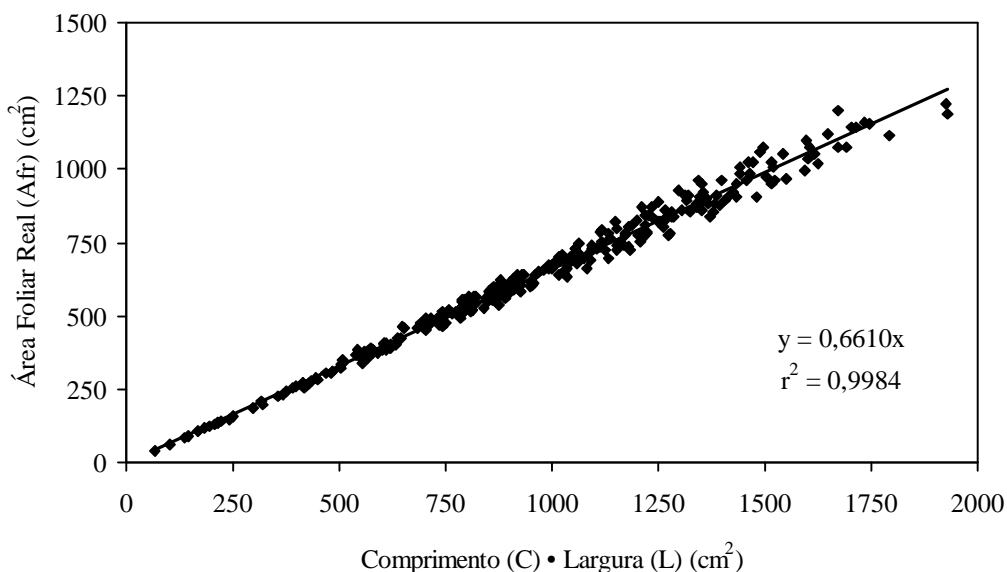


Figura 2. Regressão linear entre a área foliar real (Afr) e o produto do comprimento (C) pela largura máxima (L), do fumo tipo Sumatra, indicada para estimativa da área foliar.

Quanto ao tamanho das folhas de fumo, a área foliar variou de 40,36 a 1223,43 cm², com valores médios de 631,20 cm². O comprimento encontrado

variou de 12,0 a 58,0 cm, com valores médios de 39,19 cm. A largura máxima variou de 5,5 a 34,5 cm, com valores médios de 23,25 cm. Na Tabela 2 encontra-se a distribuição percentual de 300 limbos foliares de fumo em relação às faixas de área apresentadas (cm²). Observou-se que 72,7% das folhas analisadas situaram-se entre 400,01 a 1000,00 cm², evidenciando que as folhas de fumo tipo Sumatra caracterizam-se por possuírem grandes áreas foliares.

Tabela 2. Distribuição percentual de 300 limbos foliares de fumo tipo Sumatra em relação às faixas de área foliar (cm²).

Tamanho (cm ²)	(%)
(0,00 – 200,00)	5,6
(200,01 – 400,00)	13,7
(400,01 – 600,00)	27,7
(600,01 – 800,00)	26,0
(800,01 – 1000,00)	19,0
(1000,01 – 1200,00)	7,7
(1200,01 – 1400,00)	0,3

Verificou-se que não ocorreu variabilidade significativa do fator de ajuste “f” ao longo do ciclo comercial de cultivo do fumo, tornando-se desnecessário a obtenção de um fator de ajuste para cada fase do ciclo da cultura. Observou-se a mesma tendência quanto à posição de inserção das folhas na planta (terço inferior, mediano e superior), sendo o formato da folha, o elemento condicionante da variabilidade do fator de ajuste “f”.

Bozhinova (2006), determinando os coeficientes para mensuração da área foliar em três variedades de fumo tipo Burley, verificou que era necessário um fator de ajuste diferenciado para cada variedade. Para duas variedades não houve a necessidade de se ajustar um fator para distintas posições das folhas na planta, sendo possível a utilização de um único fator. Porém, para uma variedade específica de fumo tipo Burley (Burley 1317), houve a necessidade de se ajustar um coeficiente para cada posição das folhas na planta.

Para a obtenção de uma maior precisão na estimativa da área foliar na cultura do fumo, recomenda-se a determinação de um fator de ajuste específico

para cada tipo e variedade, sendo às vezes necessário a utilização de um fator para uma região de cultivo específica.

CONCLUSÕES

As estimativas que utilizaram o produto do comprimento pela largura máxima das folhas apresentam maior precisão na determinação da área foliar do fumo tipo Sumatra em relação àquelas que utilizaram apenas as dimensões lineares individuais de comprimento ou largura máxima.

Para o fumo tipo Sumatra não foi necessário a obtenção de um fator de ajuste para as distintas fases de desenvolvimento da cultura ou da posição de inserção das folhas na planta.

A área foliar das folhas de fumo tipo Sumatra, cultivado na Região do Recôncavo Baiano, pode ser estimada a campo por um método não-destrutivo, aplicando-se a equação $AF = 0,6610 \cdot C \cdot L$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda. pelo financiamento parcial desta pesquisa e aos técnicos Carlos Alberto Fernandes Antunes e Luís César Nascimento Pereira pelo auxílio na medição das folhas de fumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J. L.; LANZANOVA, M. E.; WITTER, M. Produtividade de frutos de meloeiro cultivado em substrato com três soluções nutritivas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p.478-481, 2003.

ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P. dos; PRADO, C. H. B. de A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 308-309, 2005.

BANGE, M. P.; HAMMER, G. L.; MILROY, S. P.; RICKERT, K. G. Improving estimates of individual leaf area of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 761-765, 2000.

BERCEC, A.; LASKOWSKA, D. Investigations of isogenomic alloplasmics of Flue-Cured tobacco *Nicotiana tabacum* cv. Wislica. **Beiträge zur Tabakforschung International**, Berlin, v.21, n.5, p.258-263, 2005.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p. 257-261, 2003.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p.666-669, 2003.

BOZHINOVA, R. P. Coefficients for determination of the leaf area in three Burley tobacco varieties. **Journal of Central European Agriculture**, Zagreb, v.7, n.1, p. 7-12, 2006.

COMBER, R. The effect of water supply on the growth of Izmir, Palotina and Amarelinho tobaccos. **Beiträge zur Tabakforschung International**, Berlin, v.11, n.2, p.99-105, 1981.

GERALDO, J.; ROSSIELLO, R. O. P.; ARAÚJO, A. P.; PIMENTEL, C. Diferenças em crescimento e produção de grãos entre quatro cultivares de milho pérola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1367-1376, 2000.

GONÇALVES, C. A. A. Estimativa da área foliar da videira (*Vitis labrusca* L. cv. folha de figo) sobre diferentes porta-enxertos. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.26, n.3, p.500-504, 2002.

KORUBIN-ALEKSOSKA, A.; MITRESKI, M. Inheritance morphological characteristics in tobacco varieties & diallel crosses. In: Cooperative Centre for Scientific Research Relative to Tobacco Congress, 1998, Brighton. Resumos... Brighton: CORESTA, 1998, CD Rom.

MIELKE, M. S.; HOFFMANN, A.; ENDRES, L.; FACHINELLO, J. C. Comparação de métodos de laboratório e de campo para a estimativa da área foliar em fruteiras silvestres. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.82-88, 1995.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

NASCIMENTO, I. B.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, J. F. de; SOBRINHO, J. E.; NEGREIROS, M. Z. de. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p.555-558, 2002.

NOGUEIRA, O. L.; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Análise de crescimento de açaizeiros em áreas de várzea do estuário amazônico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2167-2173, 2000.

OLIVEIRA, J. M. C. de. A cultura do fumo na Bahia: refletindo sobre a convenção-quadro. **Bahia Agrícola**, Salvador, v.7, n.2, p.59-65, 2006.

SILVA, L. C.; SANTOS, J. W. dos; VIEIRA D. J.; BELTRÃO, N. E. de M.; ALVES, I.; JERÔNIMO, J. F. Um método simples para se estimar área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.6, n.1, p.491-496, 2002.

SFICAS, A. G.; ANTONIOU, I. C. Growth and development of the main Greek Oriental tobacco cultivars. **Beiträge zur Tabakforschung International**, Berlin, v.14, n.3, p.177-187, 1989.

SUGGS, C. W.; BEEMAN, J. F.; SLINTER, W. E. Physical properties of green Virginia-type tobacco leaves. Part. III. Relation of leaf length and width to leaf area. **Tobacco Science**, New York, v. 4, p.194-197, 1960.

TEJWANI, K. G.; KURUP, C. K. R.; VENKATARAMAN, K. V. Measurements of leaf area of tobacco. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 2, p.36-39, 1957.

THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD. Leaf area program. Disponível em:
<<http://www.shef.ac.uk/~nuocpe/ucpe/leafarea.html>>. Acesso em: 12 jan. 2007.

TOBACCO JOURNAL INTERNATIONAL. **Tobacco Encyclopedia**. Mainz: Ed. Voges, 2000. 279 p.

TORRECILLA, G.; MARI, J. A.; PINO, L. A. Estimation of coefficients for calculating leaf area in Burley tobacco variety KY-17. **Ciencia y tecnica en la agricultura. Tabaco**, Habana, v.9, n.2, p.81-90, 1987.

CAPÍTULO 3

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTIVO DO FUMO (*Nicotiana tabacum* L.) TIPO SUMATRA ¹

¹Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Engenharia Agrícola

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTIVO DO FUMO (*Nicotiana tabacum* L.) TIPO SUMATRA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração (ET_c) e os coeficientes de cultivo (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra cultivado em ambiente protegido (sob telado). A ET_c diária foi determinada utilizando-se um lisímetro de pesagem com 1,76 m² de área superficial. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO e Tanque Classe A. O ciclo da cultura foi de 95 dias e a evapotranspiração total ocorrida durante o ciclo foi de 407 mm, com valores médios diários de 5,1 mm d⁻¹ e valores máximos de 6,14 mm d⁻¹ na fase intermediária (40-60 DAT). O método mais adequado para a obtenção do K_c foi o método de Penman-Monteith FAO. Os coeficientes de cultivo obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO para os diferentes estádios de desenvolvimento, foram: Fase I = 0,34; Fase II = 0,80; Fase III = 1,30; Fase IV = 1,06 e Fase V = 0,99. Os valores de K_c obtidos são discordantes dos K_c's recomendados pela FAO para fumo.

PALAVRAS-CHAVES: necessidade hídrica, irrigação, lisímetro de pesagem.

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS OF TOBACCO (*NICOTIANA TABACUM* L.) TYPE SUMATRA

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the evapotranspiration (ET_c) and the crop coefficients (K_c) for different growth stages of the tobacco culture (*Nicotiana tabacum* L.) type Sumatra, cultivated in protected environment (shade grown). A weighing lysimeter (1,76 m²) was used to determine daily ET_c. The reference evapotranspiration was estimated by Penman-Monteith FAO and Class A pan methods. The total growing season of the culture was 95 days and the total evapotranspiration was 407 mm, with daily average values of 5,1 mm d⁻¹ and maximum values of 6,14 mm d⁻¹ at the intermediate phase (40-60 DAT). The best method to obtain the K_c was the Penman-Monteith FAO method. The crop coefficients obtained by Penman-Monteith FAO method for the different crop phases, were: Phase I = 0,34; Phase II = 0,80; Phase III = 1,30; Phase IV = 1,06 e Phase V = 0,99. The K_c values obtained are in disagreement with the K_c values recommended by FAO for tobacco.

KEYWORDS: water requirements, irrigation, weighing lysimeter

INTRODUÇÃO

O Recôncavo é a principal área produtora de fumo em folha do Estado da Bahia, respondendo por 44% da produção estadual. O fumo constitui-se em uma das principais atividades agrícolas desta região, proporcionando aos produtores faturamento bruto anual superior a R\$ 16 milhões (NORDESTE, 2007).

Com freqüência verifica-se redução na produção baiana de fumo em decorrência de adversidades climáticas, principalmente em função de estiagens. No ano de 1997, houve quebra de 60% na produção provocada pela seca de El Niño (SAFRA..., 1998). Em 2001, problemas climáticos motivaram quebra estimada em até 60% (A PRODUÇÃO, 2002). Novamente em 2004 houve escassez de chuva em alguns momentos do desenvolvimento das plantações, ficando o seu desempenho atrelado basicamente ao comportamento do clima (PRODUÇÃO, 2004).

A produtividade média da cultura do fumo na Bahia é muito baixa quando comparada com outras regiões do Brasil. Em 2005, a produtividade baiana ficou em 931 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA, 2006). No Rio Grande do Sul a média histórica é de 2.000 kg ha⁻¹ (PRODUÇÃO, 2005). Em experimento realizado com o tipo Brasil-Bahia irrigado no período de inverno, obteve-se uma produtividade de 1.750 kg ha⁻¹ em Cruz das Almas (LORDÉLLO NETO, 1999).

CAKIR & CEBI (2006) estudando diferentes regimes de irrigação em fumo tipo Virgínia durante 3 anos consecutivos, verificaram que todos os parâmetros vegetativos e também o processo de acúmulo de massa seca foram significativamente afetados pela falta de água no perfil do solo nos primeiros estágios de desenvolvimento.

MARCHETTI et al. (2006) alcançaram produtividade acima das mencionadas na literatura com o fumo tipo Virgínia o que foi obtido prevenindo-se o stress hídrico através de irrigações, as quais foram realizadas toda vez que a depleção da umidade do solo atingia 50% em relação à capacidade de campo. Este critério também foi adotado por CAKIR & CEBI (2006), enquanto que, MOUSTAKAS & NTZANIS (2005) consideraram uma depleção de 40% da umidade do solo para o mesmo tipo de fumo.

Segundo KARAIVAZOGLU et al. (2006) a resposta da planta de fumo ao cloro presente na água de irrigação varia de acordo com o tipo de fumo, cultivar,

método de adubação, cultivo e colheita. Em fumo do tipo Oriental, os níveis ótimos de cloro na água de irrigação para que não ocorra prejuízo à qualidade das folhas encontram-se abaixo de 20 mg L⁻¹. FLOWER (1999) cita que concentrações superiores a 1% de cloro nas folhas podem gerar fumo de baixa qualidade.

A irrigação é, portanto, uma opção viável para o aumento da produtividade do fumo nesta região, sendo que, para o manejo correto da mesma são necessárias informações referentes à necessidade hídrica da cultura. Segundo BERNARDO (1995) a evapotranspiração (ET) varia de acordo com a cultura, sendo atribuído em parte à arquitetura foliar, em parte às características das folhas e em parte à duração do ciclo e da época de cultivo.

A estimativa da evapotranspiração da cultura tem aplicação prática na programação de irrigações, elaboração de modelos de rendimento das culturas em relação ao consumo de água e no planejamento e manejo de projetos de irrigação (WRIGHT, 1991).

REICHARDT & TIMM (2004) definem a evapotranspiração da cultura (ET_c) como sendo a máxima perda de água de uma determinada cultura em dado estágio de desenvolvimento quando não há restrição de água, enquanto que, a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) é aceita como um elemento meteorológico de referência para estudos comparativos de perda de água pela vegetação em diferentes situações e locais.

SILVA et al. (1998), estudando a distribuição de freqüência da ET_o para a região de Cruz das Almas, BA, visando ao dimensionamento de sistemas de irrigação, encontraram para a cultura do fumo, para um período acumulado de 20 dias e considerando K_c igual a 1,0, probabilidade de 80% de que a ET_c não seja superior a 6,62 mm.d⁻¹.

O coeficiente de cultivo (K_c) relaciona as necessidades hídricas (ET_c) com a evapotranspiração de referência (ET_o) para os diferentes estádios de desenvolvimento das culturas (DOORENBOS e KASSAM, 1994; REICHARDT e TIMM, 2004). O K_c é determinado de forma experimental para inúmeras culturas e em diferentes estádios de desenvolvimento pela relação ET_c/ET_o (REICHARDT e TIMM, 2004).

No fumo, o K_c está linearmente relacionado com a cobertura do dossel até a primeira colheita de folhas. Após, ocorre diminuição na transpiração em

decorrência da maturação das folhas, provocando uma redução mais rápida nos valores do K_c em relação à diminuição da cobertura do dossel (FLOWER, 1999).

Como regra geral, adota-se os seguintes valores de K_c para os diferentes estádios fenológicos do fumo: estágio inicial, 0,3 – 0,4 (10 dias); estágio de desenvolvimento, 0,7 - 0,8 (20 a 30 dias); estágio intermediário, 1,0 – 1,2 (30 a 35 dias); estágio final, 0,9 – 1,0 (30 a 40 dias); e, na colheita, 0,75 – 0,85. A necessidade hídrica varia de 400 a 600 mm (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

ALLEN et al. (1998) recomendam que os valores de K_c e de duração dos estádios fenológicos da cultura em estudo sejam ajustados por meio de experimentos para cada região, de acordo com a variedade plantada, condições climáticas e as técnicas de cultivo utilizadas. PICCINNI et al. (2007) ressaltam a importância do desenvolvimento de K_c 's regionais, principalmente em áreas onde são utilizadas irrigações com elevada eficiência, permitindo assim a aplicação de quantidades precisas de água.

De acordo com REICHARDT & TIMM (2004) o método direto mais comum utilizado para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) é o evapotranspirômetro ou lisímetro, o qual consiste de um tanque enterrado no solo. Quanto ao tipo, SILVA (1996) cita que os lisímetros usualmente são agrupados em pesáveis (lisímetros de pesagem de forma contínua ou intermitente, onde a variação de massa é determinada por um mecanismo de pesagem) e não-pesáveis (lisímetro de drenagem e de lençol freático em nível constante).

Os lisímetros de pesagem constituem-se no meio mais exato para medir continuamente a transferência de água do sistema solo-planta (evapotranspiração) ao longo do período de cultivo (WRIGHT, 1991). Os mesmos determinam a evapotranspiração pelo balanço de massa em intervalos de cerca de 1 h, e em função de sua precisão, são considerados equipamentos-padrão para aferição dos demais métodos (FARIA et al., 2006).

Equipamentos com área menor que 2 m² vem sendo muito utilizados atualmente em pesquisas de evapotranspiração, pois além de serem mais facilmente construídos, os custos também são menores (CAMPECHE, 2002).

Este estudo teve como objetivos determinar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivo do fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, irrigado por gotejamento e cultivado em ambiente telado, para as condições edafoclimáticas da região do Recôncavo do Estado da Bahia, através de lisimetria de pesagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de lisimetria foi instalado na Fazenda Capivari, localizada no km 217 da BR-101, município de Governador Mangabeira, Bahia, 12° 37' Sul e 39° 03' Oeste e 220 m anm, de propriedade da empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda. A construção, instalação e teste do lisímetro ocorreram durante os meses de novembro e dezembro de 2006.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, com relevo plano e o clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por clima de bosque chuvoso quente e úmido, com temperatura média de 25 °C.

A instalação dos equipamentos foi realizada em uma área de cultivo comercial de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), tipo Sumatra, cultivado sob tela preta com 30% de sombreamento. Com o intuito de minimizar o efeito-oásis a área de bordadura foi superior em 60 m a partir do lisímetro em qualquer direção radial. O sistema é composto de um lisímetro de pesagem, tanque classe A, estação meteorológica automática e abrigo para equipamentos (Figura 1).



Figura 1. Vista geral do sistema de lisimetria instalado na Fazenda Capivari sob telado

O lisímetro de pesagem foi construído em aço carbono nas dimensões 1,60 x 1,10 x 0,60 m, totalizando uma área de 1,76 m² de superfície. Para a instalação do lisímetro foi realizada a escavação do solo do local em camadas de 10 cm e armazenado em lona plástica devidamente identificada, após peneiramento para a retirada de torrões que dificultariam a recomposição do solo.

O tanque do lisímetro de pesagem foi instalado em uma caixa construída com paredes de alvenaria e sobre uma estrutura metálica retangular que suportava as células de carga, apoiada em quatro sapatas de concreto. Com o objetivo de facilitar a instalação e o nivelamento do sistema de pesagem, construiu-se duas estruturas metálicas retangulares com viga “U” de 150 mm, entre as quais foram parafusadas as células de carga. Na Figura 2 tem-se um desenho esquemático do lisímetro de pesagem.

O elemento sensível do lisímetro de pesagem constituiu-se de 4 células de carga, modelo Z-1T (Alfa Instrumentos, São Paulo, Brasil), capacidade individual de 1.000 kg com sensibilidade de 2 mV/V e compensação de temperatura. A aquisição dos dados foi feita através de um coletor de dados modelo CR 10 X (Campbell Scientific, Inc., Logan, EUA), programado para coletar os dados a cada 3 segundos e com armazenagem das médias a cada 10 minutos.

A calibração do lisímetro de pesagem em campo foi realizada no dia 30/12/06, de acordo com a metodologia proposta por WHEELER & GANGI (1996). MARTIN et al. (2001) e SANTOS et al. (2006) a utilizaram para análise do funcionamento de sistemas de pesagem.

No fundo do tanque do lisímetro foi instalado o sistema de drenagem, composto por 3 tubos de PVC de 32 mm perfurados, dispostos paralelamente e conectados em forma de garfo. Para monitorar a profundidade da água no interior do lisímetro e detectar possíveis falhas na drenagem, foi conectado um tubo vertical à extremidade de um dos tubos perfurados, o qual emergia até a superfície do tanque.

Os tubos de drenagem foram envoltos em uma manta de poliéster, sobre a qual foi disposta uma camada de cerca de 0,05 m de brita n^o 1, seguida de outra camada de igual espessura de areia lavada. Acima desta camada ocorreu a recomposição do solo do lisímetro em camadas de 10 cm, com leve compactação e na ordem inversa a da escavação.

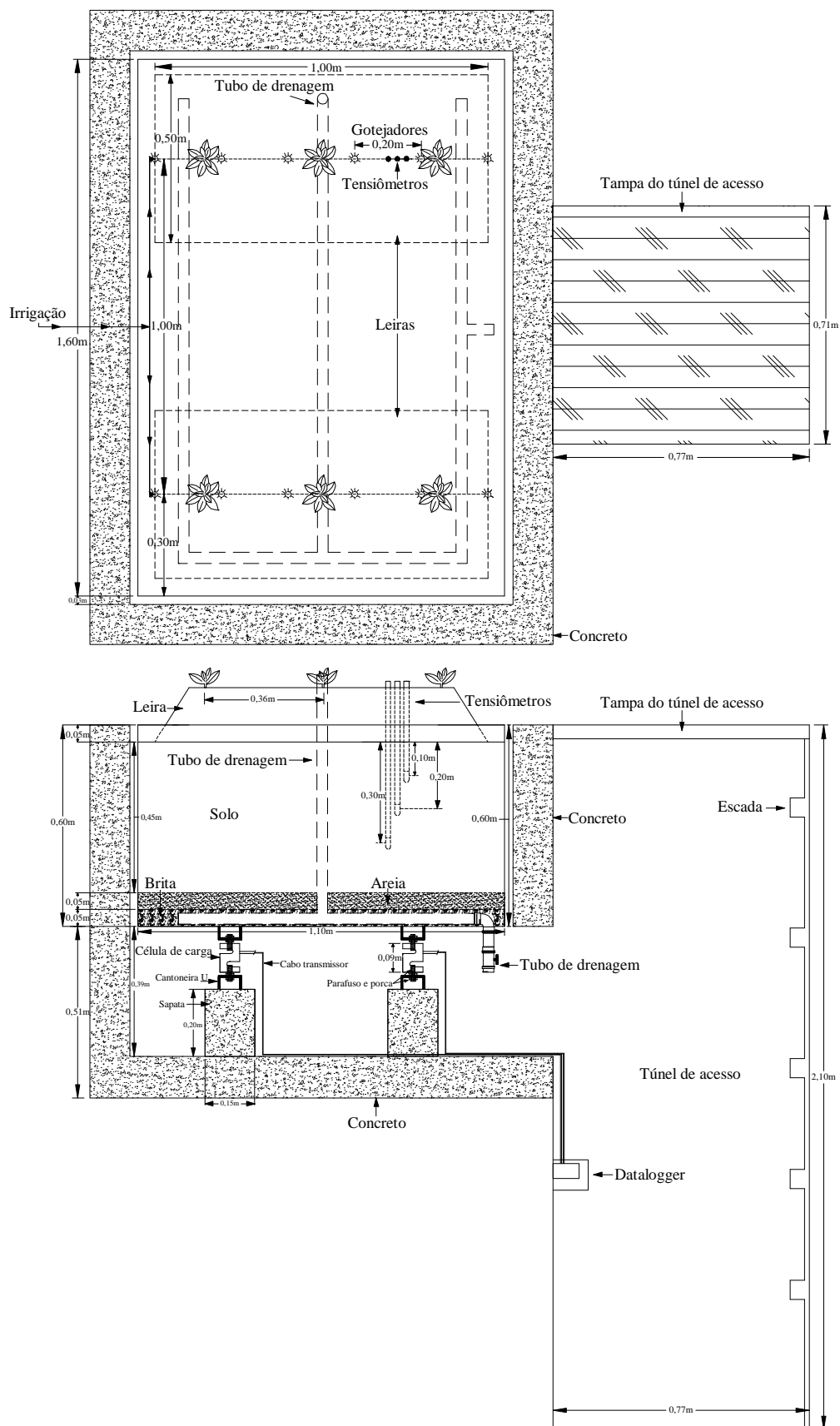


Figura 2. Desenho esquemático do lisímetro de pesagem

Para abrigar os equipamentos de coleta e armazenamento de dados do lisímetro de pesagem foi construído a 3,5 m de distância um abrigo em alvenaria e coberto com telha de fibra de vidro transparente. O mesmo foi construído no sentido contrário ao dos ventos predominantes na região para evitar interferência na evapotranspiração do lisímetro.

Próximo à área de implantação do lisímetro foi instalada uma estação meteorológica portátil automática com sensores de temperatura do ar, temperatura do solo, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento e radiação solar. Os sensores foram conectados a um rádio transmissor com armazenamento dos dados a cada 20 minutos em microcomputador. Esta estação permitiu o monitoramento das condições meteorológicas vigentes no interior da área telada.

Os dados meteorológicos externos foram obtidos pelos registros da estação meteorológica do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (CNPMPF/EMBRAPA), em Cruz das Almas, Bahia, 12° 40'39" Sul e 39° 06'23" Oeste e 225 m anm, distante cerca de 5 km do local de implantação do sistema de lisimetria.

A evapotranspiração de referência (E_{To}) foi estimada aplicando-se o método Penman-Monteith FAO (E_{To} PM) (ALLEN et al., 1998) e através da evaporação do Tanque Classe A (E_{To} TCA), utilizando-se um fator de ajuste do tanque (k_p) de 0,80, de acordo com a recomendação de REICHARDT & TIMM (2004).

O transplântio do fumo a campo foi realizado no dia 26/12/06, no espaçamento de 1,00 m entre fileiras e 0,35 m entre plantas, perfazendo 6 plantas no lisímetro. A colheita iniciou-se aos 57 dias após o transplântio (DAT) e terminou aos 94 DAT, realizando-se 8 colheitas neste período. As adubações e os tratamentos culturais e fitossanitários seguiram as recomendações da empresa Danco Com. e Ind. de Fumos Ltda. para a produção de fumo tipo Sumatra.

A água utilizada na irrigação do experimento possuía teor de cloro abaixo de 20 mg L⁻¹, estando dentro do limite recomendado para a produção de fumo irrigado. A cultura foi irrigada diariamente por gotejamento entre as 6:00 e 8:00 h, com uma linha de gotejadores por fileira de plantas, espaçados de 0,2 m entre si e com vazão média de 1,0 L h⁻¹ para uma pressão de operação de 150 kPa. As fitas gotejadoras permaneceram enterradas no solo a 10 cm de profundidade

durante todo o ciclo da cultura de modo que a superfície do solo permanecia seca após a irrigação.

A irrigação na área do lisímetro foi realizada de forma independente da área de bordadura. A irrigação da área de bordadura obedeceu ao critério adotado pela empresa para a produção comercial de fumo tipo Sumatra irrigado, não podendo ser introduzidas modificações.

No lisímetro de pesagem o volume de água aplicado diariamente foi calculado com base no volume de água evapotranspirado no dia anterior, permitindo assim a reposição diária de água e mantendo-se o potencial da água no solo sempre próximo à capacidade de campo, dado este verificado através de tensiômetros. Em ambos os casos, os critérios adotados não prejudicaram o desenvolvimento das plantas.

A umidade do solo foi monitorada através da instalação de duas baterias com 3 tensiômetros digitais nas profundidades de 10, 20 e 30 cm. Em uma das baterias foi realizada leitura manual diária com tensiômetro digital e na outra foi acoplado um transdutor de pressão conectado a um rádio transmissor, com armazenamento dos dados a cada 15 minutos em microcomputador.

A coleta dos dados foi realizada entre 26/12/07 a 31/03/07, contemplando todo o ciclo de cultivo comercial do fumo. A determinação da ET_c iniciou-se aos 15 DAT e se estendeu até os 94 DAT.

A medição da área foliar iniciou-se aos 20 DAT, até aos 90 DAT, sempre em intervalos de 10 dias, utilizando-se a equação (1).

$$AF = 0,6610 \cdot C \cdot L \quad (1)$$

sendo AF a área foliar em m², C o comprimento ao longo da nervura principal das folhas e L a largura máxima da folha perpendicularmente à nervura principal das folhas.

Com os dados obtidos da evapotranspiração da cultura e de referência, foram calculados os coeficientes de cultivo (K_c) do fumo tipo Sumatra para os diferentes estádios de desenvolvimento, através da razão entre ET_c e ET_o.

Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em cinco estádios de desenvolvimento, ajustando-os ao sistema de cultivo do fumo tipo Sumatra, sendo: fase I - inicial (0,1-0,6 IAF), fase II - desenvolvimento (0,7-5,5 IAF), fase III - intermediário (5,6-9,0 IAF), fase IV - colheita (9,1-6,0 IAF) e fase V - final (menor que 5,9 IAF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações diárias da evapotranspiração do fumo (ETc) medidas no lisímetro de pesagem, da evapotranspiração de referência estimada pelo método Penman-Monteith FAO (ETo PM) e o índice de área foliar (IAF) são mostradas na Figura 3. Observa-se que a ETc permaneceu relativamente baixa nos primeiros 20 dias após o transplante, período no qual o IAF era muito pequeno, sendo que, nesta fase as perdas de água ocorreram principalmente em função da evaporação da água na superfície do solo.

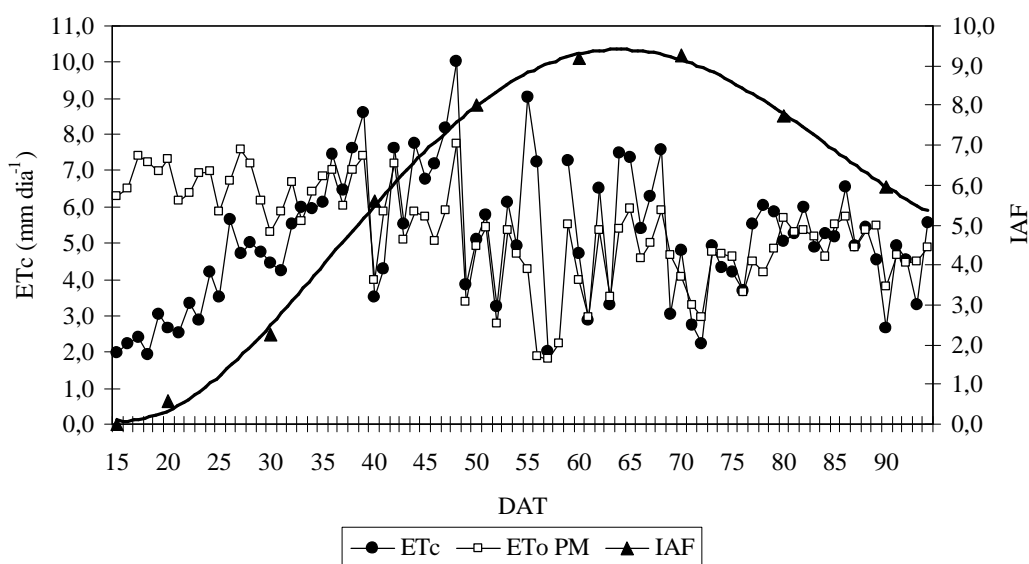


Figura 3. Evapotranspiração da cultura (ETc) obtida por lisímetro de pesagem, evapotranspiração de referência (ETo PM) e índice de área foliar (IAF) do fumo cultivado sob tela de sombreamento em função dos dias após o transplante (DAT)

Ocorreu aumento significativo da evapotranspiração entre o 20^o DAT e o 50^o DAT, coincidindo com o rápido desenvolvimento vegetativo do fumo e atingindo valores em torno de 8 mm d⁻¹ em determinados dias após o 40^o DAT. A média diária da ETc medida pelo lisímetro de pesagem entre o 40^o DAT e o 50^o DAT foi de 6,62 mm d⁻¹, sendo este o maior valor médio decendial obtido durante o ciclo de cultivo, o qual foi de 95 dias.

LORDÉLLO NETO (1999) estudando a necessidade hídrica da cultura do fumo tipo Brasil-Bahia em Cruz das Almas, BA, também verificou que o máximo

consumo de água ocorreu entre o 40° DAT e o 50° DAT, alcançando cerca de 7,0 mm d⁻¹ para um ciclo de cultivo de 98 dias. DOORENBOS & KASSAM (1994) mencionam que o período de máximo consumo de água na cultura do fumo ocorre entre o 50° DAT e o 70° DAT, com ciclo de cultivo estimado em até 120 dias.

Entre o 30° DAT e o 50° DAT o IAF teve um aumento de 5,76, o que representa um incremento de cerca de 0,30 por dia. MARTIN et al. (2007) afirmam que o estágio de crescimento rápido ocorre do período em que as plantas possuem 0,5 m de altura até o início da floração, cerca de 4 a 6 semanas após o transplante, período no qual a água no solo é extremamente importante para a planta, da forma a assegurar um bom desenvolvimento de folhas e melhoria da qualidade e produtividade.

No período compreendido entre o 50° DAT e o 55° DAT houve leve redução na ETc em decorrência de fortes chuvas que ocorreram, reduzindo a demanda hídrica da cultura. Na fase inicial da colheita, entre o 50° DAT e o 70° DAT, apesar de continuar o aumento da área foliar, verifica-se redução nos valores de ETc em consequência da maturação das folhas inferiores da planta. A perda de água pela planta é reduzida quando se inicia a maturação comparada com a fase de rápido desenvolvimento; bem como, a necessidade de água para a expansão das células se reduz quando elas atingem o seu tamanho final (MARTIN et al., 2007).

Em todo o período de colheita, compreendido entre o 60° DAT e o 90° DAT, a evapotranspiração caiu gradativamente, atingindo valores médios em torno de 5 mm d⁻¹. Neste período observa-se também declínio gradativo do IAF em decorrência das colheitas que foram sendo efetuadas.

O máximo IAF ocorreu aos 70 DAT, alcançando 9,24. LORDÉLLO NETO (1999) encontrou IAF máximo de aproximadamente 5,0 aos 63 DAT para o fumo tipo Brasil-Bahia. LOUISAKIS (1994) estudando a necessidade hídrica do fumo tipo Burley obteve IAF máximo de 8,3 aos 73 DAT e 7,5 aos 75 DAT nos anos de 1982 e 1985, respectivamente.

Conforme se pode verificar na Figura 4, foi possível se estabelecer uma equação de regressão para a ETc em função do IAF para a fase vegetativa do fumo na qual ocorreu aumento progressivo do IAF até o mesmo atingir o seu valor

máximo. A equação de regressão obtida foi: $ET_c = -0,1121IAF^2 + 1,4925IAF + 1,4301$, com um $r^2 = 0,9776$.

A partir do momento em que se iniciou a redução do IAF em decorrência da realização das colheitas também se constatou redução na ET_c , porém não foi possível se estabelecer uma equação de regressão para este período. Isto pode ter ocorrido em função da proporção entre a área foliar de folhas maduras e a área foliar das folhas verdes, a qual foi se modificando a cada colheita efetuada.

Esta tendência pode ser observada quando o IAF encontra-se entre 8,02 (50 DAT) e 9,24 (70 DAT). Neste período já se verifica redução da ET_c em consequência da maturação das folhas inferiores da planta.

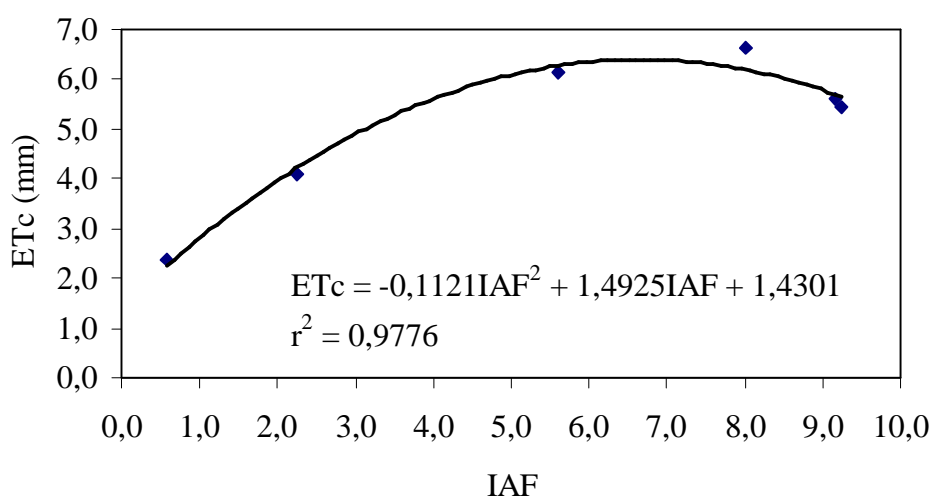


Figura 4. Evapotranspiração (ET_c) do fumo cultivado sob tela de sombreamento, obtida por lisímetro de pesagem, e sua relação com o índice de área foliar (IAF).

Na Figura 5 observa-se a depleção da umidade do solo em relação à capacidade de campo no lisímetro de pesagem, expressa em % de volume, nas profundidades de 10, 20 e 30 cm ao longo do ciclo de cultivo. Na profundidade de 10 cm ocorreu uma flutuação maior da depleção da umidade do solo quando comparado com as profundidades de 20 e 30 cm em decorrência dos processos de irrigação, evaporação e extração da água pelas raízes do fumo. Cerca de 75 % da absorção de água ocorre na primeira camada de 30 cm (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

A depleção média da umidade do solo em relação à capacidade de campo verificada ao longo do ciclo de cultivo foi de 11,2%, 12,8% e 11,7%,

respectivamente, para as profundidades de 10, 20 e 30 cm. A depleção maior ocorrida nas profundidades de 20 e 30 cm pode ter sido ocasionada por uma maior concentração de raízes nesta região, bem como, variabilidade na sensibilidade dos transdutores de pressão dos tensiômetros.

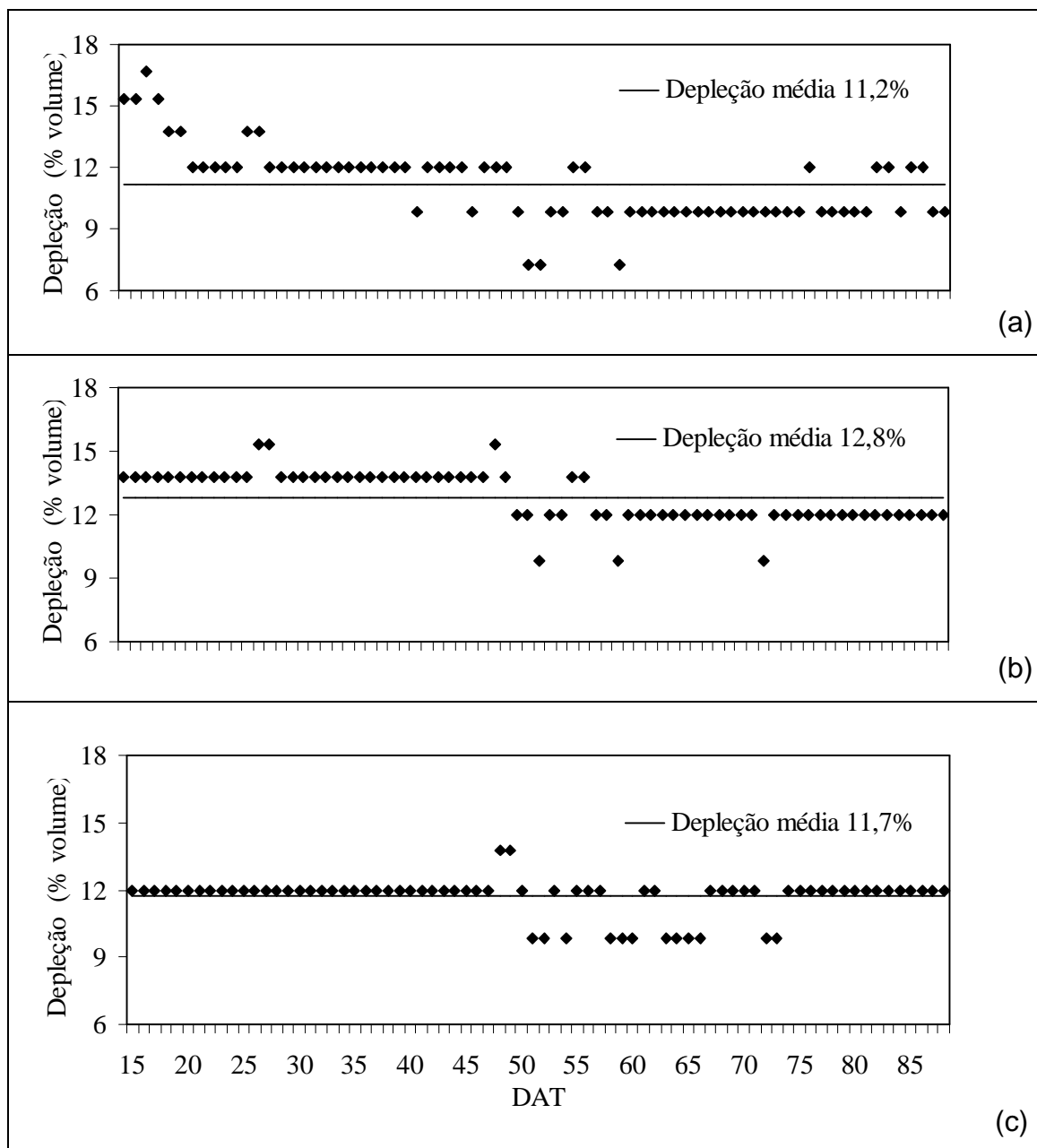


Figura 5. Depleção da umidade do solo no lisímetro de pesagem em função dos dias após o transplântio (DAT) e expressa em % de volume, nas profundidades de 10 (a), 20 (b) e 30 cm (c)

Esta flutuação não afetou o desenvolvimento das plantas por se tratarem de depleções muito baixas. MARCHETTI et al. (2006) e CAKIR & CEBI (2006)

utilizaram como critério para a realização das irrigações a depleção de 50% da umidade do solo em relação à capacidade de campo e não verificaram stress hídrico e redução na produtividade das plantas de fumo.

O valor total da ETc medida no lisímetro de pesagem durante o ciclo de cultivo da cultura do fumo, compreendendo um período de 80 dias, foi de 407 mm e com média diária de 5,1 mm d⁻¹. A ETo estimada pelo método Penman-Monteith FAO para o mesmo período foi de 425 mm, com média diária de 5,3 mm d⁻¹, enquanto que, para a ETo estimada pelo Tanque Classe A foi de 401 mm, com média diária de 5,0 mm d⁻¹.

O cultivo deste tipo de fumo em ambiente telado contribuiu para que o consumo hídrico ficasse no limite inferior do intervalo de consumo sugerido por DOORENBOS & KASSAM (1994) para a cultura de fumo, que varia de 400 a 600 mm. LORDÉLLO NETO (1999) encontrou valores superiores de ETc para o fumo tipo Brasil-Bahia, cultivado a céu aberto, sendo o total de 502 mm e média diária de 5,12 mm d⁻¹. LOUISAKIS (1994) verificou ETc de 377 mm e 375 mm, com médias diárias de 3,77 mm d⁻¹ e 3,41 mm d⁻¹, respectivamente, nos anos de 1982 e 1985, para o fumo tipo Burley na Grécia.

A média da radiação global diária medida no interior da área telada durante o mês de janeiro foi de 12,28 MJ m⁻² d⁻¹, enquanto que, no exterior da área telada foi de 22,20 MJ m⁻² d⁻¹. A tela de sombreamento promoveu uma redução de 45 % na radiação global no interior da área telada. Para os meses de fevereiro e março não foi possível se estabelecer relação em decorrência do sombreamento causado pelas plantas de fumo no sensor de medição da radiação solar no interior do ambiente telado.

No exterior da área telada a média da radiação global diária para os meses de fevereiro e março foi de 18,3 e 20,6 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente. Como o período de cultivo foi de apenas três meses e as variáveis meteorológicas não variaram muito neste intervalo, pode-se inferir que a redução média da radiação global manteve-se em torno de 45% durante todo o período no interior do ambiente telado.

MÖLLER & ASSOULINE (2007), estudando a evapotranspiração do pimentão cultivado a céu aberto e em ambiente telado com sombreamento de 30%, também verificaram que a radiação global foi reduzida em 44% sob a área

telada. A radiação global diária é, dentre os parâmetros climáticos, a que possui o maior efeito para o requerimento de água das culturas (ALLEN et al., 1998).

No presente estudo não foi feito o cultivo de uma área de fumo a céu aberto para efeitos comparativos porque este tipo de fumo é mundialmente cultivado em ambiente telado. O cultivo a céu aberto descaracteriza a planta de fumo, não sendo viável a produção de folhas para fins comerciais. O sombreamento, ou seja, o cultivo sob telado, proporciona um microclima favorável ao desenvolvimento das plantas de fumo para a produção de capa (WEHLBURG, 1999).

Na Figura 6 encontram-se os dados meteorológicos obtidos das estações meteorológicas automáticas no interior e exterior da área telada. A temperatura do ar apresentou oscilação semelhante entre o ambiente interno e externo durante todo o ciclo de cultivo, enquanto que, a umidade relativa do ar no ambiente interno foi ligeiramente superior em relação ao ambiente externo, principalmente após o 50º DAT, período em que ocorreram chuvas.

A média diária da velocidade do ar durante todo o ciclo de cultivo no ambiente externo foi de $3,0 \text{ m s}^{-1}$, com máxima de $3,7 \text{ m s}^{-1}$, mínima de $1,7 \text{ m s}^{-1}$ e observando-se rajadas de até $8,4 \text{ m s}^{-1}$. No ambiente interno, a média diária foi de $0,2 \text{ m s}^{-1}$, com máxima de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, mínima de 0 m s^{-1} e rajadas de $2,1 \text{ m s}^{-1}$.

Na Tabela 1 encontram-se os coeficientes de cultivo para os diferentes estádios de desenvolvimento, obtidos pela relação entre a ET_c do lisímetro de pesagem e a ET_o estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO e do Tanque Classe A, e os sugeridos pela FAO (K_c FAO).

O método de estimativa da evapotranspiração de referência não alterou significativamente os valores dos coeficientes de cultivo para os diferentes estádios de desenvolvimento. Em média, o método do Tanque Classe A subestimou em 7% a ET_o em relação ao de Penman-Monteith FAO durante o ciclo de cultivo. A superestimativa máxima encontrada foi de 38%, a subestimativa máxima foi de 51% e o desvio padrão foi de 0,19.

Nos estádios inicial e de desenvolvimento, o K_c não diferiu muito do K_c recomendado pela FAO. Já no estádios intermediário, colheita e final o K_c foi ligeiramente superior ao da FAO. O IAF elevado, bem como, as especificidades deste tipo de fumo podem ter contribuído para valores de K_c mais elevados. LORDÉLLO NETO (1999) encontrou valores de K_c bem inferiores aos da FAO

para o fumo tipo Brasil-Bahia; sendo 0,56, 0,42 e 0,69 para os estádios vegetativo, floração e frutificação/maturação, respectivamente.

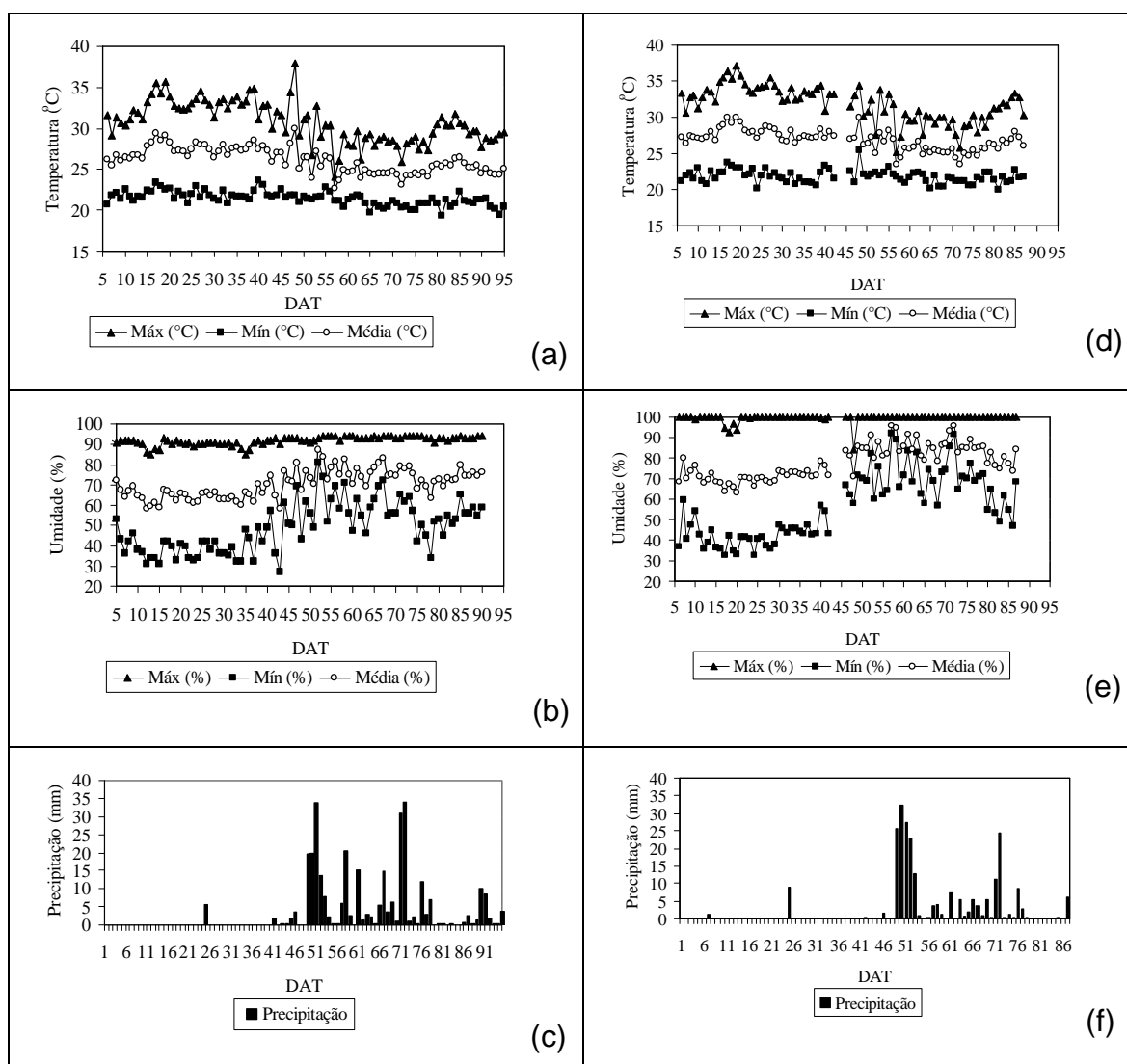


Figura 6. Dados diários da temperatura do ar (máxima, mínima e média), umidade relativa do ar (máxima, mínima e média) e precipitação medidos nas estações meteorológicas automáticas no exterior (a, b, c) e interior (d, e, f) da área telada durante o ciclo da cultura

LOUISAKIS (1994) obteve valores médios de K_c de 0,2 para o estágio inicial no fumo tipo Burley, os quais foram se elevando gradativamente até o estágio de colheita, atingindo valores em torno de 0,8. Para o fumo tipo Virgínia, MIELE et al. (2003) encontraram valores de K_c de 0,18 para a fase inicial, 0,55 para a fase compreendida entre o surgimento da 9ª e a 15ª folha, e de 1,08 na fase de máximo desenvolvimento da planta.

Tabela 1. Coeficientes de cultivo (Kc) para os diferentes estádios de desenvolvimento do fumo, obtidos pela relação entre a ETc do lisímetro de pesagem e a ETo estimada pelos métodos de FAO Penman-Monteith e do Tanque Classe A, e os sugeridos pela FAO (Kc FAO)

Estádio	Kc PM	Kc TCA	Kc FAO
Inicial (0-20 dias)	0,34	0,37	0,35
Desenvolvimento (20-40 dias)	0,80	0,86	0,75
Intermediário (40-60 dias)	1,30	1,29	1,10
Colheita (60-90 dias)	1,06	1,15	0,95
Final (90-94 dias)	0,99	0,98	0,80

A evolução diária do Kc obtido pela relação entre a ETc medida pelo lisímetro de pesagem e a ETo estimada pelo método Penman-Monteith FAO encontra-se na Figura 7. Os valores diários de Kc foram se elevando desde o estágio inicial do cultivo até atingir os valores máximos entre o 40º DAT e o 60º DAT. Após, durante a fase de colheita, o Kc foi declinando gradativamente até o final do ciclo.

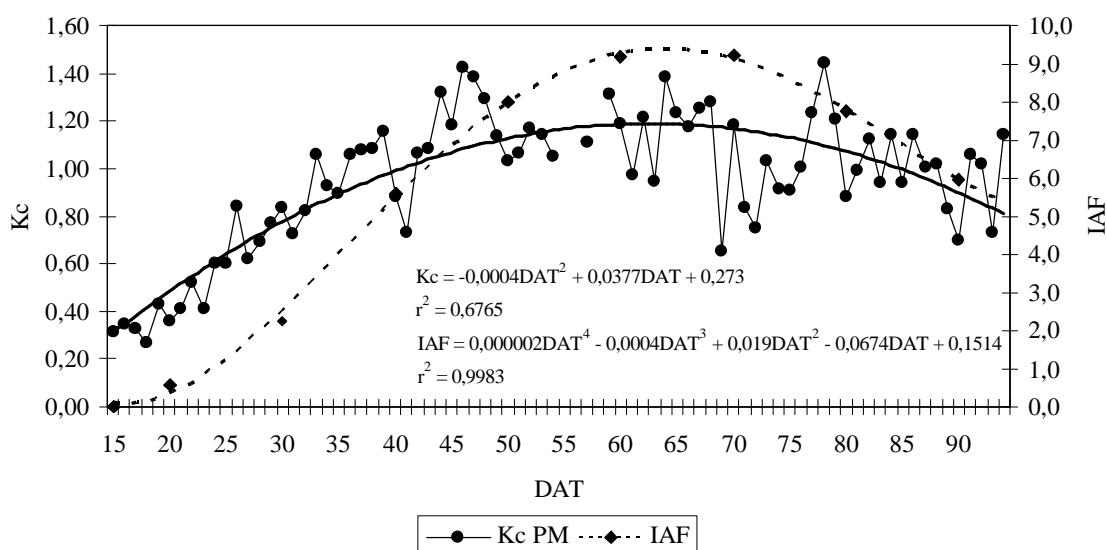


Figura 7. Coeficiente de cultivo (Kc) do fumo cultivado sob tela de sombreamento, obtido por lisímetro de pesagem e método de Penman-Monteith FAO, índice de área foliar (IAF) e suas tendências em relação aos dias após o transplante (DAT).

Foi possível se estabelecer uma equação de regressão para o Kc em função do número de dias após o transplante, a qual é: $Kc = 0,0004DAT^2 + 0,0377DAT + 0,273$, com um $r^2 = 0,6765$. Da mesma forma, estabeleceu-se uma

equação de regressão para o IAF em função do número de dias após o transplântio, a qual é: $IAF = 0,000002DAT^4 - 0,0004DAT^3 + 0,019DAT^2 - 0,0674DAT + 0,1544$, com um $r^2 = 0,9983$.

A utilização de um Kc diário em função do número de dias após o transplântio é mais adequado para um desenvolvimento vegetativo equilibrado da planta de fumo por levar em consideração o aumento gradativo da necessidade hídrica ao longo do ciclo. Quando se calcula um Kc médio para cada estágio de desenvolvimento, a diferença entre o Kc de um estágio de desenvolvimento e o Kc de outro é grande, o que causa um elevado impacto fisiológico na planta em função de variação drástica na quantidade de água aplicada pela irrigação.

CONCLUSÕES

A evapotranspiração total (ETc) da cultura do fumo foi de 407 mm para um ciclo fenológico de 95 dias, com valores médios diários de 5,1 mm d⁻¹ e valores máximos de 6,14 mm d⁻¹ na fase intermediária (40-60 DAT).

O método de estimativa da evapotranspiração de referência não alterou significativamente os valores dos coeficientes de cultivo para os diferentes estádios de desenvolvimento.

Os coeficientes de cultivo (Kc), definidos por estádios de desenvolvimento fenológico e com a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith FAO apresentaram os seguintes valores: Fase I = 0,34; Fase II = 0,80; Fase III = 1,30; Fase IV = 1,06 e Fase V = 0,99; sendo discordantes dos Kc's recomendados pela FAO.

Foi possível se estabelecer equações de regressão para a ETc em função do IAF e para o Kc e o IAF em função do número de dias após o transplântio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Danco Comércio e Indústria de Fumos Ltda. pelo financiamento desta pesquisa e aos técnicos Carlos Alberto Fernandes Antunes e Luís César Nascimento Pereira pelo auxílio na instalação do sistema de lisimetria e coleta dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 656p.

CAKIR, R.; CEBI, U. Growth and dry matter accumulation dynamics of flue-cured tobacco under different soil moisture regimes. *Journal of Agronomy*, Madison, v.5, n.1, p.79-86, 2006.

CAMPECHE, L. F. de S. M. *Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifolia Tan.)*. 2002. 67 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Tradução H. R. Gheyi. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

FARIA, R. T. de; CAMPECHE, F. de S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-42, 2006.

FLOWER, K. C. Agronomy and physiology: field practices. In: DAVIS, D. L.; NIELSEN, M. T. *Tobacco: production, chemistry and technology*. Cambridge: University Press, 1999. p.76-103.

KARAIVAZOGLOU, N. A. et al. Effect of chloride in irrigation water on Oriental (sun-cured) tobacco. *Journal of Plant Nutrition*, Philadelphia, v.29, n.8, p.1413-31, 2006.

LORDÉLLO NETO, A. V. *Evapotranspiração e coeficiente de cultivo (Kc) da cultura do fumo (Nicotiana tabacum) na região de Cruz das Almas - Ba*. 1999. 55

f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agronomia. Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1999.

LOUISAKIS, A. D. The water requirements and leaf quality of tobacco in Greece. *Aspects of Applied Biology*, Warwick, v.38, n.1 , p.209-15, 1994.

MARCHETTI, R.; CASTELLI, F.; CONTILLO, R. Nitrogen requirements for flue-cured tobacco. *Agronomy Journal*, Madison, v.98, n.3, p.666-74.

MARTIN, E. C.; STEPHENS, W.; WIEDENFELD, R.; BITTENBENDER, H. C.; BEASLEY, J. P.; MOORE JR., J. M.; NEIBLING, H.; GALLIAN, J. J. Sugar, oil and fiber. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. *Irrigation of agricultural crops*. American Society of Agronomy, Madison. Agronomy monograph n.30, 2 ed., 2007.

MARTIN, E. C.; OLIVEIRA, A. S. de; FOLTA, A. D.; PELEGOW, E. J.; SLACK, D. C. Development and testing of a small weighable lysimeters system to assess water use by shallow-rooted crops. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v.44, n.1, p.71-8, 2001.

MIELE, S.; MILLI, G.; BERTOLACCI, M.; FOSCHI, L.; BARGIACCHI, E. Determination of Kc of Virginia Bright tobacco K326 in High Tiber Valley (Central Italy), and its use to drive microirrigation. In: Agro-Phyto Meeting in Bucharest, 2003, Bucharest. Anais... Paris: Cooperative Centre for Scientific Research Relative to Tobacco, 2003. 1 CD.

MIRANDA, F. R. de; SOUZA, F. de; RIBEIRO, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do estado do Ceará. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.4, p.63-70, 1999.

MÖLLER, M.; ASSOULINE, S. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Science*, Heidelberg, v.25, n.1, p.171-81, 2007.

MOUSTAKAS, N. K.; NTZANIS, H. Dry matter accumulation and nutrient uptake in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Field Crops Research*, Amsterdam, v.94, n.1, p.1-13, 2005.

NORDESTE. Anuário Brasileiro do Fumo. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p. 106-110, 2007.

OLIVEIRA, J. M. C. de. A cultura do fumo na Bahia: refletindo sobre a convenção-quadro. *Revista Bahia Agrícola*, Salvador, v.7, n.2, p.59-65, 2006.

PICCINNI, G., KO, J., WENTZ, A., LESKOVAR, D., MAREK, T., HOWELL, T.A. Determination of crop coefficients (Kc) for irrigation management of crops. In: Proceedings of the 28th Annual International Irrigation Show, 28., 2007, San Diego. Anais... Irrigation Associations Exposition and Technical Conference Proceedings. 2007. p.706-19. 1 CD.

PRODUÇÃO. Anuário Brasileiro do Fumo. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p.10-21, 2005.

PRODUÇÃO Nordeste. Anuário Brasileiro do Fumo. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p.26-31, 2004.

A PRODUÇÃO Nordeste. Anuário Brasileiro do Fumo. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p.38-43, 2002.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Ed. Manole, 2004. 478 p.

SAFRA 97/98 Fumos escuros. Anuário Brasileiro do Fumo. Santa Cruz do Sul: Gazeta, p.18-25, 1998.

SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. S. de; VELLAME, L. M.; BRANDÃO, F. J. C. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração

de sensores de umidade do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.6, p.1162-1169, 2006.

SILVA, F. C. da; FIETZ, C. R.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, F. A. de C. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 284-286, 1998.

SILVA, F. C. da. *Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência*. 1996. 70 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, 1996.

WHEELER, A. J.; GANJI, A. R. *Introduction to engineering experimentation*. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 415 p.

WRIGHT, J. L. Using weighing lysimeters to develop evapotranspiration crop coefficients. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTER, I. A.; JENSEN, M. E. *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 191-199.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das necessidades hídricas das plantas em suas diferentes fases de desenvolvimento vegetativo permite a obtenção de maior rendimento, melhor qualidade e o uso racional dos recursos hídricos. Para o manejo racional da irrigação de qualquer cultura é fundamental o conhecimento da sua evapotranspiração, sendo esta dependente das condições climáticas vigentes na região em estudo, do solo, da cultura em si e das práticas culturais adotadas. O método direto considerado o mais preciso para a determinação da evapotranspiração é o do lisímetro de pesagem, sendo utilizado como método padrão para a validação de outros métodos de estimativa da evapotranspiração. O barateamento dos componentes eletrônicos utilizados na sua construção vem permitindo a realização de inúmeras pesquisas com este equipamento, aumentando-se consideravelmente a precisão na determinação da demanda hídrica das culturas.

O fumo tipo Sumatra é considerado um produto agrícola de alto valor agregado sendo destinado à confecção de capas para charutos. O mercado exige folhas integras e com coloração uniforme, boa queima, elasticidade, textura fina e um bom aroma e sabor. A falta de água no perfil do solo, principalmente durante os principais estágios de desenvolvimento vegetativo da planta de fumo afeta negativamente todos os parâmetros vegetativos, bem como, a qualidade da capa. A necessidade da obtenção de elevada qualidade nas folhas deste tipo de fumo e a especificidade do processo de cultivo tornam necessário a regionalização dos estudos de demanda hídrica, permitindo a divulgação de valores de coeficientes de cultivo e de duração dos estádios fenológicos ajustados para a região em estudo, condições climáticas vigentes, tipo de solo e as técnicas de cultivo utilizadas.

ANEXOS

ANEXO A - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DO SOLO

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico

LOCALIZAÇÃO: Município de Governador Mangabeira – Bahia, Fazenda Capivari, Campo de produção Etapa 35 da DANCO, próximo a “casa de Raimundão”.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Descrito e coletado em trincheira aberta em topo superior de encosta, área com declividade média de 0 - 2%.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado

EROSÃO: Não parente

DRENAGEM: Boa

USO ATUAL: Pastagem de capim braquiária e pastoreio de bovinos.

DESCRITO E COLETADO POR: José Fernandes de Melo Filho

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0 – 16 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 4/4, úmido); bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seco), franco argilo-arenosa; fraca, muito pequena, blocos angulares; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos; transição abrupta, plana e clara.
- AB** 16 – 42 cm; bruno amarelado escuro (10YR 3/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/4, seco); argila arenosa; moderada, média, blocos angulares; muito duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos; transição plana e clara.
- BA** 42 – 100 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); amarelo brunado (10 YR 6/8, seco); argila; moderada, grande, blocos angulares; muito duro,

friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos; transição plana e clara.

Bw₁ 100 – 151 cm; bruno amarelado (10YR 5/6, úmido); amarelo brunado (10YR 6/8, seco); argila; moderada, grande, blocos angulares; muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos; transição plana e clara.

Bw₂ 151 – 193 cm; bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); argila; moderada, média, blocos angulares; muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos; transição plana e gradual.

Bw₃ 193 – 230+ m; bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); amarelo brunado 10YR 4/6, seco); argila; fraca, pequena, blocos angulares; muito duro, friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; poros comuns pequenos.

ANEXO B - CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO - MODELO VAN GENUCHTEN

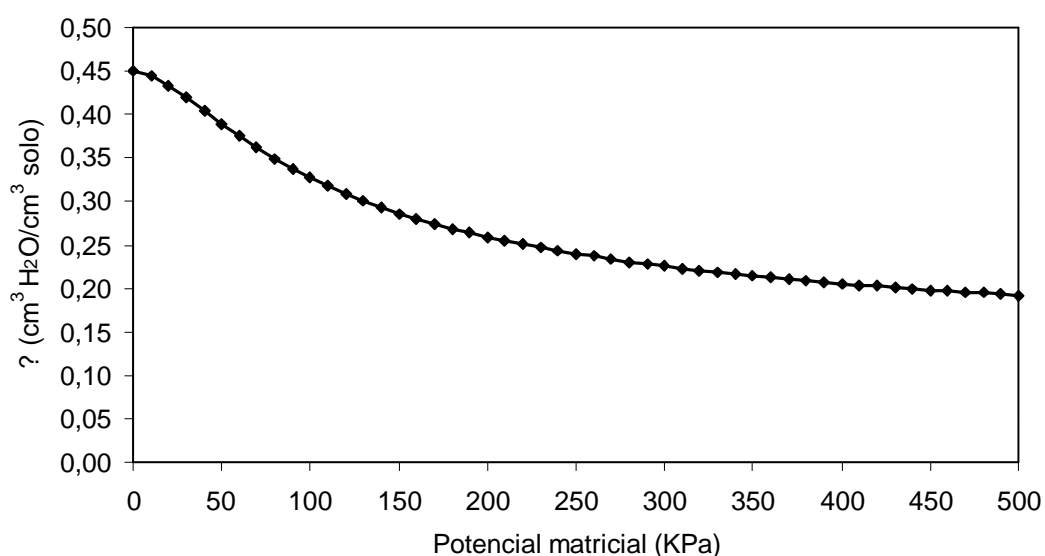
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE VAN GENUCHTEN

Profundidade (cm)	θ_s	θ_r	a	n	m	D
0 - 10	0,4540	0,1030	0,1281	1,7989	0,4441	1,07
10 - 20	0,4500	0,0850	0,1952	1,6453	0,3922	1,16
20 - 30	0,4570	0,1070	0,1129	1,7601	0,4319	1,03
30 - 40	0,4170	0,1260	0,1489	1,5560	0,3573	1,09
Média	0,4508	0,1082	15,0599	1,6901	0,4083	1,10

UMIDADE VOLUMÉTRICA NO SOLO ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-3} \text{ solo}$)

Profundidade (cm)	Potencial matricial (KPa)					
	0	1	5	10	33	1.500
0 - 10	45,40	33,90	17,19	14,75	12,51	10,27
10 - 20	45,00	30,93	15,73	13,67	11,70	8,46
20 - 30	45,70	35,67	18,15	15,91	13,48	10,66
30 - 40	41,70	31,75	21,19	19,05	15,96	12,65
Média	45,08	32,70	19,21	16,07	13,13	10,99

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO



ANEXO C - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DO LISÍMETRO

ESPECIFICAÇÃO	PROFUNDIDADE (cm)			
	(00-10)	(10-20)	(20-30)	(30-40)
MACRONUTRIENTES				
pH (CaCl ₂)	4,3	4,2	4,5	4,4
pH (H ₂ O)	4,9	4,9	5,2	5,1
pH (SMP)	6,25	6,35	6,4	6,35
Hidrog+Alum.H+Al..cmol	3,3	2,9	2,8	2,9
Alumínio.....Al..cmol	0,5	0,5	0,3	0,5
Cálcio.....Ca..cmol	1,2	0,9	1,0	1,4
Magnésio.....Mg..cmol	0,6	0,4	0,5	0,7
Potássio.....K..cmol	0,19	0,14	0,15	0,12
Fósf(Mehlich)P..mg/dm ³	27,0	25,0	21,0	12,0
Fósf(Resina).P..mg/dm ³	36,0	35,0	28,0	18,0
Carbono.....C..g/dm ³	14,0	11,0	9,0	7,0
Matéria Orgânica.....%	2,4	1,9	1,5	1,2
Soma de Bases.SB..cmol	1,99	1,44	1,65	2,22
Capac.Troca...CTC.cmol	5,29	4,34	4,45	5,12
Saturação Bases.V....%	37,62	33,18	37,08	43,36
RELAÇÃO				
Cálcio/Magnésio.....	2,0	2,3	2,0	2,0
COMPLX.ADSORVENTE				
Potássio.....% da.CTC	3,6	3,2	3,4	2,3
Cálcio.....% da.CTC	22,7	20,7	22,5	27,3
Magnésio.....% da.CTC	11,3	9,2	11,2	13,7
Hidrogênio....% da.CTC	52,9	55,3	56,2	46,9
Alumínio.....% da.CTC	9,5	11,5	6,7	9,8
MICRONUTRIENTES				
Enxofre.....S..mg/dm ³	27,0	29,0	17,4	17,2
Sódio.....Na..mg/dm ³	7,5	8,2	8,5	10,0
Boro.....B..mg/dm ³	0,2	0,2	0,3	0,2
Ferro.....Fe..mg/dm ³	67,5	74,0	69,5	81,5
Manganês....Mn..mg/dm ³	2,5	2,0	2,5	2,5
Cobre.....Cu..mg/dm ³	0,4	0,4	0,5	0,5
Zinco.....Zn..mg/dm ³	3,0	3,0	3,2	7,0
GRANULOMETRIA				
Cascalho.....%	0,0	0,0	0,0	0,0
Areia Grossa.....%	63,5	65,1	58,7	56,3
Areia Fina.....%	12,7	10,6	14,2	12,5
Argila.....%	19,6	19,8	22,0	25,4
Silte.....%	4,2	4,5	5,1	5,8
Densidade Aparente	1,3	1,2	1,2	1,2
Densidade Real	2,6	2,6	2,6	2,6
Classe Textural	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARGILO- ARENOSO	FRANCO ARGILO- ARENOSO

ANEXO D - PROGRAMAÇÃO DO DATALOGGER (CR10X)

01:1,0000	
01:P10	
01:0001	Local da bateria
02:P17	
01:0002	Local da temperatura interna
03:P06	Full Bridge
01:01	Rep
02:23	25 mV Slow Range
03:01	Canal diferencial a ser lido
04:01	Canal de excitação
05:2500	mV excitação
06:0003	Local da medida (célula 1)
07: 503,14	Multiplica ao valor lido
08: -10,920	Soma ao valor lido
04:P06	Full Bridge
01:01	Rep
02:23	25 mV Slow Range
03:02	Canal diferencial a ser lido
04:02	Canal de excitação
05:2500	mV excitação
06:0004	Local da medida (célula 2)
07: 503,14	Multiplica ao valor lido
08: 0,0000	Soma do valor lido
05:P06	Full Bridge
01:01	Rep
02:23	25 mV Slow Range
03:03	Canal diferencial a ser lido
04:01	Canal de excitação
05:2500	mV excitação
06:0005	Local da medida (célula 3)
07: 503,14	Multiplica ao valor lido
08: 0,0000	Soma ao valor lido

06:P06	Full Bridge
01:01	Rep
02:23	25 mV Slow Range
03:04	Canal diferencial a ser lido
04:02	Canal de excitação
05:2500	mV excitação
06:0006	Local da medida (célula 4)
07: 503,14	Multiplica ao valor lido
08: 0,0000	Soma ao valor lido
07:P33	Soma $Z = X + Y$
01:0003	X Local da medida (célula 1)
02:0004	Y Local da medida (célula 2)
03:0007	Z Soma (Célula 1 + 2)
08:P33	Soma $Z = X + Y$
01:0007	X Soma (Célula 1 + 2)
02:0005	Y Local da medida (célula 3)
03:0007	Z Soma (Célula 1 + 2 + 3)
09:P33	Soma $Z = X + Y$
01:0007	X Soma (Célula 1 + 2 + 3)
02:0006	Y Local da medida (célula 4)
03:0007	Z Soma (Célula 1 + 2 + 3 + 4)
10:P92	
01:0000	
02:0010	Tempo para gravar médias (10 minutos)
03:10	
11:P78	
01:01	
12:P77	
01:1110	
13:P71	
01:07	
02:0001	
14:P00	