



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E RENDIMENTO DE CULTIVOS  
SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM SOB  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

**LEONARDO DA COSTA LOPES**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JUNHO - 2004**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E RENDIMENTO DE CULTIVOS  
SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM SOB  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

**LEONARDO DA COSTA LOPES**

Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água.

**Orientador: Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2004

## FICHA CATALOGRÁFICA

L864 Lopes, Leonardo da Costa  
Evapotranspiração e rendimento de cultivos solteiro e consorciado de milho e amendoim sob diferentes lâminas de irrigação/ Leonardo da Costa Lopes – Cruz das Almas, BA, 2004.  
70p. : il., tab., graf.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia. Universidade Federal da Bahia

1. milho-evapotranspiração. 2.amendoim-evapotranspiração.  
3. evapotranspiração-milho. 4. evapotranspiração-amendoim. 5.  
milho-necessidades hídricas. 5. amendoim-necessidades hídricas  
I. Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia. II. Título.

CDD 20.ed.633.1

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira  
Escola de Agronomia - UFBA  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Manoel Teixeira de Castro Neto  
EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura

---

Prof. Dr. Francisco Adriano Carvalho Pereira  
Escola de Agronomia - UFBA

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

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em .....

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais  
Pedro da Costa Lopes e Sonia Regina da Costa Lopes  
Por terem me dado a bênção da vida, educação e amor

A minha esposa amada  
Teresa Regina Gomes Lopes  
Pelo amor, paciência e dedicação

Ao meu filho  
Guilherme Gomes Lopes  
Por tudo de bom que despertou  
em mim através de seu sorriso

À minha irmã  
Renata da Costa Lopes  
Pelo carinho e amizade presentes principalmente  
nos momentos mais difíceis

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas;

A Jesus, o mestre dos mestres, pelos ensinamentos que me ajudaram em todos os momentos da vida;

Ao Curso de Pós Graduação em Ciências Agrárias pela formação teórica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa estudos;

À Fundação de Amparo a pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro através do convênio 01/99 CADCT/UFBA/FAPEX;

Ao Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira, pela orientação, paciência, confiança e amizade, presente em todas as etapas da realização deste trabalho;

Ao Eng<sup>o</sup> Ricardo Martins Santos, colega de curso que teve papel determinante no desenvolvimento deste trabalho, pela ajuda e amizade;

Aos Profs. Drs. Vital Pedro da Silva Paz e Francisco Adriano Pereira, pelo apoio, amizade e ensinamentos durante o curso;

Ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho, pela dedicação no objetivo de crescimento do curso e pelo exemplo de profissionalismo;

Ao Prof. Dr. Clóvis Pereira Peixoto pelo apoio e orientação nas análises fisiológicas;

À Profa. Dra. Maria de Fátima Peixoto, pela simpatia e colaboração em ceder o laboratório;

Ao Pesquisador Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo, pela preciosa ajuda na análise estatística;

Ao Pesquisador Dr. Manoel Teixeira de Castro Neto, pelas orientações para implantação do experimento;

Ao Pesquisador Dr. Maurício Antônio Coelho Filho, pela disponibilidade dos dados meteorológicos;

Às colegas, MSc. Célia Maria Freitas dos Santos Tavares e Eng<sup>a</sup> Grace Ximena Santos Oliveira, pela amizade e companheirismo durante o curso;

Ao graduando Lucas Melo Vellame, pela ajuda na coleta e tratamento das amostras;

À Sidiney Ferreira Sardinha, pela eficiência junto a secretaria do curso;

Aos funcionários da estação experimental, Neto, Silene, Fernando, Sérgio, Milton e Josué, pela ajuda indispensável na implantação e condução do experimento;

Aos Profs. Drs. Jorge Luiz Pimenta Mello e Daniel Fonseca de Carvalho, pela confiança, amizade e pelos preciosos ensinamentos durante a graduação, que me fizeram despertar o interesse pela área de irrigação;

Ao MSc. Paulo Alencar de Araújo, meu compadre, grande amigo e irmão, pelo incentivo e exemplo de determinação e perseverança;

Aos meus amigos e familiares, que mesmo à distância, me enviaram vibrações de amor, sem as quais seria muito difícil qualquer trabalho;

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Do fundo do meu coração,  
MUITO OBRIGADO!

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO .....	01
Capítulo 1	
AVALIAÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR NAAN 5035 PARA UTILIZAÇÃO EM SISTEMA DE ASPERSÃO COM LINHA ÚNICA.....	07
Capítulo 2	
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO E AMENDOIM SOB SISTEMAS DE CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO NOS TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA.....	19
Capítulo 3	
EFEITO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM.....	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO E RENDIMENTO DE CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Autor: Leonardo da Costa Lopes

Orientador: PhD. Aureo Silva de Oliveira

**RESUMO:** No Campo Experimental da Escola de Agronomia da UFBA, em Cruz das Almas, um estudo de campo objetivou avaliar o uso de água e rendimento de milho e amendoim. Procedeu-se ao balanço de água na área experimental, irrigada por um sistema de aspersão com linha única. Utilizou-se um delineamento em split-block com dois sistemas de cultivo (solteiro e consorciado) e quatro níveis de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ , respectivamente 125, 100, 60 e 25% da ET de referência ( $ET_0$ ) obtida de um tanque Classe A). Adicionalmente, determinou-se a  $ET_0$  pelos métodos de Hargreaves e FAO Penman-Monteith. A máxima ET do milho e amendoim solteiros e do consórcio foi 6,3; 5,2 e 7,2 mm  $dia^{-1}$ , respectivamente. O Kc do milho solteiro variou de 0,81 a 1,29; 0,68 a 1,07 para amendoim solteiro e de 1,12 a 1,35 para o consórcio. Não houve diferença significativa no rendimento de milho verde entre os sistemas de cultivo (solteiro – 4925,78 kg  $ha^{-1}$  e consórcio – 5341,68 kg  $ha^{-1}$ ). Houve interação entre sistemas de cultivo e nível de irrigação. O maior rendimento de milho solteiro (6765,62 kg  $ha^{-1}$ ) obteve-se com o nível  $L_3$  seguido de  $L_2$  com 6593,75 kg  $ha^{-1}$ , sem diferença significativa entre eles. No sistema consorciado, o nível  $L_1$  promoveu o maior rendimento de milho (8151,44 kg  $ha^{-1}$ ) seguido, sem diferença significativa, do  $L_2$  com 7819,44 kg  $ha^{-1}$ . Mas,  $L_1$  e  $L_2$  diferiram significativamente de  $L_3$  e  $L_4$ . Para o amendoim, houve diferença estatística no rendimento de vagem seca ao ar entre sistemas de cultivo (solteiro – 4013,12 kg  $ha^{-1}$  e consórcio – 1970,62 kg  $ha^{-1}$ ). Não se observou interação entre sistemas de cultivo e níveis de irrigação. O rendimento de vagem seca ao ar não diferiu significativamente entre os níveis de irrigação, exceto o  $L_4$  que apresentou o menor rendimento (1816,87 kg  $ha^{-1}$ ).

**Palavras-chave:** Aspersão em linha, *Zea mays* L., *Arachis hypogaea* L.

# EVAPOTRANSPIRATION AND YIELD OF MONO AND INTERCROPPED MAIZE/GROUNDNUT SYSTEMS UNDER VARIABLE IRRIGATION

Author: Leonardo da Costa Lopes

Advisor: PhD. Aureo Silva de Oliveira

**ABSTRACT:** An experiment was carried at the School of Agronomy Experimental Station of the Federal University of Bahia, at Cruz das Almas, aiming at evaluating the water use and yield of green maize and groundnut, using the field water balance technique and a line-source sprinkler system to irrigate the area. The experiment followed a split-block design with two cropping systems (mono and intercropping) e four irrigation levels ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , and  $L_4$ , respectively 125, 100, 60, and 25% of reference ET from a Classe A pan). Reference ET was obtained by the Hargreaves, Class A pan and FAO Penman-Monteith methods. Maximum ET for sole maize, sole groundnut and intercropping was 6.3; 5.2 and 7.2 mm day<sup>-1</sup>, respectively. For sole maize, Kc varied from 0.81 to 1.29; for sole groundnut, it varied from 0.68 to 1.07 and for intercropped maize-groundnut, Kc varied from 1.12 to 1.35. No significant difference for green maize yield was found between cropping systems (sole – 4925.78 kg ha<sup>-1</sup> and intercropping – 5341.68 kg ha<sup>-1</sup>). There was interaction between cropping systems and irrigation level. The highest sole maize yield (6765.62 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained with the  $L_3$  level followed by the  $L_2$  level with 6593.75 kg ha<sup>-1</sup>, without statistical difference between them. In the intercropping systems, the  $L_1$  level promoted the highest maize yield (8151.44 kg ha<sup>-1</sup>) followed, with no significant difference, by the  $L_2$  level with 7819.44 kg ha<sup>-1</sup>. But, both  $L_1$  and  $L_2$  levels differed significantly from  $L_3$  and  $L_4$  irrigation levels. For groundnut, statistical difference was observed in terms of air dried pod yield between crop systems (sole – 4013.12 kg ha<sup>-1</sup> and intercropping – 1970.62 kg ha<sup>-1</sup>). No interaction was observed between cropping systems and irrigation levels. The yield of air dried pods did not differed statistically among irrigation levels, exception for the  $L_4$  for which yield was the lowest (1816.87 kg ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** Line-source sprinkler, *Zea mays* L., *Arachis hypogaea* L.

## INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais importantes da natureza, da qual dependem todas as formas de vida. Presente em todo o planeta nas formas líquida, sólida e gasosa, a água é indispensável à manutenção dos organismos animais e vegetais. A água cobre cerca de 70% da superfície terrestre, sendo que 97,5% do total da água do planeta é salgada e dos 2,5% de água doce existente, 70% encontram-se nas geleiras e menos de 1% encontra-se disponível para uso direto (SHIKLOMANOV). No contexto mundial, o Brasil apresenta cenário privilegiado, pois conta, segundo a Secretaria de Recursos Hídricos (2003), com 13,7% das reservas mundiais de água doce superficial. O problema é que a maior parte concentra-se na região amazônica, que detém mais de 60% do total com apenas 7% da população do país. Esta situação cômoda leva a uma negligência em termos de degradação ambiental e falta de iniciativas de preservação de rios, nascentes e lagos que pode acarretar na diminuição da água em algumas regiões do país. Com investimentos adequados no gerenciamento, armazenagem, tratamento e distribuição da água, a preocupação com a falta deste recurso no Brasil será praticamente nula.

A irrigação é a atividade que mais consome água doce no mundo, sendo responsável pelo consumo de cerca de 70% do total da água derivada da natureza, o restante é utilizado pela indústria e para abastecimento doméstico (WORLD RESOURCE INSTITUTE, 2000). Segundo a FAO (2003), o Brasil possui reservas renováveis de água da ordem de  $8.233 \text{ km}^3$ , utilizando apenas  $36,63 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$  na agricultura, ou seja, 0,44%. Em contrapartida, a necessidade de água para irrigação é  $6,21 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ , ou seja, uma eficiência de uso de 17%. Como a distribuição de água é irregular, este desperdício deve ser evitado, com sistemas de irrigação mais eficientes e manejo adequado.

A irrigação, que é o suprimento de água às culturas agrícolas por meios artificiais, capacita os agricultores a eliminar ou minimizar os efeitos da insuficiência de água no crescimento das plantas. A irrigação permite atividades agrícolas em regiões áridas e compensa os efeitos de períodos secos em regiões semiáridas e subúmidas (HILLEL, 1990). A produtividade média das culturas irrigadas é em geral três a quatro vezes maior do que a produtividade média das culturas não-irrigadas, para as quais a precipitação natural é a única fonte de água (SINHA et al., 1985; JENSEN et al., 1990).

A irregularidade na distribuição das chuvas durante o ano, característica típica das regiões tropicais, define dois períodos bem distintos, ou seja, um período seco e outro chuvoso, sendo este comumente denominado período das águas. No início deste período, os agricultores preparam a área e plantam, convictos de que as chuvas serão suficientes para garantir o crescimento das plantas e a produção. No período seco, a atividade agrícola tende a se reduzir, notadamente nas áreas desprovidas de irrigação. Este fato comumente leva ao aumento dos preços e conseqüente importação de produtos agrícolas de outras regiões.

Quando se dispõe de irrigação na propriedade, o plantio e estabelecimento das lavouras podem ser feitos em qualquer época do ano, pois neste caso a água deixa de ser fator limitante. A irrigação, portanto, leva a uma agricultura intensiva e independente da precipitação natural, com chances de mais de uma colheita por ano, permitindo ao agricultor dispor do produto na entressafra e com melhores preços (SILVA et al., 1981). A irrigação reduz os riscos de investimento em preparação da área, sementes, fertilizantes, e controle de ervas daninhas, entre outras práticas culturais (JENSEN et al., 1990).

Entre as espécies cultivadas na região do Recôncavo da Bahia, o milho (*Zea mays*, L.) e o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) destacam-se pela importância econômica regional. Tanto a gramínea quanto à oleaginosa são cultivadas em diversas regiões do mundo, sendo que no Nordeste elas têm sido tradicionalmente cultivadas em condições de sequeiro (SILVA et al., 1996), estando, portanto, sujeitas aos riscos causados pela variação do tempo.

No Recôncavo da Bahia, o milho, assim como o amendoim, é plantado no início da estação chuvosa (fevereiro/março) para ser colhido por ocasião das festividades de São João (junho). Esse é o período no qual se concentra a maior

parte dos 1200 mm que anualmente precipitam na região, em média. No segundo semestre do ano, o cultivo é sensivelmente reduzido ou praticamente inexistente, pois os agricultores não dispõem de irrigação, e, portanto apenas uma única colheita é feita anualmente. Segundo Castro Neto e D'Angiolella (1998) a precipitação total no período menos chuvoso do ano (julho a dezembro) na região do Recôncavo da Bahia é em média 470 mm.

A região do Recôncavo caracteriza-se pela predominância de unidades agrícolas menores que 5 hectares. Os principais produtos do Recôncavo são a cana, a mandioca e a laranja (MENDONÇA, 2001). O milho e o amendoim são cultivados principalmente para consumo *in natura*. O milho, principalmente como milho verde; e o amendoim, verde para cozinhar e maduro para torrar. O milho em grãos na Bahia é produzido principalmente na região Oeste, que segundo Santos e Ferraz (2002), é responsável por 75% da produção de grãos do estado. Com a instalação de unidades agrícolas e industriais de grandes grupos que está acontecendo na região do Recôncavo a tendência é aumentar a demanda de grãos de milho, para uso nas rações dos frangos, o que torna a cultura interessante, visto ser totalmente importada de outras regiões.

O cultivo consorciado, segundo Tsubo et al. (2003), é tradicionalmente praticado por produtores de pequena escala nos trópicos e o consórcio entre cereais e leguminosas são a prática mais comum. O objetivo do consórcio de culturas é, segundo Negreiros et al. (2002), otimizar a utilização dos recursos ambientais e da área juntamente com a mão-de-obra na aplicação de insumos e tratamentos culturais. Segundo Morgado e Rao (1986), o cultivo consorciado não tinha recebido muita atenção dos pesquisadores porque é uma prática de pequenos agricultores, que não usam muito insumo e que esta prática seria substituída por cultivos isolados com o melhoramento das tecnologias, mas existem muitas evidências de que o plantio consorciado pode oferecer muitas vantagens com o uso de tecnologias melhoradas. Desta forma, o consórcio entre culturas pode ser uma ferramenta importante no aumento da eficiência do uso da água.

Para maximizar a eficiência do uso da água na irrigação do milho e amendoim na região do Recôncavo deve-se ter um bom programa de manejo da irrigação, ou seja, aplicar água na quantidade adequada e no momento certo. Vários métodos de manejo de irrigação são utilizados, que de modo prático fornecem orientação de quando e quanto irrigar. Um método muito eficiente para

isto é programar a irrigação levando-se em conta a evapotranspiração da cultura, que segundo Allen et. al. (1998), é a combinação de dois processos de perda de água: a evaporação a partir da superfície do solo e a transpiração das culturas. Parâmetros climáticos, características da cultura, manejo e aspectos ambientais são fatores que afetam a evapotranspiração. Para se estudar a demanda evaporativa atmosférica, independente do tipo de cultura, introduziu-se o conceito de evapotranspiração da cultura de referência (ET<sub>o</sub>). A superfície de referência é segundo Allen et. al. (1998), uma grama hipotética com características específicas. Para se avaliar a influência das culturas sobre a evapotranspiração, segundo Doorenbos e Pruitt (1992), utilizam-se os coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>), que relacionam a ET<sub>o</sub> com a evapotranspiração de um cultura em condições ótimas.

Como há carência de dados experimentais sobre o crescimento e produtividade do milho e amendoim irrigados, principalmente em sistemas consorciados, nas condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano e aliada à ausência de informações básicas sobre o manejo da irrigação dessas culturas, os objetivos deste trabalho são avaliar os efeitos da lâmina de irrigação no rendimento de grãos e componentes do rendimento de milho e amendoim em cultivos solteiro e consorciado, determinar o consumo de água diário e estacional para ambas culturas em ambos os sistemas e derivar coeficientes de cultivo K<sub>c</sub> para programação da irrigação.

### Referências Bibliográficas

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

CASTRO NETO, M. T. DE E D'ANGIOLELLA, G. L. B. **Boletim Agrometeorológico 1980-1989**. Cruz das Almas, BA: CNPMF-EMBRAPA, 1998, 114 p. (EMBRAPA-CNPMF. Boletim Agrometeorológico, 10).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**, Rome: FAO, 1992, 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Irrigation water use per country in the year 2000**. Disponível em: <[http://www.fao.org/ag/agl/aquastat/water\\_use/irrwatuse.htm](http://www.fao.org/ag/agl/aquastat/water_use/irrwatuse.htm)>. Acesso em 09 de agosto de 2003.

HILLEL, D. Role of irrigation in agricultural systems. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (eds.). **Irrigation on Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990, p. 5-30 (Monograph 30).

JENSEN, M. E.; RANGELEY, W. R.; DIELEMAN, P. J. Irrigation trends in world agriculture. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (eds.). **Irrigation on Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990, p. 31-67 (Monograph 30).

MENDONÇA, J. O. Agricultura baiana: de onde viemos e para onde vamos. In: SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (SEAGRI). **Bahia, cenários de uma agricultura**. Salvador: SPA/SEAGRI, 2001, p. 207-235. (Série estudos Agrícolas, 2).

MORGADO, L. B.; RAO, M. R. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986, 79 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 43).

NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; SANTOS R. H. S. Cultivares de alface em sistemas solteiro e consorciado com cenoura em Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 162-166, junho, 2002.

SANTOS, E. O.; FERRAZ, Z. M. L. A primeira safra de grãos de 2002 na Bahia. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 5, n. 1, p. 3-7, set. 2002.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **A água no Brasil e no mundo**. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.ana.com.br/gestaorechidricos/inf hidrologicas/docs/aguanoBrasileno mundo2.html>>. Acesso em 09 de agosto de 2003.

SHICLOMANOV, I. World fresh water resource. In: GLEIK, P. H. (ed.) **Water in crisis: A Guide to the world fresh water resource**, 1993.

SILVA, M. A. DA; CHOUDHURY, E. N.; GUROVICH, L. A.; MILLAR, A. A. Metodologia para determinar as necessidades de água das culturas irrigadas. In: **Pesquisa em Irrigação no Trópico Semi-Árido: Solo, Água, Planta**. Petrolina: CPATSA-EMBRAPA, 1981, p. 25-44. (Boletim de Pesquisa 4).

SINHA, S. K.; AGGARWAL, P.K.; E KHANNA-CHOPPRA, R. Irrigation in India: a physiological and phenological approach in water management of grain crops. In: HILLEL, D. (ed.) **Advances in Irrigation**. Orlando: Academic Press, 1985, v. 3.

TSUBO, M.; MUKHALA, E.; OGINDO, H. O.; WALKER, S. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. **Water SA**, v. 29, n. 4, p. 381-388, oct, 2003.

WORLD RESOURCE INSTITUTE. **World Resources 2000-2001: People and ecosystems: The fraying web of life**. United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank, World Resources Institute, 2000. Disponível em: <[http://pubs.wri.org/pubs\\_toc.cfm?PubID=3027](http://pubs.wri.org/pubs_toc.cfm?PubID=3027)>. Acesso em 09 de agosto de 2003.

# **CAPÍTULO 1**

## **PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR NAAN 5035 PARA USO EM SISTEMAS DE ASPERSÃO COM LINHA ÚNICA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Engenharia Agrícola

## **PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR NAAN 5035 PARA USO EM SISTEMAS DE ASPERSÃO COM LINHA ÚNICA**

**RESUMO:** Um estudo de campo foi conduzido no Campo Experimental II da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, localizada no município de Cruz das Almas, com o objetivo de avaliar o perfil de distribuição de água do aspersor NAAN, modelo 5035, bocais de 4,25 mm x 2,5 mm de diâmetro submetido a diferentes condições de vento (0 a 3,32 m s<sup>-1</sup>), pressão de serviço (200, 300 e 400 kPa) e altura da (1,0; 1,5 e 2,0 m), nas condições meteorológicas do Recôncavo Baiano. Vinte sete testes de distribuição de água foram realizados. Dentre as pressões de operação estudadas, a de 300 kPa é a mais recomendada para uso em sistemas de aspersão com uma única linha para este aspersor, objetivando estudos de resposta das culturas à lâmina d'água aplicada, desde que realizados sob condições médias de vento inferiores a 2,0 m s<sup>-2</sup>. A altura de instalação do aspersor influenciou pouco no perfil de distribuição de água, deve ser escolhida em função da altura da cultura a ser estudada.

**Palavras-chave:** Irrigação, "Line-source sprinkler", função de produção.

## **WATER DISTRIBUTION PATTERN OF THE NAAN 5035 SPRINKLER FOR USE IN LINE SOURCE SPRINKLER IRRIGATION SYSTEMS**

**ABSTRACT:** A field study was carried out at the Experimental Farm of the School of Agronomy of the Federal University of Bahia, town of Cruz das Almas, State of Bahia, with the objective of evaluating the pattern of water distribution of the NAAN 5035 model sprinkler, with 4,25 x 2,5 mm nozzle diameter under the meteorological conditions of the Recôncavo da Bahia region. Twenty-seven tests were performed where the sprinkler was submitted to several wind velocities (0 to 3,32 m s<sup>-1</sup>), operating pressure (200, 300, and 400 kPa), and riser height (1,0; 1,5, and 2,0 m). Results indicated the operating pressure of 300 kPa and wind velocity

lower than  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  as the best condition for this type of sprinkler when used in line source sprinkler irrigation systems. The riser height seemed not to affect the water distribution pattern which means that the placement of the sprinkler above ground is basically determined by the crop height.

**Key-words:** Irrigation, line-souce sprinkler, crop water production function

## INTRODUÇÃO

A obtenção de altas produtividades em geral requer material genético selecionado e condições ambientais e de manejo adequadas, incluindo fertilidade do solo, controle fitossanitário e de ervas daninhas bem como o atendimento das necessidades hídricas das plantas ao longo do ciclo de produção. Como o fornecimento de água às culturas, via irrigação, responde por um significativo incremento nos custos de produção, o uso eficiente da água na agricultura irrigada tem suscitado muitos estudos envolvendo a resposta das culturas à irrigação.

DOORENBOS & KASSAM (1978) apresentaram uma metodologia para determinação da resposta de produção das culturas à água que, segundo SCALOPPI (1983), apresenta como principal inconveniente a necessidade de sistematização das irrigações, pois as parcelas dispostas ao acaso requerem bordaduras de dimensões relativamente grandes, de forma a evitar interferências entre os tratamentos. Isto leva ao uso de áreas de grandes dimensões e mão-de-obra para operação da irrigação.

Por outro lado, o uso de sistemas de aspersão em linha (“line source sprinkler systems”), conforme descrito por HANKS et al. (1976), permite com vantagem o estudo das funções de produção à aplicação de água sob condições de diferentes lâminas de irrigação. Este sistema produz um padrão de aplicação de água uniforme no sentido longitudinal à linha de aspersores e gradativamente variável no sentido transversal. A fim de se garantir adequada uniformidade de aplicação de água ao longo da linha, facilmente afetada pela ação do vento, HANKS et al. (1976) sugeriram pequenos espaçamentos entre os aspersores, variando de 10% a 25% do diâmetro molhado pelos emissores. O sistema “line

source” tem sido amplamente utilizado em pesquisas, devido à sua simplicidade, facilidade de operação e tratamento dos dados experimentais.

Segundo WILLARDSON et al. (1986), há carências de recomendações para a seleção de aspersores apropriados a aplicações específicas. Os autores desenvolveram uma metodologia de avaliação baseada no perfil de distribuição de água dos aspersores, por meio de coletores posicionados em fila no sentido radial. Diversos aspersores sob variadas pressões e altura do tubo de subida em um modelo computacional foram testados.

O perfil de distribuição de água de um aspersor depende de fatores relacionados às condições de instalação, funcionamento, operação e manejo do equipamento. Ênfase tem sido dada à pressão de operação dos emissores e a velocidade e direção predominante vento (CHRISTIANSEN, 1942; FRIZZONE, 1992; BERNARDO, 1995). Além destes, a geometria do bocal tem sido mencionado como fator determinante do perfil de distribuição do emissor (JAMES, 1993). Segundo CHRISTIANSEN (1942), o perfil de distribuição de um aspersor nunca é simétrico, devido ao vento e em alguns casos, devido a variações na velocidade de rotação. No caso do sistema de aspersão com linha única, o vento é fator crucial, pois todos os níveis de aplicação de água dentro da parcela devem ter a mesma freqüência de irrigação e receber a mesma quantidade de água em pontos opostos e eqüidistantes à linha de aspersores (HANKS et al., 1976). Os autores recomendam, portanto, irrigar sob ventos com velocidades inferiores a  $2,2 \text{ m s}^{-1}$  quando a direção do vento for paralela à linha de aspersores e inferior a  $0,8 \text{ m s}^{-1}$  nos demais casos, ou seja, para qualquer ângulo.

A Figura 1 mostra o perfil de distribuição de água esperado em função da pressão de operação do aspersor. Sob condições de baixa pressão, o jato d'água não é devidamente pulverizado, resultando num perfil de aplicação em forma de “rosquinha” (“donut shape”) (JAMES, 1993; CUENCA, 1989). Se a pressão do bocal é muito alta, o jato é excessivamente pulverizado, resultando em gotas muito pequenas que não são transportadas por toda extensão do diâmetro molhado de projeto, depositando-se principalmente nas proximidades do emissor, além de serem mais vulneráveis ao carreamento pelo vento. Quando a pressão de operação é adequada, o perfil de distribuição tende a apresentar formato triangular, com a maioria dos bocais (CUENCA, 1989; JAMES, 1993).

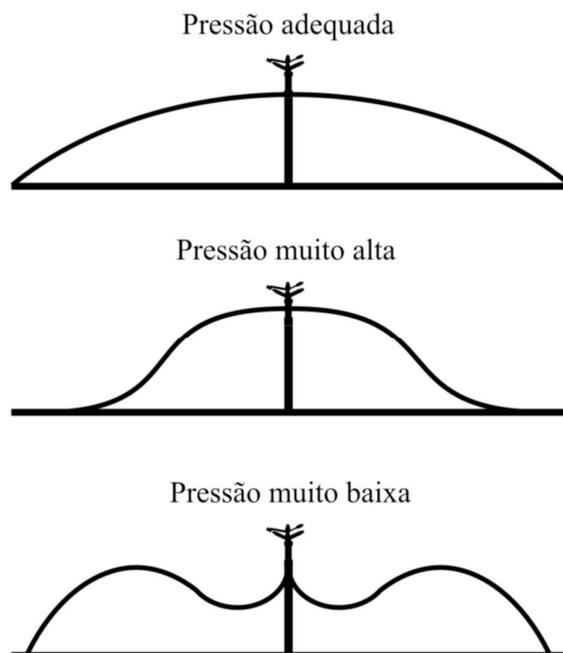


Figura 1. Perfil de distribuição de água de um aspersor sob diferentes condições de pressão de serviço.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil de distribuição de água do aspersor NAAN, modelo 5035, sob diferentes condições de vento, pressão de serviço e altura do tubo de subida, nas condições agrometeorológicas do Recôncavo Baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido no Campo Experimental II da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, município de Cruz das Almas, Bahia (latitude 12°40'39" S, longitude 39°06'23" W, altitude 225 m), no período de 10 de julho a 03 de setembro de 2003.

Utilizou-se um aspersor NAAN, modelo 5035, bocais de 4,25 mm x 2,5 mm de diâmetro. A pressurização do sistema foi feita por um conjunto motobomba suficiente para garantir vazão e pressão necessárias aos testes. O aspersor foi instalado no centro da área experimental, com linhas de coletores de água nos eixos norte/sul e leste/oeste, espaçados de 1,5 m como mostra a Figura 2. Os

coletores consistiram de recipientes de polietileno com diâmetro médio de captação de 0,1 m e altura de 0,08 m, sustentados por hastes metálicas, enterradas no solo, ficando a secção de captação a 0,3 m do solo, segundo sugestão de FRIZZONE (1992). Ao todo foram instalados 50 coletores, sendo 25 por eixo.

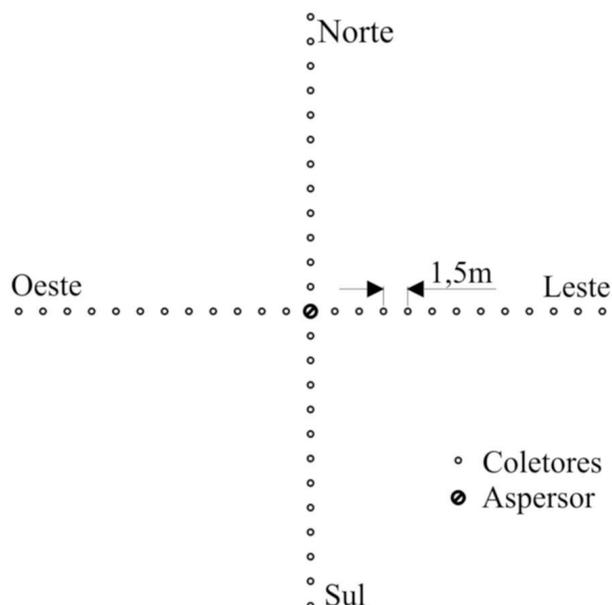


Figura 2. Esquema de distribuição dos coletores na área experimental.

Durante os testes, o aspersor foi posicionado a três alturas diferentes, a saber 1,0 m; 1,5 m e 2,0 m acima da superfície do solo e submetido a três pressões de serviço, ou seja, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa. A pressão de operação do emissor foi ajustada pela regulagem de um registro instalado no tubo de subida e aferida com o uso de manômetro colocado em tomada de pressão na entrada do aspersor.

Os testes tiveram sempre duração de 60 minutos e foram realizados em três distintos horários do dia, de modo a abranger um amplo leque de velocidade dos ventos na região. No total vinte e sete testes foram realizados nos seguintes horários: 6:00 às 7:00 h, 11:00 às 12:00 h e 16:00 às 17:00, sendo nove por período. Em cada um deles, a velocidade e direção do vento foram obtidas por meio de uma estação meteorológica automática (modelo GroWeather, Davis

Instruments Inc.), instalada no local dos testes e com o anemômetro a 2 m de altura.

O volume de água coletado em cada recipiente foi convertido em altura de lâmina d'água através da área de captação do coletor. Os dados de precipitação foram plotados em planilha eletrônica para ajuste a um modelo polinomial de modo a se verificar quais parâmetros de operação do aspersor forneciam uma curva mais aproximada daquele formato, que segundo HANKS et al. (1976), é o perfil de distribuição água desejado quando se utiliza sistemas de aspersão com linha única de aspersores em estudos de resposta das culturas à lâmina d'água aplicada.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados dos vinte e sete testes são apresentados na Tabela 1. Os melhores resultados (testes 22, 13 e 4), segundo o coeficiente de determinação, foram obtidos com a pressão de 300 kPa, nas três alturas de instalação do aspersor, no período de vento mais calmo ( $U_2 \leq 1,0 \text{ m.s}^{-1}$ ). Esta pressão média, portanto, é a mais recomendada para este modelo de aspersor em sistemas com linha única de aspersores.

TABELA 1. Resultados dos 27 testes de perfil de distribuição de água do aspersor NAAN 5035, sob diferentes pressões de serviço, altura do aspersor e condições de vento, com indicação dos coeficientes de determinação dos modelos polinomiais quadráticos ajustados.

Nº do Teste	Ha (m)	Ps (kPa)	Horário do teste	U <sub>2</sub> (m s <sup>-1</sup> )	Dv (graus)	r <sup>2</sup>	
						Norte/Sul	Leste/Oeste
1	2,0	200	6:00 as 7:00	0	-	0,644	0,682
2	2,0	200	11:00 as 12:00	2,23	128	0,707	0,681
3	2,0	200	16:00 as 17:00	1,19	159	0,719	0,729
4	2,0	300	6:00 as 7:00	0,13	120	0,875	0,889
5	2,0	300	11:00 as 12:00	3,32	142	0,533	0,532
6	2,0	300	16:00 as 17:00	2,15	158	0,668	0,675
7	2,0	400	6:00 as 7:00	0,35	245	0,827	0,865
8	2,0	400	11:00 as 12:00	2,75	154	0,556	0,550
9	2,0	400	16:00 as 17:00	1,39	162	0,752	0,731
10	1,5	200	6:00 as 7:00	1,46	221	0,716	0,805
11	1,5	200	11:00 as 12:00	1,78	184	0,696	0,739
12	1,5	200	16:00 as 17:00	1,91	169	0,737	0,739
13	1,5	300	6:00 as 7:00	0	-	0,899	0,866
14	1,5	300	11:00 as 12:00	0,64	120	0,786	0,780
15	1,5	300	16:00 as 17:00	1,14	127	0,754	0,729
16	1,5	400	6:00 as 7:00	0,16	130	0,869	0,861
17	1,5	400	11:00 as 12:00	2,18	132	0,628	0,606
18	1,5	400	16:00 as 17:00	1,64	142	0,717	0,710
19	1,0	200	6:00 as 7:00	0	-	0,876	0,881
20	1,0	200	11:00 as 12:00	2,65	187	0,536	0,506
21	1,0	200	16:00 as 17:00	2,36	184	0,591	0,650
22	1,0	300	6:00 as 7:00	0,03	140	0,892	0,915
23	1,0	300	11:00 as 12:00	1,43	132	0,732	0,700
24	1,0	300	16:00 as 17:00	2,58	135	0,658	0,642
25	1,0	400	6:00 as 7:00	0,25	221	0,724	0,795
26	1,0	400	11:00 as 12:00	1,01	132	0,720	0,698
27	1,0	400	16:00 as 17:00	2,47	128	0,655	0,652

Ha = altura do aspersor, Ps = pressão de serviço do aspersor, U<sub>2</sub> = velocidade do vento, Dv = direção do vento.

A Figura 3 demonstra como exemplo, as curvas com os melhores ajustes, segundo o valor de r<sup>2</sup>. Para cada eixo de coletores, norte/sul e leste/oeste, ajustou-se um modelo polinomial quadrático. As diferenças entre as curvas são devidas às condições de vento, pois a indicação de velocidade de vento nula pelo aparelho não significava necessariamente a sua ausência, podendo ter influenciado os perfis de distribuição.

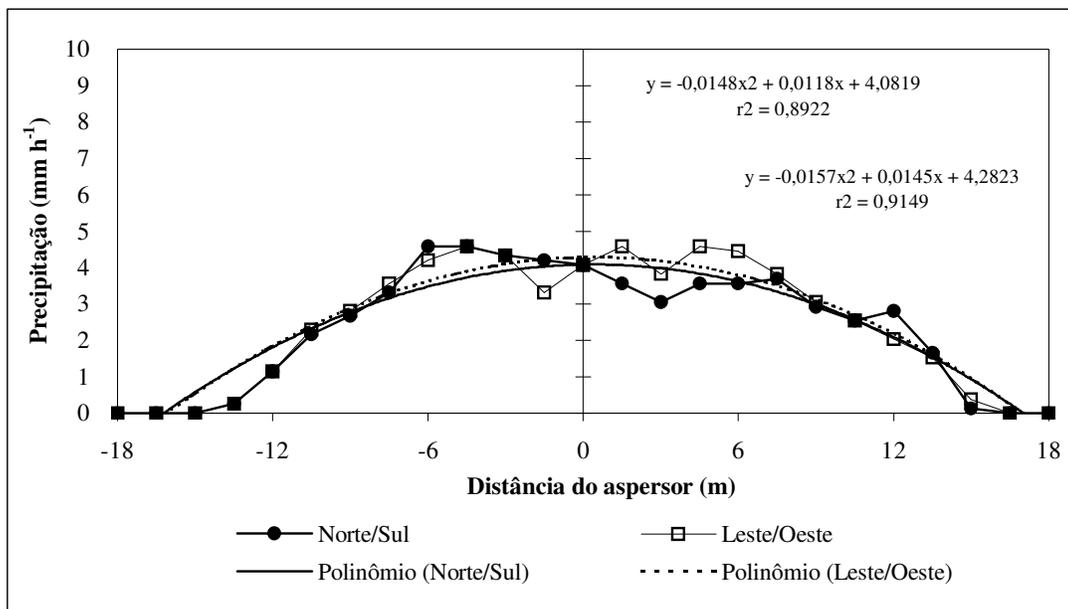


Figura 3. Precipitação do aspersor NAAN 5035 em função da distância radial, posicionado a 1,0 m de altura, sob pressão de serviço de 300 kPa e condições médias de vento de  $0,03 \text{ m s}^{-1}$ .

De acordo com a Figura 4, a pressão de 200 kPa pode ser considerada baixa, visto que o perfil assemelha-se a uma “rosquinha”, conforme descrito por Cuenca (1989). A pressão de 400 kPa proporcionou bons resultados (Figura 5), porém não melhores do que os obtidos com a pressão de 300 kPa, em parte devido à tendência da água em se acumular nas proximidades do emissor, além de o jato d’água ser mais susceptível à ação dos ventos. A análise dos perfis indica reduzida influência da altura do aspersor no perfil de distribuição de água, sendo que alturas menores proporcionaram resultados ligeiramente melhores em termos de distribuição de água.

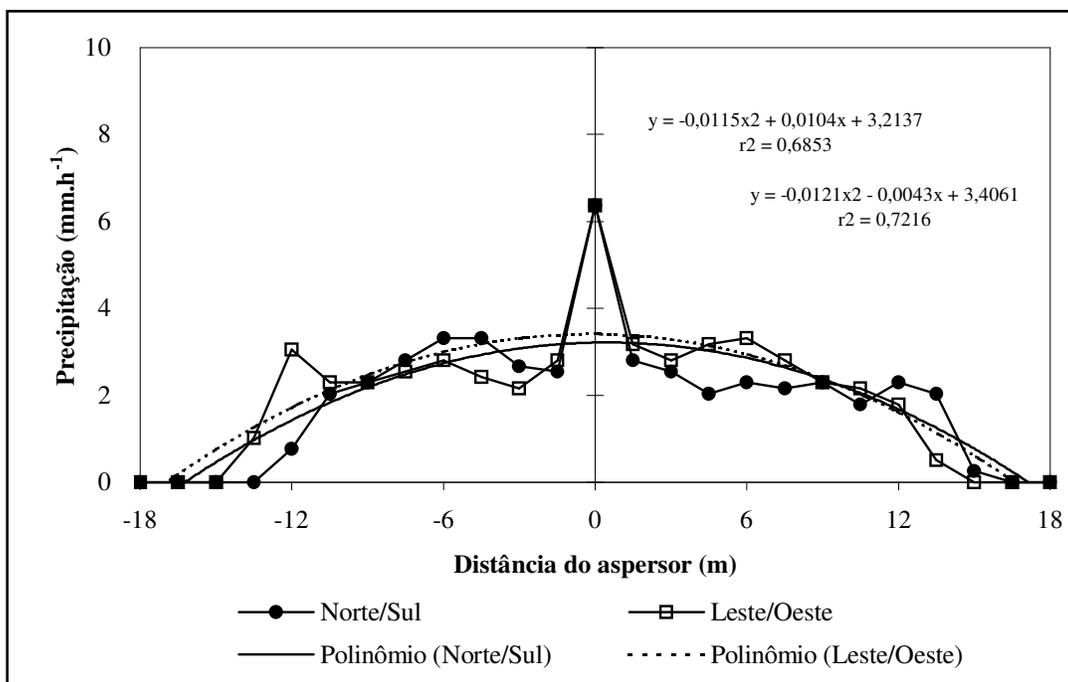


Figura 4. Precipitação do aspersor NAAN 5035 em função da distância radial, posicionado a 2,0 m de altura, sob pressão de serviço de 200 kPa e condições média de vento de 0 m s<sup>-1</sup>.

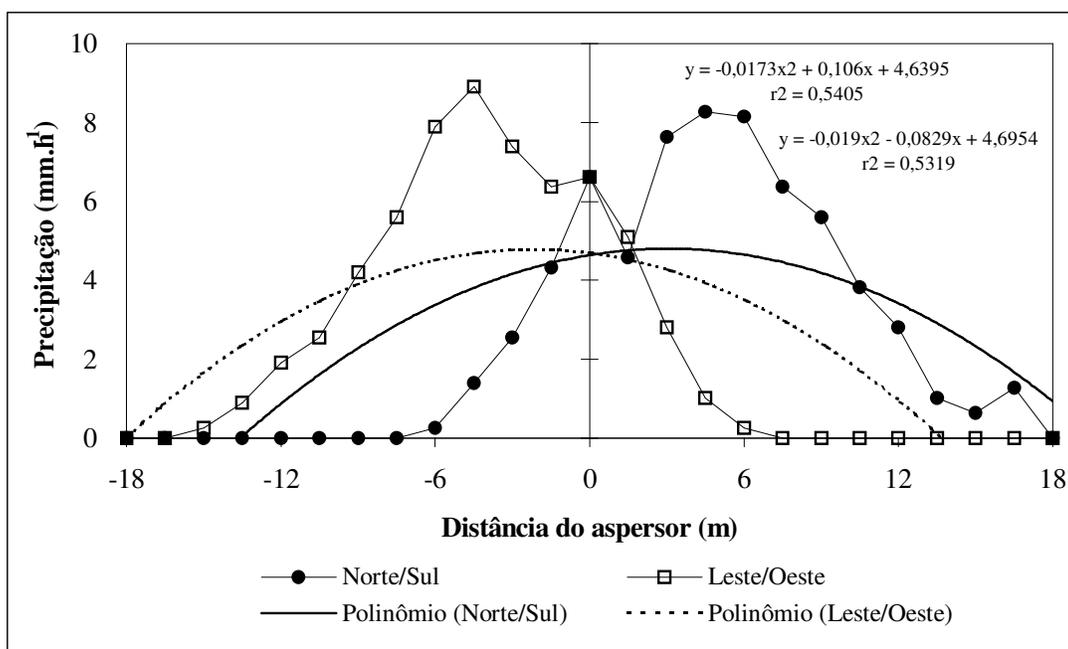


Figura 5 - Precipitação do aspersor NAAN 5035 em função da distância radial, posicionado a 2,0 m de altura, sob pressão de operação de 400 kPa e condições de médias de vento de 2,75 m s<sup>-1</sup>.

A Figura 6 evidencia o efeito do vento sobre o ajuste de um modelo polinomial aos dados de precipitação do aspersor em questão. Claramente se percebe, para as condições deste trabalho, tendência de decréscimo linear dos valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) com o aumento da velocidade do vento. Para valores de  $U_2$  iguais ou superiores a  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , os testes forneceram baixos valores de  $r^2$  com todos os arranjos.

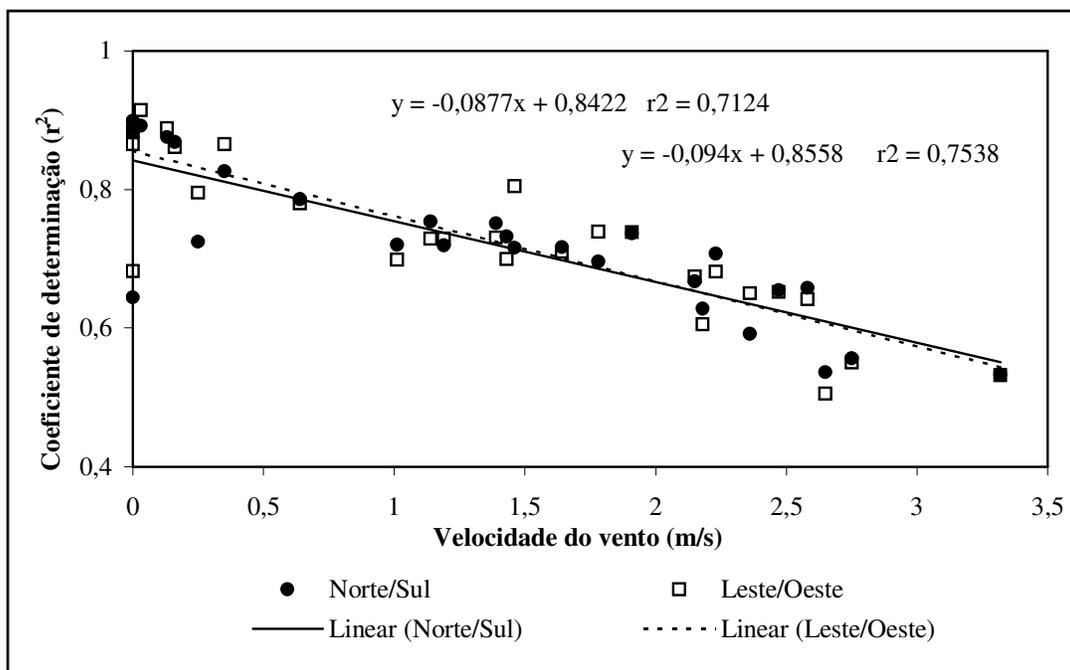


Figura 6. Variação do coeficiente de determinação dos modelos polinomiais ajustados aos dados de precipitação do aspersor versus a velocidade do vento observada durante os testes de campo.

## CONCLUSÕES

Para o aspersor NAAN 5035, a pressão de serviço de  $300 \text{ kPa}$  é a mais recomendada para fins de utilização em sistema de aspersão com uma única linha.

Para região de Cruz das Almas, irrigação deve ser feita, preferencialmente antes das 7 horas, quando ventos de menor velocidade ( $< 2,0 \text{ m s}^{-1}$ ) tendem a ocorrer.

O vento é o fator que mais afetou o perfil de distribuição de água do aspersor.

A altura de instalação do aspersor influenciou pouco no perfil de distribuição de água, deve ser escolhida em função da altura da cultura a ser estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária, 1995, 657p.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942, 124 p. (Boletim nº 670).

CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice Hall, 1989, 552p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1978. 212 p. (FAO Irrigation and Drainage 33).

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992, 53 p. (Série Didática 3).

HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P. E WILSON, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 40, p. 426-429, 1976.

JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. Flórida: Krieger Publishing Company, 1993, 543 p.

SCALOPPI, E. J. Metodologia para determinação de funções de produção da água. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 15, p. 31-33, 1983.

WILLARDSON, L. S.; OOSTERHUIS, D. M.; JOHNSON, D. A. Sprinkler selection for line-source irrigation systems. **Irrigation Science**, Amsterdã, v. 8, p. 65-76, 1987.

## **CAPÍTULO 2**

### **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO E AMENDOIM SOB SISTEMAS DE CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO NOS TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Agrometeorologia

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO E AMENDOIM SOB SISTEMAS DE CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO NOS TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA

**RESUMO:** Milho e amendoim são duas importantes culturas para os pequenos proprietários do Recôncavo Baiano, região onde a demanda por milho e amendoim verdes é alta especialmente na primeira metade do ano. São cultivados comumente em sistemas solteiros mas apresentam potencial para cultivo consorciado. A produção se concentra na primeira metade do ano, de Março a Junho, período em que a quantidade e distribuição das chuvas atendem à demanda hídrica das culturas. Na segunda metade do ano, as chuvas são menores, o que reduz a área plantada e a produção criando condições para o uso da irrigação. Com o objetivo de avaliar a evapotranspiração de cultivos solteiro e consorciado de milho e amendoim e derivar coeficientes de cultura, conduziu-se um experimento de campo no Campo Experimental II da Escola de Agronomia da UFBA, de Outubro de 2003 a Janeiro de 2004. Utilizou-se a técnica do balanço de água no solo. A área experimental foi irrigada por aspersão, sendo as lâminas de irrigação baseadas na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) determinada pelo método do tanque Classe A. Os métodos de Hargreaves, tanque Classe A e FAO Penman Monteith foram utilizados para determinação da ET<sub>o</sub>. A evapotranspiração máxima do milho solteiro, do amendoim solteiro e do sistema consorciado foram respectivamente de 6,3; 5,2 e 7,2 mm dia<sup>-1</sup>. O coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) do milho solteiro variou de 0,81 a 1,29; no caso do amendoim solteiro variou de 0,68 a 1,07 e no caso do consórcio, variou de 1,12 a 1,35.

**Palavras-chave:** coeficiente de cultura, irrigação, *Zea mays* L., *Arachis hypogaea* L., balanço de água no solo

**MAIZE AND GROUNDNUT EVAPOTRANSPIRATION UNDER  
MONO AND INTERCROPPING SYSTEMS IN THE  
TABULEIROS COSTEIROS REGION OF BAHIA**

**ABSTRACT:** Maize and groundnut are two important crops for small farmers in the Recôncavo Baiano region where demand for both green maize and groundnut is high mainly in the first half of the year. The crops are commonly planted as sole cropping systems but the potential for intercropping is also high. The growing season extends from March to June when the rain amount and distribution is enough to supply crop water needs. After that, the lack of rainfall lowers the planted area so that irrigation can be an alternative to stabilize the production in the dry period. To assess maize and groundnut evapotranspiration and to derive crop coefficients for irrigation scheduling, a field work was carried out at the School of Agronomy Experimental Station of the Federal University of Bahia. Sole cropping and intercropping systems of maize and groundnut were established under sprinkler irrigation, from October 2003 to January 2004. The field water balance technique was used to evaluate crop water consumption. The irrigation depth was based on daily measurements of evaporated water from a Class A pan. Reference ET was calculated using the Hargreaves, Class A pan and FAO Penman-Monteith methods. Maximum ET rate for maize sole cropping, groundnut sole cropping and intercropping was 6.3; 5.2 and 7.2 mm day<sup>-1</sup>, respectively. For sole cropped maize, Kc varied from 0.81 to 1.29; for sole cropped groundnut, it varied from 0.68 to 1.07 and for the intercropped maize-groundnut system, crop coefficient varied from 1.12 to 1.35.

**Key-words:** crop coefficient, *Zea mays* L., *Arachis hypogaea* L., soil water balance

## INTRODUÇÃO

Na região do Recôncavo Baiano predominam propriedades agrícolas menores que 5 ha que utilizam a produção para consumo próprio e gerar renda extra (Mendonça, 2001). Como o recurso terra é muito escasso para estes produtores, o que dificulta sua subsistência, é importante que seja utilizado da forma mais eficiente possível. Como esta região caracteriza-se pela concentração de chuvas no período de março a junho, quando não se conta com irrigação na propriedade, os agricultores praticamente só conseguem uma safra por ano. A irrigação viabilizaria pelo menos mais uma safra, melhorando as condições de subsistência destes agricultores. O milho e o amendoim são duas culturas de grande destaque nesta região e o cultivo consorciado destas culturas pode ser uma solução interessante para minimizar o problema de limitação de área.

Segundo Tsubo et al. (2003), o consórcio é tradicionalmente praticado por produtores de pequena escala nos trópicos e o consórcio entre cereais e leguminosas são a prática mais comum. O objetivo do consórcio de culturas é, segundo Negreiros et al. (2002), otimizar a utilização dos recursos ambientais e da área juntamente com a mão-de-obra na aplicação de insumos e tratamentos culturais. Segundo Pereira Filho et al. (1991), mais da metade do milho e quase todo o feijão no Brasil são produzidos sob sistema de consórcio. Segundo Morgado e Rao (1986), o cultivo consorciado não tinha recebido muita atenção dos pesquisadores porque é uma prática de pequenos agricultores, que não usam muito insumo e que esta prática seria substituída por cultivos isolados com o melhoramento das tecnologias, mas existem muitas evidências de que o plantio consorciado pode oferecer muitas vantagens com o uso de tecnologias melhoradas.

Neste contexto, a necessidade hídrica das culturas torna-se um aspecto muito importante, visto que é importante saber precisamente o consumo de água das culturas sob consórcio de modo a se ter condições de avaliar a eficiência do uso da água, que é de grande importância em regiões onde esta é escassa, de modo a se efetuar um manejo adequado da irrigação.

A evapotranspiração (ET) é a combinação de dois processos simultâneos que ocorrem na natureza: a evaporação e a transpiração. O primeiro é a perda de água da superfície do solo e o segundo é pela superfície das culturas. Como é

difícil separar um do outro, normalmente são estudados conjuntamente. Thornthwaite (1948), introduziu o termo evapotranspiração potencial, definido-o como a perda máxima de água por uma superfície com umidade do solo ótima e cobertura vegetal em pleno desenvolvimento, cobrindo completamente o solo e em grandes dimensões, de modo a minimizar os efeitos de advecção local. Como a ET é dependente de vários fatores, tais como elementos climáticos, características da cultura, manejo e aspectos ambientais, estabeleceu-se o conceito de evapotranspiração da cultura de referência (ET<sub>o</sub>), que toma como padrão uma cultura hipotética (Allen et. al., 1998). Esta cultura equivale à grama com altura de 0,12 m, resistência da superfície em torno de 70 s.m<sup>-1</sup> e albedo de 0,23.

Segundo Doorenbos e Pruitt (1992), relaciona-se o valor da ET<sub>o</sub> com a evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>c</sub>) através do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), que é a razão ET<sub>c</sub>/ ET<sub>o</sub>. Segundo Doorenbos e Kassam (1978), o coeficiente de cultura varia conforme a cultura, fase de desenvolvimento da mesma e com a umidade relativa e velocidade do vento.

O balanço de água no solo é um dos métodos para se obter a ET<sub>c</sub>. O método consiste em se contabilizar o fluxo de entrada e saída de água da zona radicular em um dado intervalo de tempo. A Figura 1 esquematiza os componentes do balanço hídrico. Alguns dos componentes, segundo Allen et. al. (1998), como o fluxo subsuperficial, a percolação profunda e a ascensão capilar são difíceis de se determinar e em curtos períodos de tempo (<24 h) não devem ser considerados. O balanço de água no solo normalmente nos fornece a ET para períodos da ordem de sete ou dez dias.

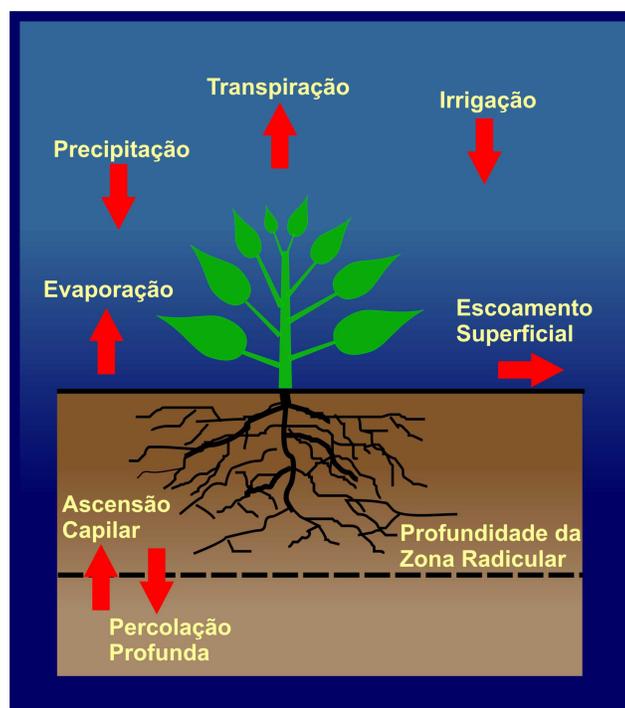


Figura 1. Balanço da água no solo na zona radicular.

Diversos métodos são utilizados para se determinar a variação de umidade no solo. O método gravimétrico e os lisímetros de pesagem são exemplos de métodos diretos de determinação da umidade. Segundo Kramer e Boyer (1995), a maioria das medidas de umidade do solo são feitas por métodos indiretos, relacionando o conteúdo de água no solo com algum tipo de procedimento de calibração. Sonda de nêutrons, atenuação de raios gama, capacitância elétrica, condutância elétrica e térmica, são alguns exemplos de métodos indiretos de determinação de umidade no solo.

Gallardo et al. (1996), através de gravimetria, estimaram o consumo de água pela cultura da alface. Tolk et al. (1998), através de lisímetros de pesagem, determinaram a evapotranspiração do milho em três tipos de solo e Tyagi et al. (2003), utilizando também lisímetros de pesagem, determinaram a evapotranspiração do milho e do trevo bersim na Índia. Karam et al. (2003), com uso de lisímetros de pesagem, mediram a evapotranspiração do milho no Líbano com irrigação completa e com déficit e Howel et al. (1998), através de lisímetro de pesagem, mediram a evapotranspiração de milho híbrido no Texas. Na Planície Norte da China, Zhang et al. (2004), com utilização de sonda de nêutrons, determinaram a evapotranspiração de milho e trigo.

Antonino et al. (1999), determinaram a evapotranspiração real das culturas de milho e feijão pelo método do balanço hídrico em Coxixola, Paraíba. A variação de umidade no solo foi determinada pela sonda de nêutrons e o escoamento superficial e a drenagem profunda foram considerados nulos. Elliot et al. (1988), monitorando a umidade do solo com sonda de nêutrons, determinaram os coeficiente de cultura do amendoim, derivados a partir da relação entre a evapotranspiração do amendoim e da alfafa. Fares e Alva (1999), estimaram a evapotranspiração do citrus, utilizando o método do balanço hídrico e medindo a variação de umidade através de uma sonda de capacitância. Ibrahim et al. (2002), determinaram a evapotranspiração do sorgo e do amendoim através de uma sonda de nêutrons em Gezira, Sudão.

O objetivo deste trabalho foi, através de balanço de água no solo, obter a evapotranspiração do milho e do amendoim solteiro e do consorcio milho e amendoim nas condições agroclimáticas do Recôncavo Baiano e determinar os coeficientes de cultivo para cada sistema de plantio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi implantado e conduzido no Campo Experimental II da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, localizada no município de Cruz das Almas (latitude 12°40'39" S, longitude 39°06'23" W, altitude 225 m).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por chuvas inferiores a 60 mm no mês mais seco (Castro Neto e D'Angiolella, 1998). A Tabela 1 apresenta dados meteorológicos médios observados durante o experimento. O solo é caracterizado como Latossolo vermelho-amarelo álico coeso. A Tabela 2 apresenta algumas características físicas deste solo.

Tabela 1. Valores médios mensais de parâmetros meteorológicos de Cruz das Almas, BA, durante o período de experimentação, adquiridos da estação meteorológica convencional do INMET, instalada na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2003-2004

Mês	P <sub>atm</sub> (mbar)	T (°C)			P (mm)	UR (%)	I (horas)		U <sub>2</sub> (m s <sup>-1</sup> )
		Méd.	Máx.	Min.			total	média	
out-03	990,7	23,7	29,1	20,1	31,2	78,0	187,4	6	4,2
nov-03	988,1	24,6	29,4	21,4	108,7	81,0	201,1	6,7	4,0
dez-03	987,9	25,7	31,4	22,2	21,3	74,5	243,3	7,8	3,8
jan-04	986,3	25,4	30,6	22,4	253,9	80,1	170,1	5,5	3,4
Média	988,2	24,8	30,1	21,5	103,7	78,4	200,4	6,5	3,8

P<sub>atm</sub> = pressão atmosférica; T = temperatura do ar; P = precipitação; UR = umidade relativa; I = insolação; U<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura

Tabela 2. Algumas características físicas e de retenção de umidade do solo (Aguiar Netto et al., 1999)

Horizonte	Textura	P (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Dap (kg dm <sup>-3</sup> )	Umidade			
				PMP (Ψ <sub>m=-1500</sub> kPa)	CC		AD (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
				Ψ <sub>m</sub> (-kPa)	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
A <sub>p</sub>	Areia franca	0,34	1,73	0,075	10	0,157	0,082
A <sub>2</sub>	Franco-arenoso	0,35	1,71	0,091	10	0,198	0,107
AB	Franco-argilo-arenoso	0,37	1,64	0,128	19	0,216	0,088
BA	Franco-argilo-arenoso	0,42	1,55	0,120	18	0,205	0,085
B <sub>w1</sub>	Franco-argilo-arenoso	0,42	1,53	0,124	15	0,213	0,089

P = porosidade total; Dap = densidade aparente; PMP = ponto de murcha permanente; CC = capacidade de campo; AD = água disponível

A cultivar de milho usada no experimento foi a Cati Verde 02, uma variedade precoce, com ciclo de 85 dias para ser colhido verde. A cultivar de amendoim foi o casca lisa, variedade Maranhão, utilizado pelos produtores da região. O milho solteiro foi plantado no espaçamento de 0,20 m x 1,00 m, resultando numa densidade de plantio de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A parcela experimental foi composta de quatro fileiras de 4 m cada, totalizando 80 plantas. O amendoim solteiro foi plantado no espaçamento 0,10 m x 0,50 m, conferindo uma densidade de plantio de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>a. A parcela experimental foi composta de oito fileiras de 4 m cada, contendo um total de 320 plantas. No cultivo consorciado manteve-se tanto para o milho quanto para o amendoim o espaçamento dos cultivos solteiro. A disposição das parcelas experimentais é mostrado na Figura 2, com indicação da distância em relação a linha de aspersores.

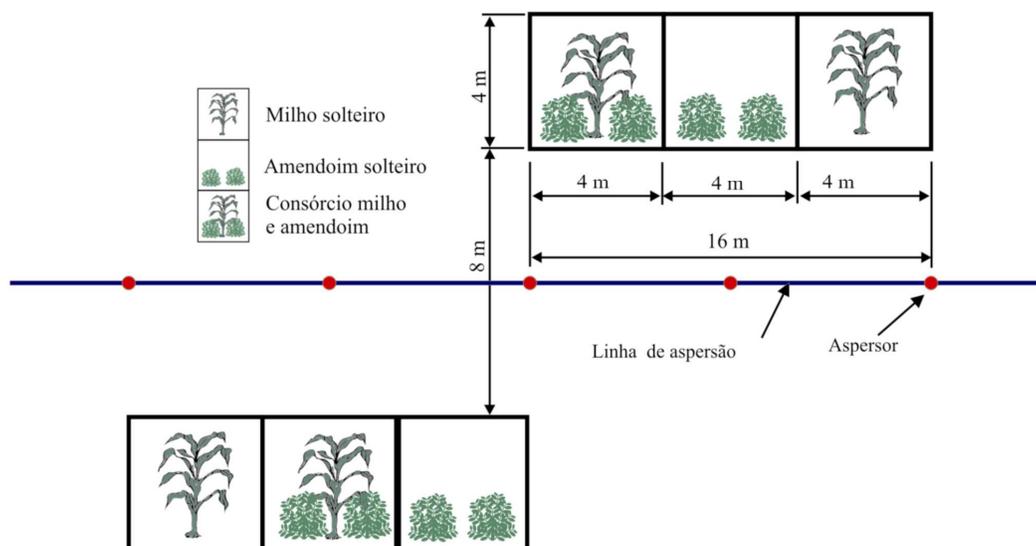


Figura 2. Disposição das parcelas experimentais

Para determinação da evapotranspiração da cultura, utilizou-se o método do balanço hídrico. O balanço hídrico num determinado volume de controle de solo de profundidade de 0 a L, durante um determinado intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , é regido pela lei da conservação da massa. Em sua apresentação mais simples, o balanço hídrico pode ser dado por:

$$\Delta A = I + P \pm D - ET \pm R_o \quad (1)$$

onde  $\Delta A$  = variação do conteúdo de água do solo na camada de 0 a L, ou seja,  $(\theta_2 - \theta_1) \cdot L$ ; I = quantidade de água que chega à superfície do solo via irrigação; P = quantidade de água que chega à superfície do solo via precipitação; D = quantidade de água que flui através do limite inferior do volume de solo, na profundidade L, denominada drenagem profunda quando negativa e ascensão capilar quando positiva; ET = quantidade de água que deixa o volume de controle devido à evapotranspiração e  $R_o$  = quantidade de água não infiltrada que escoia superficialmente, podendo ser positiva ou negativa.

A variação do armazenamento de água ( $\Delta A$ ) pode ser positiva ou negativa dependendo da magnitude dos demais componentes do balanço hídrico na Equação 1.

A precipitação (P) foi medida com um pluviômetro instalado próximo à área experimental, com secção de captação a 2 m de altura.

A irrigação foi feita por aspersão convencional e a lâmina de água efetivamente aplicada às parcelas foi assumida como sendo igual à lâmina média de água coletada em cinco de coletores com seção de captação de diâmetro de 100 mm (Frizzone, 1992). Após cada irrigação, a água interceptada em cada coletor foi medida e anotada. As lâminas individuais foram então totalizadas para obtenção da lâmina média aplicada (I).

O momento de irrigar foi determinado por tensiômetros instalados nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m, dentro da parcela com cultivo consorciado, que teoricamente é a de maior demanda hídrica. De acordo com Haise e Hagan (1967), a umidade crítica para irrigação do amendoim corresponde ao potencial matricial de  $-30$  kPa e para o milho  $-50$  kPa. Quando qualquer um dos tensiômetros atingiu o valor de  $-30$  kPa, foi realizada a irrigação. A leitura do potencial matricial nos tensiômetros foi feita por meio de um tensímetro digital (Soil Measurement Systems, Az, USA).

A quantidade de água aplicada via irrigação foi determinada através da leitura da lâmina evaporada num tanque classe A, instalado próximo ao experimento.

Em função do tamanho da área experimental e da ausência de declive, o escoamento superficial ( $R_o$ ) foi assumido negligível.

A variação de umidade no solo foi monitorada por uma sonda de capacitância, modelo Sentry 200-AP (Troxler Laboratories, Inc., NC, USA), nas profundidades de 0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10 e 1,30 m. Para tanto foram instalados no centro de cada parcela, tubos de PVC para acesso da sonda de 60 mm de diâmetro externo e 1,50 m de comprimento. Este equipamento utiliza o método da constante dielétrica que é a capacidade de um material não condutor em transmitir ondas ou pulsos eletromagnéticos de alta frequência. A constante dielétrica da água (80) é muito maior que a da matriz do solo (2 a 5) o que faz com que mudanças na umidade do solo afetem fortemente a constante dielétrica do sistema solo-água-ar. Esta técnica denomina-se Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), onde um par de eletrodos é inserido no solo, o circuito de capacitância é completo pelas propriedades do solo, como a dielétrica, que é parte de uma curva de resposta de um transmissor oscilador de alta frequência. A capacitância do solo é relacionada com a constante dielétrica do solo pela geometria do campo elétrico estabelecido em volta dos eletrodos. Com a devida

calibração, a sonda fornece diretamente o valor da umidade do solo. A sonda foi calibrada para o solo em questão e as suas equações de calibração utilizadas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Equações de calibração da sonda de capacitância, modelo Sentry 200-AP para um Latossolo vermelho-amarelo álico coeso em diferentes profundidades

Prof.	Equação	Coefficiente de determinação
10	$\theta = \frac{1}{-0,02771} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-2258,9}\right)$	$r^2 = 0,983$
30	$\theta = \frac{1}{-0,03077} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-2136,9}\right)$	$r^2 = 0,969$
50	$\theta = \frac{1}{-0,02147} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-1754,1}\right)$	$r^2 = 0,856$
70	$\theta = \frac{1}{-0,02052} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-1716,5}\right)$	$r^2 = 0,889$
90	$\theta = \frac{1}{-0,01931} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-1712,2}\right)$	$r^2 = 0,942$
110	$\theta = \frac{1}{-0,01506} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-1576,8}\right)$	$r^2 = 0,819$
130	$\theta = \frac{1}{-0,01506} \cdot \ln\left(\frac{D - 5083}{-1576,8}\right)$	$r^2 = 0,819$

$\theta$  = umidade (%); D = Leitura da sonda

A ascensão capilar foi considerada nula, visto que o lençol freático da referida área é muito profundo. A drenagem profunda foi considerada negligível, visto que não houve chuva significativa no período e que a irrigação foi feita para suprir a necessidade da planta.

A Figura 3 esquematiza a distribuição dos equipamentos no campo, para determinação do balanço hídrico das culturas de milho e amendoim.

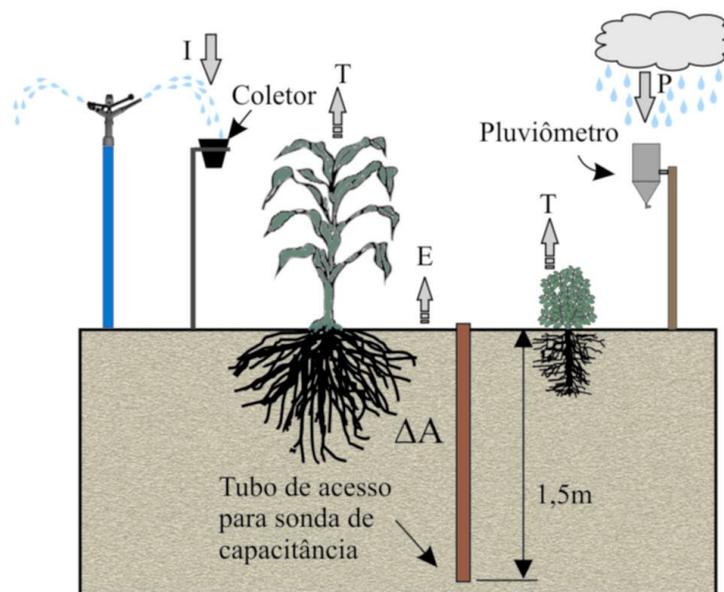


Figura 3. Representação esquemática dos equipamentos utilizados para o balanço hídrico numa profundidade controlada de solo

Resolvendo-se o balanço hídrico para determinação da evapotranspiração da cultura durante o intervalo de tempo  $\Delta t$ , a Equação 1 assume a seguinte forma:

$$ET_c = \frac{(I + P - \Delta A)}{\Delta t} \quad (2)$$

onde  $ET_c$  = evapotranspiração média da cultura ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ); e  $\Delta t$  = intervalo de tempo (dia) entre duas leituras de armazenamento consecutivas. Os demais componentes foram identificados anteriormente. Na Equação 2, os componentes do balanço são expressos em mm.

Através de dados meteorológicos coletados na estação meteorológica convencional do INMET, instalada na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, a aproximadamente 5 km a sudeste da área experimental, calculou-se os valores médios de evapotranspiração da cultura de referência ( $ET_o$ ). Para isso foram utilizados os métodos de Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985); FAO Penman-Monteith (Allen et. al, 1998) e do tanque Classe A. O coeficiente do tanque foi determinado pela equação de Snyder (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(F) - 0,000376 \cdot U + 0,0045 \cdot UR \quad (3)$$

onde  $K_p$  = coeficiente do tanque;  $F$  = distância do centro do tanque ao limite da área de bordadura (m);  $U$  = velocidade do vento ( $\text{km d}^{-1}$ );  $UR$  = umidade relativa do ar (%).

O balanço hídrico durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  fornece a  $ET_c$  média diária e o correspondente coeficiente de cultivo  $K_c$  foi obtido através da seguinte relação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (4)$$

onde  $K_c$  = coeficiente de cultura basal e  $ET_o$  = evapotranspiração da cultura de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado pelo método do disco, adaptado de Benicasa (1988), onde se relacionou a massa seca de dez discos de diâmetro 1,1 cm com a massa seca das folhas, para determinação da área foliar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes do balanço hídrico começaram a ser medidos a partir de 40 dias após a semeadura, quando as culturas estavam estabelecidas. Desta forma, até o final do ciclo, foram 7 semanas de intervalo de dados. Os dados do balanço hídrico do milho e amendoim solteiros e do consórcio milho e amendoim encontram-se na Tabela 4. A evapotranspiração do consórcio milho amendoim foi em média 22% maior que a do milho solteiro e 42% maior que a do amendoim solteiro. O milho evapotranspirou em média 16% a mais que o amendoim.

Oliveira et al. (1993), encontraram em São Desidério, BA, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, valores de evapotranspiração de milho variando de  $2,49 \text{ mm d}^{-1}$  a  $8,02 \text{ mm d}^{-1}$ , com o valor máximo sendo alcançado na fase de formação de espiga. Rhoads e Bennet (1990), reportaram valores de ET para o milho de 5 a  $9,8 \text{ mm d}^{-1}$ , com valores máximos principalmente após o total fechamento pela cultura. Em estudo de ET de milho híbrido em diferentes maturidades, Howell et al. (1998), encontraram um pico de ET de 13 mm num único dia, mas muitas vezes excedendo  $10 \text{ mm d}^{-1}$ , em Bushland, no Texas. Nos Pampas Argentinos, Corcova et al. (2000), encontraram para milhos híbridos precoces, ET variando de 2,2 a  $5,5 \text{ mm d}^{-1}$ . Karam et al. (2003), através de lisímetros de drenagem, encontraram valores de ET de milho, no Vale de Bekaa,

no Líbano, entre 2 e 15 mm.d<sup>-1</sup>. Em Kaal, na Índia, Tyagi et al. (2002), através de lisímetro pesagem, determinaram a ET do milho, que variou de menos de 2,8 a mais de 4 mm d<sup>-1</sup>, com pico de 7,7 mm d<sup>-1</sup>.

Peterschmitt e Perrier (1991), conduziram um experimento em Tamil Nadu, Índia, onde determinaram a evapotranspiração do amendoim, com valores variando entre 3 e 6 mm d<sup>-1</sup>, com valor médio de 4,5 mm d<sup>-1</sup>. Elliot et al. (1988), conduziram experimento no Condado de Caddo, Oklahoma, onde determinaram a evapotranspiração do amendoim, obtendo um valor máximo de 10 mm.d<sup>-1</sup>. Boote e Ketring (1990), relataram valores de ET para amendoim de 6,9 a 8 mm d<sup>-1</sup>, com picos de 10 mm d<sup>-1</sup>, em curtos períodos de alta demanda evaporativa.

Tabela 4. Balanço hídrico do milho solteiro, do amendoim solteiro e do consórcio milho e amendoim

Cultivo	Repetição	Período	$\Delta t$ (dias)	I (mm)	P (mm)	A <sub>ini</sub> (mm)	A <sub>fin</sub> (mm)	$\Delta A$ (mm)	ETc (mm.dia <sup>-1</sup> )
Milho Solteiro	1	26/11 a 02/12	6	17,55	7,4	236	233	-3	4,66
		02/12 a 09/12	7	31,17	0	233	224	-9	5,74
		09/12 a 16/12	7	45,00	11,0	224	236	12	6,29
		16/12 a 23/12	7	51,94	3,7	236	250	14	5,95
		23/12 a 30/12	7	21,37	2,3	250	235	-15	5,52
		30/12 a 06/01	7	60,04	0	235	261	26	4,86
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	261	325	64	4,17
	2	26/11 a 02/12	6	21,04	7,40	212	213	1	4,57
		02/12 a 09/12	7	68,94	-	213	244	31	5,42
		09/12 a 16/12	7	40,08	11,0	244	251	7	6,30
		16/12 a 23/12	7	50,31	3,7	251	262	11	6,14
		23/12 a 30/12	7	23,46	2,3	262	250	-12	5,39
		30/12 a 06/01	7	64,56	0	250	279	29	5,08
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	279	342	63	4,31
Amendoim solteiro	1	26/11 a 02/12	6	17,55	7,4	193	195	2	3,83
		02/12 a 09/12	7	31,17	0	192	189	-3	4,88
		09/12 a 16/12	7	45	11,0	189	208	19	5,29
		16/12 a 23/12	7	51,94	3,7	208	228	20	5,09
		23/12 a 30/12	7	21,37	2,3	228	219	-9	4,67
		30/12 a 06/01	7	60,04	0	219	246	27	4,72
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	246	315	69	3,46
	2	26/11 a 02/12	6	21,04	7,4	237	241	4	4,07
		02/12 a 09/12	7	68,94	0	241	277	36	4,71
		09/12 a 16/12	7	40,08	11	277	292	15	5,15
		16/12 a 23/12	7	50,31	3,7	292	311	19	5,00
		23/12 a 30/12	7	23,46	2,3	311	304	-7	4,68
		30/12 a 06/01	7	64,56	0	304	335	31	4,79
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	335	403	68	3,60
Consórcio milho e amendoim	1	26/11 a 02/12	6	17,55	7,4	278	270	-8	5,49
		02/12 a 09/12	7	31,17	-	270	254	-16	6,74
		09/12 a 16/12	7	45,00	11,0	254	260	6	7,14
		16/12 a 23/12	7	51,94	3,7	260	268	8	6,81
		23/12 a 30/12	7	21,37	2,3	268	245	-23	6,67
		30/12 a 06/01	7	60,04	0	245	259	14	6,58
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	259	313	54	5,60
	2	26/11 a 02/12	6	21,04	7,4	203	197	-6	5,74
		02/12 a 09/12	7	68,94	-	197	218	21	6,85
		09/12 a 16/12	7	40,08	11,0	218	218	0	7,30
		16/12 a 23/12	7	50,31	3,7	218	223	5	7,00
		23/12 a 30/12	7	23,46	2,3	223	202	-21	6,68
		30/12 a 06/01	7	64,56	0	202	221	19	6,51
		06/01 a 13/01	7	0	93,2	221	275	54	5,60

$\Delta t$  = intervalo de tempo; I = lâmina de irrigação; P = precipitação; A<sub>ini</sub> = armazenamento inicial; A<sub>fin</sub> = armazenamento final;  $\Delta A$  = variação de armazenamento; Etc = evapotranspiração da cultura.

Observa-se pela Figura 4 que a evapotranspiração máxima, no milho solteiro, no amendoim solteiro e no consórcio milho e amendoim (6,29; 5,22 e 7,22 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente), ocorreu na oitava semana após semeadura.

Coincidindo com o término do período de maior taxa de crescimento foliar para o amendoim, onde o IAF aumentou 0,18 por dia, da sexta para oitava semana após semeadura, que foi o período de formação e enchimento das vagens. O milho, da quarta para sexta semana, teve a maior taxa de crescimento foliar, da ordem de 0,11 por dia. Da sexta para oitava semana teve taxa menor, 0,03 por dia, mas a ET máxima coincidiu com a formação da espiga, pois o embonecamento iniciou-se dias antes da oitava semana após semeadura. Isto é um indicativo que se deve ter mais cuidado com o suprimento de água na fase de formação das espigas, no caso do milho e na fase de formação das vagens para o amendoim.

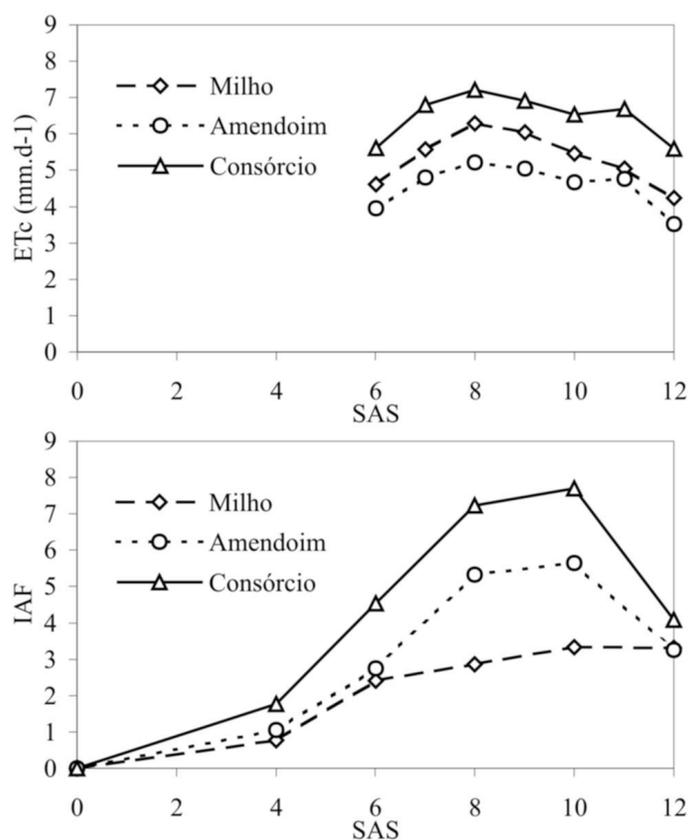


Figura 4. Evapotranspiração e índice de área foliar do milho solteiro, do amendoim solteiro e do consórcio milho e amendoim

Os valores de evapotranspiração de referência média semanal, determinada pelos métodos de Hargreaves, do tanque Classe A e FAO Penman-Monteith, são mostrados na Tabela 3. Verifica-se que, em média, o método do tanque Classe A,

superestimou a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em comparação com os outros dois o que concorda com os resultados obtidos por Santana (2002), para a mesma localidade.

Tabela 3. Evapotranspiração média semanal (mm d<sup>-1</sup>), estimada por diferentes métodos

Métodos de ET <sub>o</sub>	Semanas após semeadura							média
	6	7	8	9	10	11	12	
Harg	4,88	5,39	4,86	5,17	4,90	5,42	5,23	5,12
TCA	5,24	6,40	5,76	5,97	5,80	6,17	5,16	5,78
FAO PM	5,00	5,30	5,51	5,28	4,85	5,23	4,57	5,10

A Figura 5 apresenta os valores dos coeficientes de cultura do milho solteiro, do amendoim solteiro e do consórcio milho e amendoim determinados para cada semana após semeadura a partir de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.

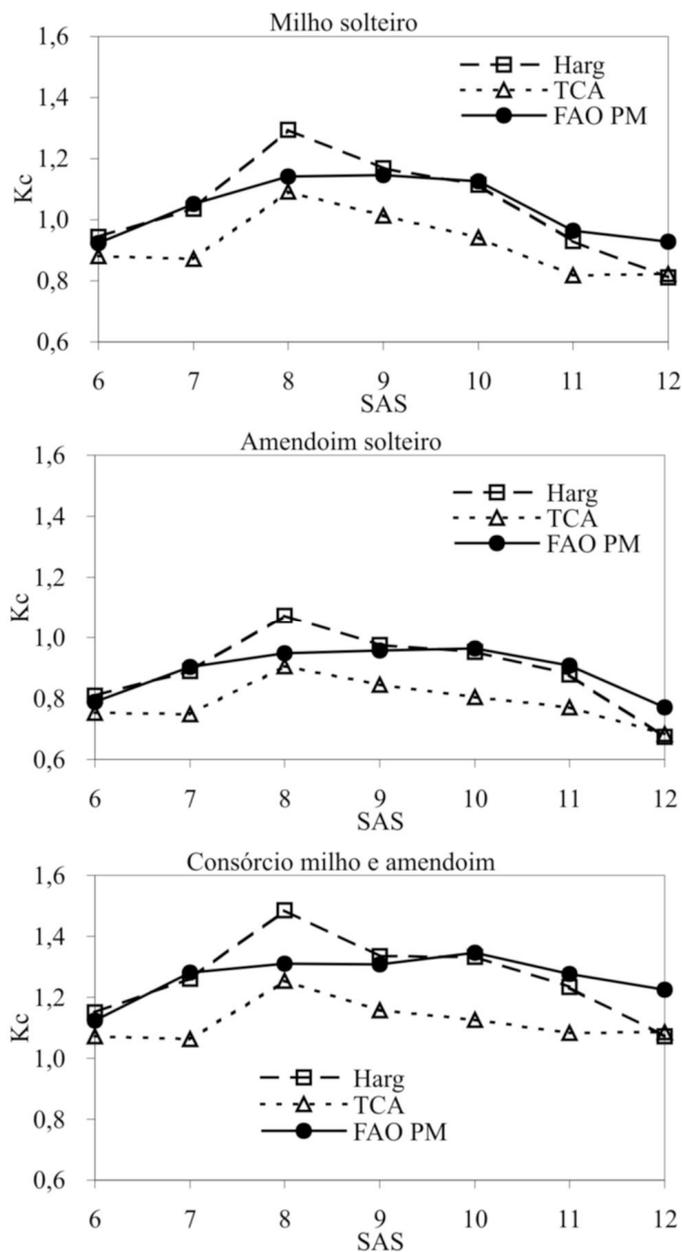


Figura 5. Coeficientes de cultura do milho solteiro, do amendoim solteiro e do consórcio milho e amendoim determinados para cada semana após semeadura (SAS) a partir de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência.

Os valores de Kc para o consórcio milho amendoim variaram de 1,07 a 1,49, segundo o método de Hargreaves; de 1,06 a 1,25 segundo o método do tanque Classe A; e de 1,12 a 1,31 segundo o método FAO Penman-Monteith.

Os valores de  $K_c$  para o milho variaram de 0,81 a 1,29, segundo o método de Hargreaves; de 0,82 a 1,09 segundo o método do tanque Classe A; e de 0,92 a 1,15 segundo o método FAO Penman-Monteith. Doorenbos e Kassam (1978), recomendaram valores de  $K_c$  para o milho doce de 0,3 a 0,5 no estágio inicial, de 0,7 a 0,9 no estágio de desenvolvimento, de 1,05 a 1,2 no período intermediário, de 1,0 a 1,15 no estágio final e de 0,95 a 1,1 na colheita; sendo o primeiro valor para umidade elevada ( $UR > 70\%$ ) e vento fraco ( $U_2 < 5 \text{ m s}^{-1}$ ) e o segundo para umidade baixa ( $UR < 20\%$ ) e vento forte ( $U_2 > 5 \text{ m s}^{-1}$ ). Doorenbos e Pruitt (1992), recomendam valores de  $K_c$  para o milho doce, no período intermediário com umidade elevada ( $UR > 70\%$ ), de 1,05 a 1,1; e com umidade baixa ( $UR < 20\%$ ), de 1,15 a 1,2; e com cultura cobrindo totalmente o solo com umidade elevada ( $UR > 70\%$ ), de 0,95 a 1,0; e com umidade baixa ( $UR < 20\%$ ), de 1,05 a 1,1; sendo o primeiro valor para vento fraco ( $0-5 \text{ m s}^{-1}$ ) e o segundo para vento forte ( $5-8 \text{ m s}^{-1}$ ). Para fase inicial, Doorenbos e Pruitt (1992), sugerem que o  $K_c$  seja determinado por interpolação de um diagrama que relaciona o valor da  $ETo$  com o  $K_c$  dependendo da frequência de irrigação ou chuva no período. Karam et al. (2003), encontraram para o milho, valores de  $K_c$  variando de 0,45 a 1,1. Oliveira et al. (1993), encontraram valores de  $K_c$  para milho variando de 0,41, no período inicial de crescimento das plantas a 1,16, para fase de formação da espiga. Ajustando os valores de  $K_c$  a uma curva quadrática, obteve-se um valor máximo teórico de  $K_c$  de 1,07. Tyagi et al. (2003) estimaram os valores de  $K_c$  para o milho pelo método de Penman-Monteith para quatro estágios de desenvolvimento, inicial, desenvolvimento da cultura, meia estação e maturidade, e foram 0,55; 1,00; 1,23 e 0,64 respectivamente.

Os valores de  $K_c$  para o amendoim variaram de 0,68 a 1,07, segundo o método de Hargreaves; de 0,75 a 0,91 segundo o método do tanque Classe A; e de 0,77 a 0,96 segundo o método FAO Penman-Monteith. Doorenbos e Kassam (1972), recomendam valores de  $K_c$  para o amendoim de 0,4 a 0,5 no estágio inicial; de 0,7 a 0,8 no estágio de desenvolvimento; de 0,95 a 1,1 no estágio intermediário; de 0,7 a 0,85 no estágio final e de 0,55 a 0,6 na colheita; sendo o primeiro valor para umidade elevada ( $UR > 70\%$ ) e vento fraco ( $U_2 < 5 \text{ m s}^{-1}$ ) e o segundo para umidade baixa ( $UR < 20\%$ ) e vento forte ( $U_2 > 5 \text{ m s}^{-1}$ ). Doorenbos e Pruitt (1992), recomendam valores de  $K_c$  para o amendoim, no período intermediário com umidade elevada ( $UR > 70\%$ ), de 0,95; e com umidade baixa

(UR<20%), de 1,05 a 1,1; e com cultura cobrindo totalmente o solo com umidade elevada (UR>70%), de 0,75; e com umidade baixa (UR<20%), de 0,8 a 0,85; sendo o primeiro valor para vento fraco (0-5 m s<sup>-1</sup>) e o segundo para vento forte (5-8 m s<sup>-1</sup>). Elliot et al. (1988) obteve uma equação para estimativa do Kc através de uma curva polinomial de terceira ordem, em relação a fração do ciclo da cultura, sugerindo um valor mínimo de 0,4. Peterschmitt e Perrier (1991), determinaram o coeficiente de cultivo do amendoim para condições secas e úmidas, obtendo valores de 0,69 e 1,1 respectivamente. Boote e Ketring (1990), reportam valores de Kc de 0,3 a 1,00 para o amendoim.

Os valores de Kc para o consórcio milho e amendoim variaram de 1,07 a 1,49, segundo o método de Hargreaves; de 1,07 a 1,25 segundo o método do tanque Classe A; e de 1,12 a 1,35 segundo o método FAO Penman-Monteith.

Determinou-se para cada curva de Kc, a curva polinomial que mais se ajustava, com seus resultados constantes da Tabela 4. Nota-se que para todos os sistemas de cultivo, as curvas polinomiais das equações de Kc gerado a partir de dados de ETo pelo método FAO Penman-Monteith, foram as que melhor ajuste apresentaram, seguidas pelo método de Hargreaves e do tanque Classe A. Este resultado já era esperado, pois quando se tem um método que engloba mais dados climáticos, cada dado isolado apresenta menor influência no resultado final. Isto é confirmado pela maior dispersão do método do tanque Classe A, que conta principalmente com dado de evaporação, sendo o método mais sensível a mudanças deste valor. É conveniente, portanto utilizar-se do método FAO Penman-Monteith para estimativa da ETo, quando se desejar determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) através da utilização do coeficiente de cultivo. É evidente que este método é o melhor, visto ser o considerado padrão pela FAO, mas pode ser inviabilizado quando não se dispõe dos dados meteorológicos necessários. Por este motivo, procedeu-se à determinação do Kc através de outros métodos que utilizam dados de mais fácil aquisição. Assim, recomenda-se utilizar a equação de Kc para determinação da ETc correspondente ao método de determinação de ETo correspondente.

Tabela 4. Equações para estimativa do coeficiente de cultivo (Kc) para utilização com evapotranspiração de referência determinada pelos métodos de Hargeaves, tanque Classe A e FAO Penman-Monteith.

Cultivo	Método de estimativa da ETo	Equação	Coefficiente de determinação
Milho solteiro	Harg	$Kc = 0,0042SAS^3 - 0,1516SAS^2 + 1,6404SAS - 4,3848$	r2 = 0,89
	TCA	$Kc = 0,0041 SAS^3 - 0,1312SAS^2 + 1,3118SAS - 3,1967$	r2 = 0,67
	FAO PM	$Kc = 0,0031SAS^3 - 0,1079SAS^2 + 1,1719SAS - 2,8939$	r2 = 0,93
Amendoim solteiro	Harg	$Kc = -3E-05SAS^3 - 0,0299SAS^2 + 0,525SAS - 1,2693$	r2 = 0,91
	TCA	$Kc = 0,0003SAS^3 - 0,0237SAS^2 + 0,344SAS - 0,5394$	r2 = 0,75
	FAO PM	$Kc = -0,0011SAS^3 + 0,0084SAS^2 + 0,1193SAS + 0,0135$	r2 = 0,98
Consórcio milho e amendoim	Harg	$Kc = 0,0028SAS^3 - 0,1086SAS^2 + 1,2303SAS - 2,946$	r2 = 0,86
	TCA	$Kc = 0,0034SAS^3 - 0,1028SAS^2 + 1,0051SAS - 2,0131$	r2 = 0,51
	FAO PM	$Kc = 0,0019SAS^3 - 0,0697SAS^2 + 0,783SAS - 1,4746$	r2 = 0,92

Kc= coeficiente de cultivo; SAS= semanas após sementeira

## CONCLUSÕES

A fase de formação das espigas, para o milho e de formação das vagens para o amendoim são as de maior demanda evapotranspirométrica.

Após o estabelecimento das culturas, o Kc do milho varia de 0,81 a 1,29; o do amendoim de 0,68 a 1,07 e do consórcio milho e amendoim de 1,12 a 1,35. O Kc deve ser escolhido conforme o método de determinação da evapotranspiração de referência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR NETTO, A. O.; NACIF, P. G. S.; REZENDE, J. O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do estado da Bahia. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 23, p. 661-667, 1999.

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

ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivo de subsistência no semi-árido do nordeste do

Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 29-34, 2000.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: Unesp, 1988.

BOOTE, K. J.; KETRING, D. L. Peanut. In: Stewart, B. A. e Nielsen, D. R. (eds.) **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy. 1990. (Agronomy Monograph 30).

CASTRO NETO, M. T.; D'ANGIOLELLA, G. L. B. **Boletim Agrometeorológico 1980-1989**. Cruz das Almas: CNPMF-EMBRAPA. 1998. 114 p. (EMBRAPA-CNPMF. Boletim Agrometeorológico, 10).

CÓRCOVA, J.; MADDONNI, G. A.; GHERSA, C. M. Long-term cropping effects on maize: crop evapotranspiration and grain yield. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1256-1265, 2000.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1992. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1978. 212 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 33).

ELLIOT, R. L.; HARP, S. L.; GROSZ, G. D.; KIZER, M. A. Crop coefficient for peanut evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 15, n. 2, p. 155-164, dez, 1988.

FARES, A.; ALVA, A. K. Estimation of citrus evapotranspiration by soil water mass balance. **Soil Science**, v. 164, n. 5, p. 302-310, may, 1999.

GALLARDO, M.; JACKSON, L. E.; SCHULBACH, K.; SNYDER, R. L.; THOMPSON, R. B.; WYLAND, L. J. Production and water use in lettuces under variable water supply. **Irrigation Science**, v. 16, p. 125-137, 1996.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992, 53 p. (Série Didática 3).

HAISE, H. R.; HAGAN, R. M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HARGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. (ed.) **Irrigation of Agricultural Lands**. ASA Monograph 11. 1967.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture, ASCE**, v. 1, n.2, p 96-99, 1985.

HOWELL, T. A.; TOLK, J. A.; SCHNEIDER, A. D.; EVETT, S. R. Evapotranspiration, yield end water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. **Agronomy Journal**, v. 90, p. 3-9, 1998.

IBRAHIM, A. A.; STIGTER, C. J.; ADAM, H. S.; ADEEB, A. M. Water-use efficiency of sorghum and groundnut under traditional and current irrigation in the Gezira scheme, Sudan. **Irrigation Science**, v. 21, p. 115-125, 2002.

KARAM, F.; BREIDY, J.; STEPHAN, C.; ROUPHAEL, J. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. **Agricultural Water Management**, v. 63, n. 2, p. 125-137, dez, 2003.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995, 495 p.

MENDONÇA, J. O. Agricultura baiana: de onde viemos e para onde vamos. In: SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (SEAGRI). **Bahia, cenários de uma agricultura**. Salvador: SPA/SEAGRI, 2001. 236 p. (Série estudos Agrícolas, 2).

MORGADO, L. B.; RAO, M. R. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986, 79 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 43).

NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; SANTOS R. H. S. Cultivares de alface em sistemas solteiro e consorciado com cenoura em Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 162-166, junho, 2002.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; CAMPOS, T. G. S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 12, p. 1407-1415, dez, 1993.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; RAMALHO, M. A. P. Produtividade e índice de espiga de três cultivares de milho em sistema de consórcio com o feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 745-751, maio, 1991.

PETERSCHMITT, J. M.; PERRIER, A. Evapotranspiration and canopy temperature of rice and groundnut in southeast coastal India. Crop coefficient approach and relationship between evapotranspiration and canopy temperature. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 56, p. 273-298, 1991.

RHOADS, F. M.; BENNETT, J. M. Corn. In: Stewart, B. A. e Nielsen, D. R. (eds.) **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: American Society of Agronomy. 1990. (Agronomy Monograph 30).

SANTANA, C. E. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), em Cruz das Almas, BA, a partir de dados obtidos por estação meteorológica automática**. Cruz das Almas: UFBA, 2002. 54 p. Dissertação de Mestrado.

SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE**, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; EVETT, S. R. Evapotranspiration and yield of corn grown on three high plain soils. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 4, p. 447-454, jul-aug, 1998.

TSUBO, M.; MUKHALA, E.; OGINDO, H. O.; WALKER, S. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. **Water SA**, v. 29, n. 4, p. 381-388, oct, 2003.

TYAGI, N. K.; SHARMA, D. K.; LUTHRA, S. K. Determination of evapotranspiration for maize and berseem clover. **Irrigation Science**, v. 21, n. 4, p. 173-181, jan, 2003.

ZHANG, Y.; KENDY, E.; QIANG, Y.; CHANGMING, L.; YANJUN, S.; HONGYONG, S. Effect of soil water déficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. **Agricultural Water anagement**, v. 64, p. 107-122, 2004.

## **CAPÍTULO 3**

### **EFEITO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

## EFEITO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E AMENDOIM

**RESUMO:** O consorciamento de culturas é uma das alternativas para aumentar a produção de alimentos em áreas rurais pobres. Na região do Recôncavo baiano, milho e amendoim são tipicamente cultivados solteiros durante o período chuvoso do ano (Março a Agosto). No período seco (Setembro a Fevereiro), a área plantada e a produção diminuem. Para investigar o crescimento e rendimento de milho e amendoim em sistemas solteiro e consorciado durante o período seco, um experimento foi conduzido na Estação Experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia. A área foi irrigada usando-se um sistema de aspersão com linha única que cria um gradiente de lâmina aplicada do centro para a periferia da área. Utilizou-se um delineamento em “split-block”, com oito repetições, no qual as culturas foram submetidas a quatro níveis de irrigação com base na ET de referência do tanque Classe A ( $L_1 = 125$ ,  $L_2 = 100$ ,  $L_3 = 60$  e  $L_4 = 25\% ET_{0A}$ ). A irrigação da área foi uniforme até a 5ª semana após a semeadura, quando então os tratamentos foram aplicados. Não houve diferença significativa no rendimento de milho verde entre sistemas de cultivo (solteiro –  $4925,78 \text{ kg ha}^{-1}$  e consórcio –  $5341,68 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Houve interação entre sistema de cultivo e lâmina de irrigação. O maior rendimento de milho solteiro ( $6765,62 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi obtido com a lâmina  $L_3$  seguida da lâmina  $L_2$  ( $6593,75 \text{ kg ha}^{-1}$ ), não tendo havido diferença significativa. No consórcio, a lâmina  $L_1$  proporcionou a maior produtividade ( $8151,44 \text{ kg ha}^{-1}$ ) seguida, sem diferença significativa, da lâmina  $L_2$  com  $7819,44 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ambas foram diferentes das demais lâminas. Verificou-se, no caso do amendoim, diferença significativa no rendimento de vagem seca ao ar entre sistemas de cultivo (solteiro –  $4013,12 \text{ kg ha}^{-1}$  e consórcio –  $1970,62 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Não houve interação entre sistema de cultivo e lâmina de irrigação. O rendimento de vagem seca não diferiu significativamente entre as lâminas de irrigação, com exceção da lâmina  $L_4$ , cujo rendimento foi o menor ( $1816,87 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

**Palavras-chave:** Aspersão em linha, *Arachis hypogaea* L., *Zea mays* L., déficit hídrico

## EFFECTS OF VARIABLE IRRIGATION ON GROWTH AND YIELD OF MAIZE AND GROUNDNUT UNDER MONO AND INTERCROPPING SYSTEMS

**ABSTRACT:** Intercropping is an alternative to increase food production in poor rural areas. In the Recôncavo Baiano region, State of Bahia, maize and groundnut are typically cultivated as sole systems during the wet period of year (March to August). In the dry period (September to February), when demand is still high, production is reduced following the planted area. To investigate the growth and yield of maize and groundnut in sole and intercropping systems during dry period, a field experiment was carried out at the School of Agronomy Experimental Station of the Federal University of Bahia. The area was sprinkler irrigated using a line source system which creates a gradient of applied water from the center to the edge. A split-block design with eight replications was used, in which the crops were submitted to four irrigation levels based on the Class A pan reference ET ( $L_1 = 125$ ,  $L_2 = 100$ ,  $L_3 = 60$ , and  $L_4 = 25\%$  of  $ET_{0A}$ ). No significant difference for green maize yield was found between cropping systems (sole –  $4925.78 \text{ kg ha}^{-1}$  and intercropping –  $5341.68 \text{ kg ha}^{-1}$ ). There was interaction between cropping systems and irrigation level. The highest sole maize yield ( $6765.62 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was obtained with the  $L_3$  irrigation level followed by the  $L_2$  level with  $6593.75 \text{ kg ha}^{-1}$ , without significant difference between them. In the intercropping systems, the  $L_1$  irrigation level promoted the highest green maize yield ( $8151.44 \text{ kg ha}^{-1}$ ) followed, with no significant difference, by the  $L_2$  level with  $7819.44 \text{ kg ha}^{-1}$ . But, both  $L_1$  and  $L_2$  levels differed significantly from  $L_3$  and  $L_4$  irrigation levels. For groundnut, significant difference was observed in terms of air dried pod yield between crop systems (sole –  $4013.12 \text{ kg ha}^{-1}$  and intercropping –  $1970.62 \text{ kg ha}^{-1}$ ). No interaction was observed between cropping systems and irrigation levels. The yield of air dried pods did not differ significantly among irrigation levels, exception for the  $L_4$  for which yield was the lowest ( $1816.87 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

**Key-words:** Line-source sprinkler, *Zea mays* L., *Arachis hypogaea* L., water deficit

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), planta da família Gramineae, é originária da região Andina da América Central. É uma das plantas que mais armazenam energia na natureza e um dos cereais mais importantes, cultivado para grãos e forragem, servindo ao consumo humano e animal. É ainda cultivado para milho verde, sendo consumido “in natura” ou industrializado.

De acordo com Doorenbos e Kassam (1978), maximizar a produção de uma variedade de milho de ciclo médio, requer de 500 a 800 mm de água dependendo do clima. Sob condições ótimas, a produtividade é da ordem de 6 a 9 t ha<sup>-1</sup>. Segundo Albuquerque e Resende (2002), o milho granífero consome de 400 a 700 mm de água, dependendo das condições climáticas. Para Magalhães e Paiva (1996), o milho consome em torno de 600 mm durante seu ciclo e afirma que dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20% e de quatro a oito dias de estresse, mais de 50%.

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), pertence à família Leguminosae e é originária da América do Sul. É uma planta oleaginosa, além de também se destinar à produção industrial de doces. Pode ser consumido “in natura”, verde para cozinhar ou seco para torrar.

Segundo Doorenbos e Kassam (1978), para a cultura do amendoim, bons rendimentos de grãos são obtidos com lâminas de 500 a 700 mm, do plantio à colheita. Boote e Ketring (1990) relataram consumo de água medido em lísimetro da ordem de 410 mm, na Nigéria. Na Índia, os requerimentos de água para produção de amendoim irrigado variam de 150 a 750 mm, com 3 a 10 eventos de irrigação (Sinha et al., 1985). Segundo Boote e Ketring (1990), estresse hídrico na floração e pendoamento, produzem maiores reduções no rendimento comparado ao estresse em qualquer outro período de crescimento. A evapotranspiração máxima diária para o amendoim foi relatada entre 5 e 10 mm d<sup>-1</sup>, este último em curtos períodos de alta demanda.

Tanto o milho quanto o amendoim têm grande importância econômica na região do Recôncavo Baiano, que se caracteriza, segundo Mendonça (2001), por propriedades menores que 5 ha, com predominância da agricultura de subsistência. Como esta região caracteriza-se pela concentração de chuvas no período de março a junho, quando não se conta com irrigação na propriedade, os

agricultores praticamente só conseguem uma safra por ano. A irrigação, portanto, viabilizaria pelo menos mais uma safra, melhorando as condições de subsistência destes agricultores no período de menor incidência de chuvas.

O cultivo consorciado destas culturas pode ser uma solução interessante para minimizar o problema de limitação de área e eficiência do uso da água. O consórcio entre cereais e leguminosas é, segundo Tsubo et al. (2003), tradicionalmente praticado por pequenos produtores da região tropical. Segundo Negreiros et al. (2002), o objetivo do consorciamento é a utilização mais eficiente da área disponível e dos recursos ambientais somado à mão-de-obra na aplicação de insumos e tratamentos culturais. Segundo Morgado e Rao (1986), o cultivo consorciado é considerado uma prática de pequenos agricultores que não usam muito insumo e não recebia muita atenção dos pesquisadores que previam que esta prática seria substituída por cultivos isolados com tecnologias avançadas. Mas existem muitas evidências de que o plantio consorciado pode oferecer muitas vantagens com o uso de tecnologias melhoradas.

Como a disponibilidade hídrica é um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, e que a irrigação demanda um custo extra com sua implantação e gasto de energia, é importante atender as necessidades hídricas das culturas de forma eficiente. Pero et al. (1979), introduziram o conceito de lâmina ótima, que considera a economia da irrigação, determinando a lâmina ótima de irrigação em função do máximo retorno líquido.

A utilização de sistemas de aspersão com uma única linha de emissores (“line source sprinkler system”) para estudos da influência de níveis de água nas culturas foi descrito por Hanks et al. (1976). Este sistema produz um padrão de aplicação de água uniforme no sentido longitudinal das parcelas experimentais e gradativamente variável no sentido transversal. De modo a garantir uma boa uniformidade de aplicação de água ao longo da linha, pequenos espaçamentos, entre os aspersores, devem ser observados. Segundo Hanks et al. (1976), espaçamentos entre 10% e 20% a 25% do diâmetro molhado pelos aspersores, fornecem uma uniformidade satisfatória. Este sistema tem sido amplamente utilizado em pesquisas, devido a sua simplicidade e facilidade de operação.

Pandey et al. (1984), avaliaram a resposta à seca de feijão-mungo, caupi, soja e amendoim, utilizando sistema de aspersão em linha em Los Baños, Filipinas. Os autores verificaram um decréscimo evidente no rendimento das culturas conforme

se distanciava da linha de aspersão. Das quatro leguminosas, o amendoim foi a menos suscetível à seca, com redução de 46%. Em contrapartida, foi o que mais consumiu água, tendo apresentado menor produção por lâmina aplicada ( $2,49 \text{ kg mm}^{-1}$ ).

Utilizando a cultura do milho, Mendonça e Botrel (1998) estimaram uma função de produção em relação às doses de nitrogênio aplicadas. Obteve variáveis discretas a partir de variáveis contínuas, utilizando regressão polinomial a partir do perfil de distribuição da precipitação de aspersores de um sistema de aspersão em linha.

Negeswara Rao et al. (1985) estudaram na Índia, a resposta do amendoim ao estresse hídrico em quatro estádios de crescimento (I - da emergência à maturidade, II - da emergência ao início da formação do ginóforo, III - do início da floração ao início do crescimento do grão e IV - do início do crescimento do grão à maturidade). O total de água aplicado durante em cada fase variou segundo o padrão de aplicação de um sistema com uma única linha de aspersores em um lado da linha de aspersão, mas o outro lado da linha de aspersão foi irrigado uniformemente a intervalos regulares. A maior redução no rendimento de grão ocorreu quando o estresse foi imposto durante a fase de enchimento do grão. A diminuição da irrigação durante a fase inicial, aumentou o rendimento de vagem em relação ao tratamento completamente irrigado em 19% e 13% nas duas estações de crescimento estudadas. Déficit hídrico rigoroso da emergência a maturação resultou em baixos rendimentos de vagem. A relação de rendimento com evapotranspiração mostrou forte interação com intervalo do déficit hídrico.

Negeswara Rao et al. (1988), definiram três intensidades de estresse hídrico para o amendoim, utilizando um sistema de aspersão com linha única até os 21 dias após semeadura (DAS). Dos 21 DAS até os 50 DAS não foram feitas irrigações e a partir dos 51 DAS foi realizada irrigação uniforme, enquanto o controle foi irrigado em intervalos de 10 dias. Déficit hídrico moderado durante a fase de pré-floração aumentou o crescimento subsequente da cultura e a taxa de crescimento da vagem no primeiro período de estudo, mas não no segundo. Diferenças no florescimento e número total de vagens entre tratamentos foram pequenas quando comparado com as diferenças subsequentes no estabelecimento das vagens e maturação. Em ambos os períodos, melhor sincronismo de estabelecimento de vagens na parcela moderadamente

estressada resultou em maior proporção de vagens maduras no final da colheita. A parcela mais severamente estressada teve os mais baixos rendimentos, apesar de irrigação adequada após o déficit hídrico na prefloração.

No vale do Curu, Ceará, Costa et al. (1988) aplicaram seis tratamentos de lâmina de irrigação (T1 – controle, T2 – 81,6% de T1, T3 – 72,5% de T1, T4 - 60,4% de T1, T5 - 46,4% de T1 e T6 - 34,6% de T1) na cultura do milho utilizando um sistema de aspersão com uma única linha. Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si em relação ao peso seco da parte aérea e produção de grãos, mas a eficiência do uso da água diminuiu conforme se aumentou a lâmina de irrigação. Nos demais tratamentos, a diminuição da lâmina diminuiu linearmente a eficiência do uso da água.

Meyer e Marcum (1998), desenvolveram um experimento na Califórnia usando um sistema de aspersão com linha única com seis níveis de água (0,33; 0,66; 1,00; 1,10; 1,20 e 1,30 vezes a evapotranspiração da cultura divididas cada em seis níveis de N (0, 56, 112, 168, 224 e 448 kg ha<sup>-1</sup>), repetido nas mesmas parcelas por dois anos consecutivos para verificar a resposta da cultura da batata. Os rendimentos aumentaram significativamente com o aumento da água, no primeiro ano com médias de 14,1 a 54,4 t.ha<sup>-1</sup> e no segundo ano com médias de 20,8 a 46,5 t.ha<sup>-1</sup>. O aumento do nível de N foi significativo no segundo ano em relação ao rendimento, mas não no primeiro, pois este contou com N residual do solo, que após o primeiro ano foi utilizado, desnitrificado ou lixiviado.

Sivakumar et al. (1981), através de sistema de aspersão em linha em Hyderabad, Índia, obtiveram respostas do dossel de sorgo em termos de condutância estomática, potencial de água na folha e temperatura foliar em relação à distância da linha de aspersão.

Através de um sistema de aspersão em linha, Faria e Olitta (1987) avaliaram os efeitos da lâmina de irrigação nas características agrônômicas do trigo em Piracicaba, São Paulo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento de milho e amendoim sob cultivos solteiro e consorciado submetidos a diferentes lâminas de irrigação através de um sistema de aspersão com linha única (“line-source sprinkler”).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido no Campo Experimental II da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, localizada no município de Cruz das Almas (latitude 12°40'39" S, longitude 39°06'23" W, altitude 225 m).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am, caracterizado por chuvas inferiores a 60 mm no mês mais seco (Castro Neto e D'Angiolella, 1998). A Tabela 1 apresenta dados meteorológicos médios observados durante o experimento. O solo é caracterizado como Latossolo vermelho-amarelo álico coeso. A Tabela 2 apresenta algumas características físicas deste solo.

Tabela 1. Valores médios mensais de parâmetros meteorológicos de Cruz das Almas, BA, durante o período de experimentação, adquiridos da estação meteorológica convencional do INMET, instalada na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2003-2004

Mês	P <sub>atm</sub> (mbar)	T (°C)			P (mm)	UR (%)	I (horas)		U <sub>2</sub> (m s <sup>-1</sup> )
		Méd.	Máx.	Min.			total	média	
out-03	990,7	23,7	29,1	20,1	31,2	78,0	187,4	6	4,2
nov-03	988,1	24,6	29,4	21,4	108,7	81,0	201,1	6,7	4,0
dez-03	987,9	25,7	31,4	22,2	21,3	74,5	243,3	7,8	3,8
jan-04	986,3	25,4	30,6	22,4	253,9	80,1	170,1	5,5	3,4
Média	988,2	24,8	30,1	21,5	103,7	78,4	200,4	6,5	3,8

P<sub>atm</sub> = pressão atmosférica; T = temperatura do ar; P = precipitação; UR = umidade relativa; I = insolação; U<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura

Tabela 2. Algumas características físicas e de retenção de umidade do solo (Aguiar Netto et al., 1999)

Horizonte	Textura	P (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Dap (kg dm <sup>-3</sup> )	Umidade			
				PMP (Ψ <sub>m</sub> =-1500 kPa)	CC Ψ <sub>m</sub> (-kPa)	AD (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
A <sub>p</sub>	Areia franca	0,34	1,73	0,075	10	0,157	0,082
A <sub>2</sub>	Franco-arenoso	0,35	1,71	0,091	10	0,198	0,107
AB	Franco-argilo-arenoso	0,37	1,64	0,128	19	0,216	0,088
BA	Franco-argilo-arenoso	0,42	1,55	0,120	18	0,205	0,085
B <sub>w1</sub>	Franco-argilo-arenoso	0,42	1,53	0,124	15	0,213	0,089

P = porosidade total; Dap = densidade aparente; PMP = ponto de murcha permanente; CC = capacidade de campo; AD = água disponível

O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados, com oito repetições, em esquema de parcela subdividida. Nas parcelas foram avaliados os sistemas de plantio (amendoim solteiro, milho solteiro e consórcio milho e amendoim) e nas subparcelas foram avaliadas as lâminas de irrigação (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>). Devido ao fato das lâminas de irrigação serem arranjadas em faixas através dos blocos considerou-se para efeitos de análise estatística o esquema de análise de um experimento em faixa (“Split Block”). O modelo estatístico do experimento em faixa, segundo Hanks et al. (1980), é dado por:

$$y_{ijk} = m_i + b_j + s_i + bs_{ij} + i_k + bi_{jk} + si_{ik} + e_{ijk} \quad (1)$$

onde  $y_{ijk}$  = parcela experimental que recebeu o sistema de plantio  $i$ , lâmina de irrigação  $k$ , no bloco  $j$ ;  $m_i$  = média geral do experimento;  $b_j$  = efeito do bloco  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, 8$ );  $s_i$  = efeito do sistema de plantio  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ );  $bs_{ij}$  = efeito da interação entre o bloco  $j$  e o sistema de plantio  $i$  (erro a);  $i_k$  = efeito da lâmina de irrigação  $k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ );  $bi_{jk}$  = efeito da interação entre o bloco  $j$  e a lâmina de irrigação  $k$  (erro b);  $si_{ik}$  = efeito da interação entre o sistema de plantio  $i$  e a lâmina de irrigação  $k$ ;  $e_{ijk}$  = erro experimental (erro c). O esquema da análise de variância é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Esquema da análise de variância

FV	GL
Bloco	(J - 1)
Sistema	(I - 1)
Erro a = Bloco x Sistema	(J - 1) (I - 1)
Lâmina	(K - 1)
Erro b = Bloco x Lâmina	(J - 1) (K - 1)
Sistema x Lâmina	(I - 1) (K - 1)
Erro c	(I - 1) (J - 1) (K - 1)
Total	IJK - 1

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste de F. As médias dos sistemas de plantio e das lâminas de irrigação foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

A Figura 1 apresenta a representação da área experimental, com 1536 m<sup>2</sup>, dividida em oito blocos, cada um com três parcelas com os sistemas de plantio de milho solteiro, amendoim solteiro e consórcio milho e amendoim. Em cada

sistema de plantio foram aplicadas quatro diferentes lâminas de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ ).

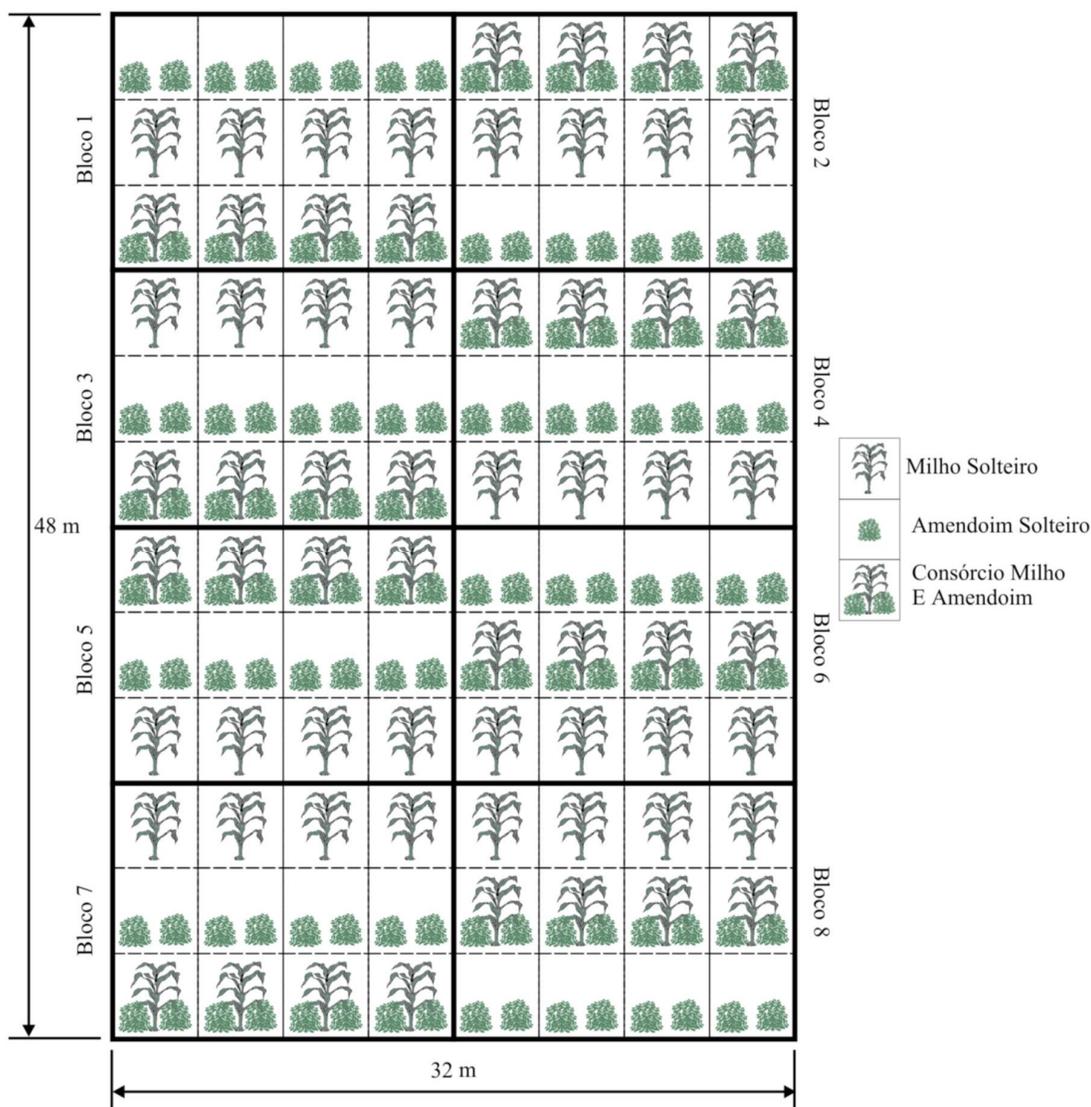


Figura 1. Representação esquemática da área experimental

A cultivar de milho usada foi a Cati Verde 02, variedade precoce, com ciclo de 85 dias para ser colhido verde. A cultivar de amendoim foi o casca lisa, variedade Maranhão, utilizado pelos produtores da região. O milho solteiro foi plantado no espaçamento de 0,20 m x 1,00 m, resultando numa densidade de plantio de 50.000 plantas  $ha^{-1}$ . A parcela experimental foi composta de quatro fileiras de 4 m cada, totalizando 80 plantas. O amendoim solteiro foi plantado no espaçamento

0,10 m x 0,50 m, conferindo uma densidade de plantio de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A parcela experimental foi composta de oito fileiras de 4 m cada, contendo um total de 320 plantas. No cultivo consorciado, tanto o milho quanto o amendoim foram mantidos nos espaçamentos dos cultivos solteiros. A Figura 2 apresenta o esquema de espaçamento do milho e amendoim em ambos sistemas de plantio.

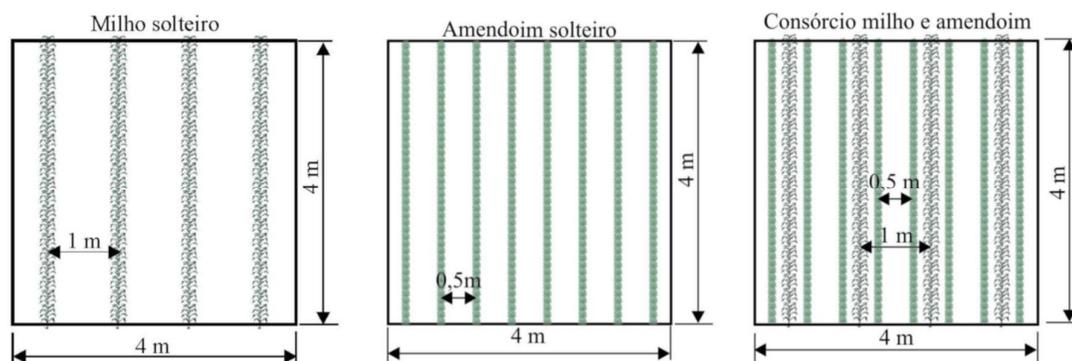


Figura 2. Esquema de espaçamento do milho e amendoim em sistemas de cultivo solteiro e consorciado

Até a quinta semana após semeadura (SAS), procedeu-se com irrigação uniforme para todo o experimento, de modo a se ter um bom estabelecimento das culturas, quando então passou-se a irrigar com um sistema de aspersão com uma única linha de emissores (“line source sprinkler system”) conforme descrito por Hanks et al. (1976). Foram utilizados 13 aspersores de fabricação NAAN, modelo 5035, bocais de 4,25 x 2,5 mm de diâmetro, pressão de serviço de 30 mca, vazão teórica de 2,93 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e diâmetro molhado teórico de 28,5 m, espaçados de 6 m, atendendo a recomendação de Hanks et al. (1976). A Figura 3 apresenta o esquema do sistema de irrigação na área experimental.

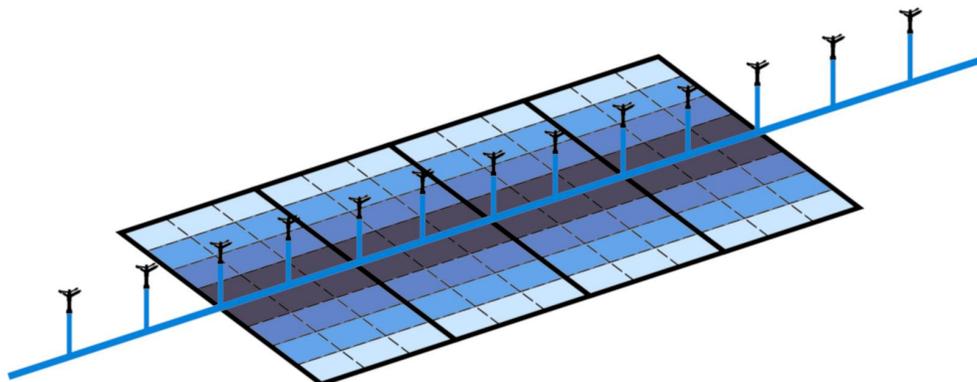


Figura 3. Esquema de instalação do sistema de irrigação por aspersão com uma única linha de emissores na área experimental

A lâmina de água efetivamente aplicada às parcelas via irrigação foi assumida como sendo igual à lâmina de água coletada em três baterias de coletores dispostos em linha, espaçados de 1,00 m entre si e dispostos perpendicularmente à linha de aspersores. A secção de captação dos coletores possuía diâmetro de 100 mm (Frizzone, 1992). Depois de cada irrigação, a água interceptada em cada coletor foi medida e anotada. As lâminas individuais foram então totalizadas para obtenção da lâmina estacional aplicada em cada nível de irrigação (I), ou seja, a quantidade total de água aplicada em cada subtratamento durante o experimento.

O momento de irrigar foi determinado por tensiômetros instalados nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m, dentro da parcela com cultivo consorciado, que teoricamente é a de maior demanda hídrica. De acordo com Haise e Hagan (1967), a umidade crítica para irrigação do amendoim corresponde ao potencial matricial de  $-30$  kPa e para o milho  $-50$  kPa. Quando qualquer um dos tensiômetros atingiu o valor de  $-30$  kPa, realizou-se a irrigação. A leitura do potencial matricial nos tensiômetros foi feita por meio de um tensímetro digital (Soil Measurement Systems, AZ, USA).

A lâmina de irrigação foi determinada através do método do tanque classe A, instalado próximo do experimento. O tempo de irrigação foi determinado de modo que o sistema aplicasse a lâmina referente a  $E_{To}$  na mesma parcela onde foi feita a leitura do tensiômetro. Dessa forma, foi possível garantir no solo das parcelas mais próximas da linha de irrigação um teor de umidade o mais próximo da capacidade de campo na maior parte do tempo e nas parcelas mais distantes da

linha, diferentes níveis de estresse hídrico. Em média, a aplicação foi cerca de 125% da ETo na L<sub>1</sub>, 100% da ETo na L<sub>2</sub>, 60% da ETo na L<sub>3</sub> e 25% da ETo na L<sub>4</sub>. As irrigações foram feitas em horários de ventos calmos, antes das 7 horas da manhã, para evitar excessiva desuniformidade na aplicação da água.

A partir da quarta semana após semeadura, foram colhidas amostras de plantas a cada 2 semanas em 4 blocos intercalados, ou seja, em uma coleta dos blocos 1, 4, 5 e 8; e na outra coleta dos blocos 2, 3, 6 e 7. Para o amendoim foram retiradas 10 plantas por subparcela e para o milho 2 plantas por subparcela. Totalizando 40 plantas de amendoim por lâmina para cada sistema de cultivo e 8 plantas de milho por lâmina para cada sistema de cultivo. Destas amostras foi determinada a massa de matéria seca (MMS) por planta, colocando-se a planta, após uma pré-secagem ao ar livre por 24 h, em estufa com circulação de ar forçado, a 60°C por 48 h, até atingir peso constante.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de água aplicada após a quinta semana após semeadura, desde quando se iniciou a aplicação dos tratamentos de irrigação, até a colheita, é apresentado na Tabela 4. Foram realizados doze eventos de irrigação. A quantidade de água aplicada via irrigação foi adicionada a precipitação total que ocorreu no período, que foi da ordem de 28,5 mm. A lâmina total média de água aplicada (via precipitação e irrigação) em cada tratamento foi relacionada com a evapotranspiração de referência (ETo) do período e obteve-se o valor da porcentagem da evapotranspiração de referência (%ETo) que foi aplicada.

Tabela 4. Total de água aplicada (irrigação + precipitação) da quinta semana após semeadura até a colheita

Tratamento de irrigação	Distância da linha aspersores (m)	Lamina aplicada (mm)	ETo (mm)	% ETo
L1	0-4	336,84	266,6	126,35
L2	4-8	268,51	266,6	100,72
L3	8-12	158,25	266,6	59,36
L4	12-16	64,28	266,6	24,11

A Figura 4 apresenta a interpolação das lâminas médias coletadas nas três baterias de coletores em relação à distância da linha de aspersão. Na Figura 5

apresenta-se a soma das lâminas de irrigação com a precipitação e a lâmina média calculada para cada nível de irrigação.

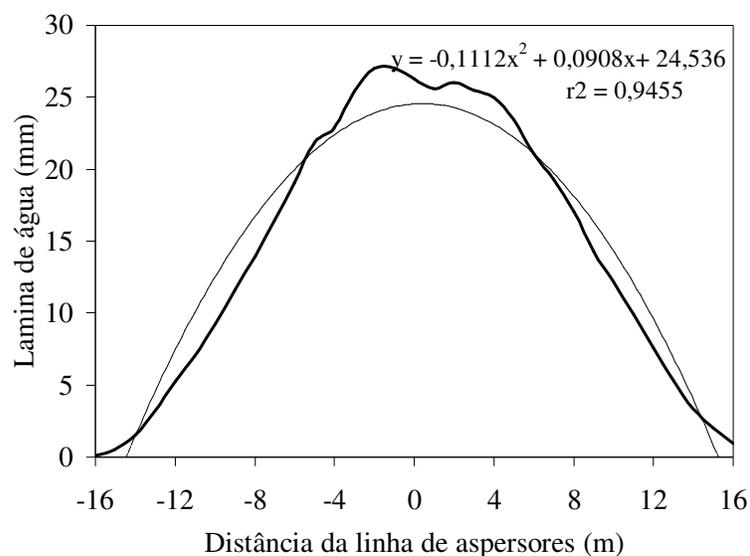


Figura 4. Lâmina de irrigação total aplicada a partir da quinta semana após semeadura até a colheita.

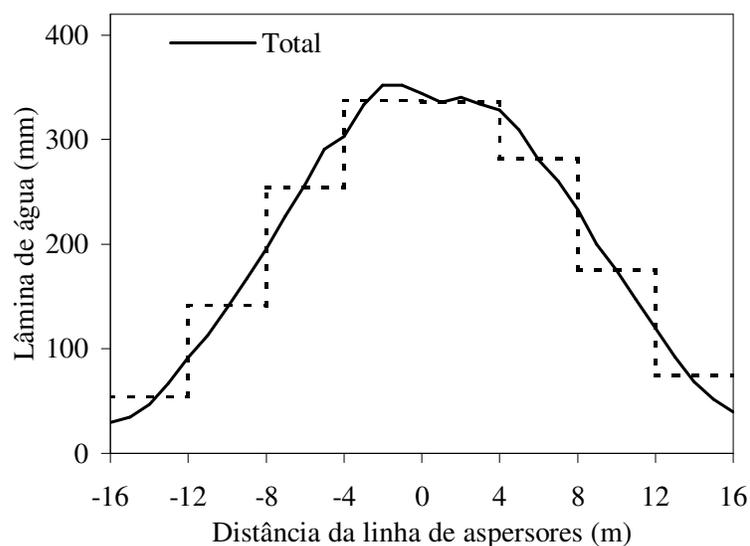


Figura 5. Lâmina total de água aplicada via irrigação e precipitação e lâmina média considerada para cada nível de irrigação

Na Tabela 5 é apresentado o esquema da análise de variância dos dados para a variável produção de espigas de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), mostrando que não houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo ( $P>0,05$ ), ou seja, a produção média do milho é estatisticamente a mesma, independente de ser plantado em sistema solteiro ou consorciado com amendoim. Houve diferença significativa nas lâminas de irrigação e na interação sistema de plantio com lâmina de irrigação ( $P<0,01$ ). A condução do experimento é um fator fundamental para sua precisão, que segundo Gomes (1990), pode ser avaliada através do coeficiente de variação experimental (CV%), que é dependente da variável avaliada, da média observada e do delineamento experimental. Segundo Morgado e Rao (1986), experimentos com consorciação, utilizando-se sistema de aspersão com linha única, com coeficientes de variação de até 20% são considerados bem conduzidos e seus resultados são de boa qualidade e CV% de 20 a 30% são racionais e aceitáveis. Desta forma os resultados de produção de espiga de milho têm boa precisão estatística. Apesar de não haver diferença estatística, A discreta superioridade do cultivo consorciado sobre o cultivo solteiro (8,4%), como mostra a Tabela 6, pode ser atribuída a uma maior disponibilidade de nitrogênio no solo pela fixação biológica da leguminosa.

Tabela 5. Esquema da análise de variância dos dados de produção de espigas de milho

FV	GL	QM
Bloco	7	3828258,1126
Sistema	1	2767548,3240
Erro a	7	1824167,7555
Lâmina	3	112604146,9933**
Erro b	21	1944824,6784
Sistema x Lâmina	3	27869646,6808**
Erro c	21	868049,8421
Média		5133,730
CV(%)		18,15

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 6. Média da produção espigas de milho em relação ao sistema de cultivo

Sistema de cultivo	Produção ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
Solteiro	4925,78 a
Consoiciado	5341,68 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Como a interação do sistema de cultivo com a lâmina de irrigação foi significativa para a variável de produção de espiga de milho, procedeu-se o desdobramento, e o seu resultado apresenta-se na Tabela 7. No cultivo solteiro, verifica-se que as lâminas L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> foram as melhores, não diferindo significativamente entre si, seguidas da L<sub>1</sub> e da L<sub>4</sub>, esta última inferior às demais. No caso do consórcio, as melhores lâminas foram L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>, não diferindo significativamente entre si, seguidas da L<sub>3</sub> e da L<sub>4</sub>. Este seria o resultado esperado para todos os sistemas, ou ainda que a L<sub>1</sub> fornecesse produção superior a L<sub>2</sub>. O que se pode deduzir é que o incremento na lâmina d'água além da ETo, não aumentou significativamente a produção de milho. Ao contrário, quando foi aplicado ao milho solteiro, que teoricamente demanda menos água que o consórcio, esta lâmina foi excessiva, visto que, fez com que a produção desta fosse ainda menor que a produção fornecida pela lâmina L<sub>3</sub>, provavelmente devido a problemas de aeração na zona radicular causado pela quase saturação do solo. Como a demanda hídrica do milho solteiro é menor, a L<sub>3</sub>, que era apenas 60% da ETo, teve resposta significativa, se igualando a L<sub>2</sub>. No consórcio, ao contrário, devido à maior demanda hídrica, e as Lâminas L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub> induziram respostas negativas à produção, o que era esperado.

Tabela 7. Média da produção de milho em kg de espigas por hectare em relação ao sistema de cultivo e à lâmina de irrigação

Sistema de cultivo	Lâmina de irrigação	Produção (kg ha <sup>-1</sup> )
Solteiro	L1- 125% ETo	4359,37 b
	L2- 100% ETo	6593,75 a
	L3- 60% ETo	6765,62 a
	L4- 25% ETo	1984,37 c
Consortiado	L1- 125% ETo	8151,44 a
	L2- 100% ETo	7819,44 a
	L3- 60% ETo	4880,21 b
	L4- 25% ETo	515,62 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A Figura 6 apresenta os resultados de produção de matéria seca pelo milho durante seu ciclo. Verifica-se que o resultado acompanha a mesma tendência da produção. A produção de matéria seca quatro semanas após semeadura não apresentou praticamente diferença, devido ao fato de ainda não se ter iniciado a diferenciação de lâmina de irrigação. Na quarta semana após semeadura, nos dois sistemas, já se observa que todas as lâminas superam a L<sub>1</sub> em produção de

matéria seca. Isto ocorreu pela aplicação de uma quantidade alta de água pelo sistema. Um agravante disto é que pelo fato destas parcelas estarem próximas à linha de aspersão, que era de engate rápido, que pela sua própria concepção não é estanque, e apresentava vazamentos durante e após a irrigação, quando se esvaziava a linha recebeu uma quantidade extra de água que não pode ser contabilizada e que devido à presença de camada coesa neste solo, possivelmente apresenta problemas de drenagem. Acredita-se que esta quantidade extra de água causou problemas de aeração na zona radicular, prejudicando a produção. A partir da oitava semana, a L<sub>1</sub> tende a ficar próxima à L<sub>2</sub> no consórcio, devido ao aumento do consumo pelas plantas e no milho solteiro continua sendo inferior às demais. A produção final de matéria seca da L<sub>1</sub> no milho solteiro superou a L<sub>4</sub>, que apesar de produzir mais matéria seca ao longo do ciclo, teve uma produção final inferior. O incremento na produção final da L<sub>1</sub> que superou L<sub>4</sub> a foi devido à formação da espiga, que na L<sub>4</sub> foi muito baixo. Possivelmente o excesso de água prejudicou mais a produção de matéria seca que a produção de espiga. Já no milho consorciado, a produção de matéria seca acompanha a produção de espigas. A L<sub>1</sub> prejudicou a produção de matéria seca na sexta semana, mas na oitava, a L<sub>1</sub> superou as demais, permanecendo próxima à L<sub>2</sub> até o final do ciclo, tendência esta que acompanha a produção de espigas. A partir da oitava semana, quando as plantas estavam com pleno desenvolvimento vegetativo, e conseqüentemente a demanda hídrica aumentou, a L<sub>1</sub> que para o milho solteiro foi excessiva, para o milho no consórcio foi praticamente idêntica a L<sub>2</sub>. Como o consumo de água pelo consórcio é maior, devido à competição com o amendoim, a L<sub>4</sub> teve sua produção de matéria seca bem inferior em relação às demais.

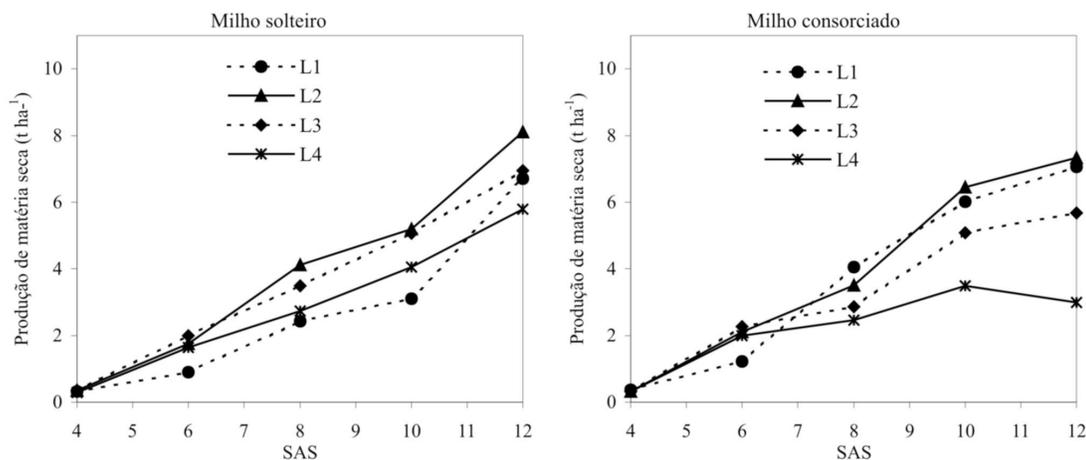


Figura 6. Produção de matéria seca pelo milho, em sistemas solteiro e consorciado, ao longo de seu ciclo em função da lâmina de irrigação

Na Tabela 8 é apresentado o esquema da análise de variância dos dados para as variáveis de produção de amendoim. Para todas as variáveis analisadas, houve diferença significativa entre os sistemas de plantio e entre as lâminas de irrigação. O amendoim sob sistema de cultivo solteiro apresentou médias superiores ao sob sistema consorciado em todas as variáveis analisadas, conforme se pode observar na Tabela 9. O valor do CV% para variável MMG apresentou valor ótimo, com boa precisão da análise. O CV% de MVF é considerado aceitável. Para variável MVS, o CV% apresenta-se no limite de rejeição dos dados, mas como se procedeu o teste de médias pelo método de Tukey, que é um método mais rigoroso, optou-se por apresentar os dados.

Tabela 8. Esquema da análise de variância conjunta dos dados de produção de amendoim, massa de vagem fresca (MVF), massa de vagem seca (MVS), massa de mil grãos (MMG).

FV	GL	QM		
		MVF (kg ha <sup>-1</sup> )	MVS (kg ha <sup>-1</sup> )	MMG (g)
Bloco	7	5140436,39	1039300,0000	5004,9681
Sistema	1	158823006,25**	66748900,0000**	11769,8107*
Erro a	7	3312415,53	958710,7143	1421,4274
Lâmina	3	7582780,75*	10365095,8333**	234554,4453**
Erro b	21	2459921,37	1144747,0238	1799,9173
Sistema x Lâmina	3	2770521,75	1909895,8333	29578565*
Erro c	21	2520130,27	1139339,8809	935,0218
Média		6067,69	2991,87	337,20
CV(%)		26,16	35,67	9,07

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 9. Média da produção de amendoim em relação ao sistema de cultivo para massa de vagem fresca (MVF), massa de vagem seca (MVS), massa de mil grãos (MMG).

Sistema de cultivo	MVF (kg ha <sup>-1</sup> )	MVS (kg ha <sup>-1</sup> )	MMG (g)
Solteiro	7643,00 a	4013,12 a	353,79 a
Consoiciado	4492,37 b	1970,62 b	319,51 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 10 são apresentadas as médias dos componentes de produção do amendoim para lâminas de irrigação. Para massa de vagem fresca (MVF), não houve diferença significativa entre as médias, mas após a secagem, quando se obteve massa de vagem seca (MVS), a média da L<sub>4</sub> foi inferior às demais (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>) que não diferiram entre si. Pode-se constatar portanto que as vagens da L<sub>4</sub> estavam com umidade muito alta em relação às demais.

Tabela 10. Média da produção de amendoim em relação a lamina de irrigação para massa de vagem fresca (MVF), massa de vagem seca (MVS).

Lâmina de irrigação	MVF (kg ha <sup>-1</sup> )	MVS (kg ha <sup>-1</sup> )
L1- 125% ETo	6456,62a	3575,62a
L2- 100% ETo	5706,25a	3133,75a
L3- 60% ETo	6808,75a	3441,25a
L4- 25% ETo	5299,12a	1816,87b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Como a interação do sistema de cultivo com a lâmina de irrigação foi significativa para a variável massa de mil grãos de amendoim, procedeu-se o desdobramento, e o seu resultado apresenta-se na Tabela 11. Para o amendoim solteiro, as lâminas L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> não diferiram estatisticamente entre si e a L<sub>4</sub> foi inferior às demais. Verifica-se que o maior estresse hídrico causou baixa qualidade do grão, que apresenta baixo valor econômico. No consórcio, as médias de L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub> não apresentam diferença significativa e foram superiores à L<sub>3</sub>, seguida da L<sub>4</sub>. A diferença na qualidade do grão produzido pela L<sub>3</sub> sob cultivo solteiro para consorciado em relação às demais, foi provavelmente devido à competição por água com o milho.

Tabela 11. Média de massa de mil grãos (MMG) em relação ao sistema de cultivo e à lâmina de irrigação

Sistema de cultivo	Lâmina de irrigação	MMG (g)
Solteiro	L1- 125% ETo	410,70 a
	L2- 100% ETo	429,71 a
	L3- 60% ETo	403,08 a
	L4- 25% ETo	171,65 b
ConSORCIADO	L1- 125% ETo	410,62 a
	L2- 100% ETo	411,59 a
	L3- 60% ETo	338,00 b
	L4- 25% ETo	140,87 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A colheita do amendoim deveria ter ocorrido no dia 12 de janeiro de 2004, com mais de 12 SAS, quando se observou que estava em ponto de colheita, mas foi impossibilitada pelo início de um período chuvoso, que se iniciou neste dia com uma precipitação atípica para o período de 92,8 mm dia<sup>-1</sup>, medido pela estação meteorológica da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Este período durou uma semana, acumulando uma lâmina de 250,4 mm. Este fato propiciou o desenvolvimento da cercosporiose, mancha castanha, cujo agente etiológico é o fungo *Cercospora arachidicola*. A epidemia desta doença é favorecida, segundo Barreto (1997), por longos períodos de umidade relativa alta e temperatura de 16 a 25°C. Folíolos severamente afetados caem com facilidade. Desta forma, as parcelas que recebiam maior lâmina (L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>) já apresentavam sintomas de infecção, mas como estava próxima a colheita, supôs-se que não afetaria o rendimento. Mas devido a chuva que impossibilitou a colheita no momento certo, a doença tornou-se severa, com um longo período de molhamento foliar,

causando queda das folhas e apodrecimento das hastes, que somados à germinação das sementes resultou em uma perda de rendimento dentro dos subtratamentos L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>.

Em contrapartida, os subtratamentos L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>, que antes do período chuvoso apresentavam-se estressados devido ao déficit hídrico e não apresentavam sintomas da doença, após a chuva tiveram uma rápida recuperação, aumentando consideravelmente o rendimento, em curto período. Lauriano et al. (1997), reportam alta atividade fotossintética após a retirada do estresse hídrico do amendoim. Os autores propõem a hipótese que um mecanismo de recuperação ecofisiológico poderoso é associado com a atividade pós-estresse hídrico, que compensa com êxito injúrias fisiológicas provocadas pela seca e induz um novo crescimento a taxas maiores que aquelas ocorridas antes do estresse, desta maneira anula as perdas de rendimento.

Pela Figura 7, observa-se que na quarta semana após semeadura, não havia praticamente diferenças entre a produção de matéria seca das parcelas, pois ainda não havia iniciado a aplicação dos tratamentos. A partir da sexta semana observa-se uma tendência de maior produção de matéria seca pelos maiores níveis de irrigação no amendoim solteiro. No amendoim consorciado, não houve tanta diferença, sendo que na décima segunda semana houve uma inversão neste valor, devido ao problema fitossanitário descrito anteriormente, que por motivos óbvios atacou primeiro o amendoim sob consórcio, provavelmente devido ao sombreamento. Mas a pequena diferença entre produção de matéria seca foi proporcionada pela competição por luz. Apesar dos tratamentos L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub> terem maior competição por água, o milho que é mais sensível ao déficit hídrico que o amendoim, pelo fato de não ter produzido muita massa verde permitiu maior luminosidade no dossel de amendoim. As parcelas que receberam mais água, L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>, também foram mais sombreadas, visto que verificou-se que as plantas de amendoim apresentavam sinais de estiolamento, e isto compensou as diferenças entre as parcelas.

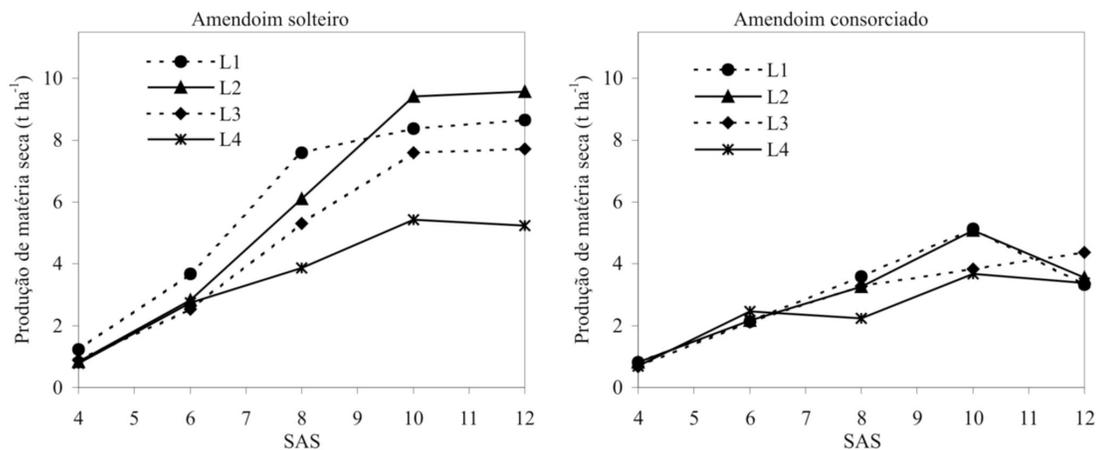


Figura 7. Produção de matéria seca pelo amendoim, em sistemas solteiro e consorciado, ao longo de seu ciclo em função da lâmina de irrigação

A Figura 8 apresenta a produção de matéria seca nas vagens ao longo do ciclo do amendoim. Verifica-se no amendoim solteiro uma tendência de maior produção nas lâminas L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>. Por este motivo os resultados não atenderam as expectativas conforme comentado anteriormente. No consórcio verifica-se uma tendência de maior produção final pela lâmina L<sub>3</sub>, pois se acredita que foi a que otimizou o balanço entre necessidade hídrica e luminosidade.

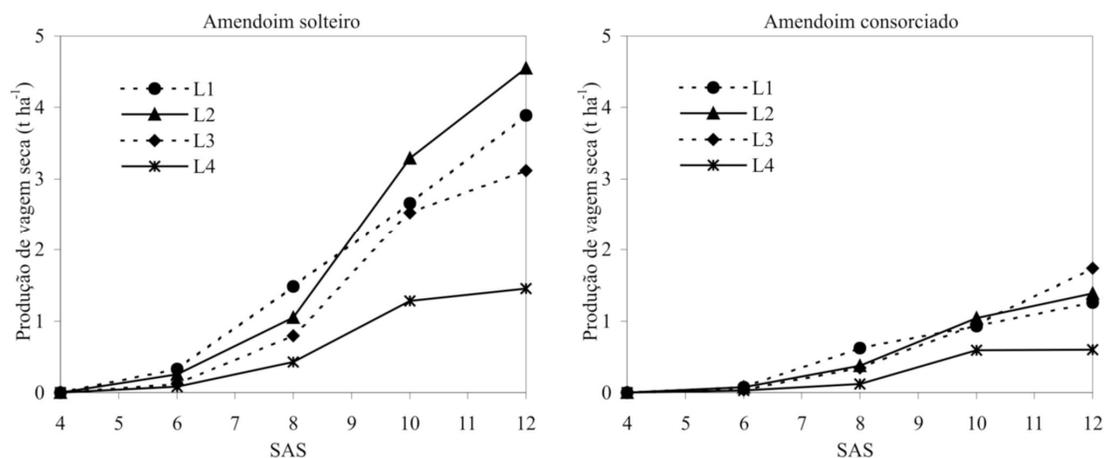


Figura 8. Produção de vagem seca pelo amendoim, em sistemas solteiro e consorciado, ao longo de seu ciclo em função da lâmina de irrigação

## CONCLUSÕES

Para o milho a melhor lâmina de irrigação foi aquela que aplicou 100% da ETo. Não houve diferença significativa na produção de milho sob cultivo solteiro e consorciado com amendoim, mesmo assim, houve um discreto aumento na média da produção do milho consorciado. Para o amendoim, a mesma lâmina apresentava esta tendência durante o ciclo da cultura, mas não pode ser comprovada pelos dados de produção devido a problemas na colheita. Sugere-se que novos experimentos sejam feitos neste sentido. No amendoim consorciado a lâmina de irrigação foi aquela que aplicou 60% da ETo, pareceu ser a melhor, não por ela em si, mas pela maior disponibilidade de luz pelo milho que se desenvolveu precariamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR NETTO, A. O.; NACIF, P. G. S.; REZENDE, J. O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do estado da Bahia. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 23, p. 661-667, 1999.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2002 (Comunicado Técnico 46).

BARRETO, M. Doenças do amendoim (*Arachis hipogaea* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia. Volume 2: doenças das plantas cultivadas**, 3ª ed, São Paulo: Agronômica Ceres, 1997, 774 p.

BOOTE, K. J. E KETRING, D. L. Peanut. In: STEWART, B. A. E NIELSEN, D. R. (eds.) **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: ASA/CSSA/SSSA. 1990. (Agronomy Monograph 30).

CASTRO NETO, M. T. DE E D'ANGIOLELLA, G. L. B. **Boletim Agrometeorológico 1980-1989**. Cruz das Almas, BA: CNPMF-EMBRAPA. 1998. 114 p. (EMBRAPA-CNPMF. Boletim Agrometeorológico, 10).

COSTA, J. O.; FERREIRA, L. G. B.; SOUZA, F. de. Produção de milho submetido a diferentes níveis de estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 11, p. 1255-1261, nov. 1988.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1978. 212 p. (FAO Irrigation and Drainage 33).

FARIA, R. T.; OLITTA, A. F. L. Lâmina de irrigação na cultura do trigo utilizando o sistema de “aspersão em linha”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 999-1008, setembro-outubro, 1987.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992, 53 p. (Série Didática 3).

GOMES, P. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467 p.

HAISE, H. R.; HAGAN, R. M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HARGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. (ed.) **Irrigation of Agricultural Lands**. ASA Monograph 11. 1967.

HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P. E WILSON, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society American Journal**, v. 40, p. 426-429, 1976.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURST, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigations experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, p. 886-888, 1980.

LAURIANO, J. A.; CAMPOS, P. S.; RAMALHO, J. C.; LIDON, F. C.; GUEDES, M. E.; MATOS, M. C. Partial decline of *Arachis hypogaea* L. photosynthesis triggered by drought stress. **Photosynthetica**, v. 3, n. 1, p. 81-90, 1997.

MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E. Fisiologia da Produção. In: **Agricultura real – recomendações técnicas para o cultivo do milho** ed. BRASÍLIA: EMBRAPA - SPI, p. 85-92 , 1996.

MENDONÇA, F.C.; BOTREL, T. A. Transformação de variáveis contínuas em discretas visando a obtenção de funções de produção utilizando sistemas de aspersão em linha. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 18, n. 1, p.20-30, set. 1998.

MENDONÇA, J. O. Agricultura baiana: de onde viemos e para onde vamos. In: SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (SEAGRI). **Bahia, cenários de uma agricultura**. Salvador: SPA/SEAGRI, 2001. 236 p. (Série estudos Agrícolas, 2).

MEYER, R. D.; MARCUM, D. B. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen responses. **Agromomy Journal**, v. 90, p. 420-429, 1998.

MORGADO, L. B.; RAO, M. R. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986, 79 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 43).

NEGESWARA RAO, R. C.; SINGH, S.; SIVAKUMAR, M. V. K.; SRIVASTAVA, K. L.; WILLIAMS, J. H. Effect of water déficit at different growth phases of peanut. I. Yeld responses. **Agromomy Journal**, v. 77, p. 782-786, 1985.

NEGESWARA RAO, R. C.; SINGH, S.; WILLIAMS, J. H.; SIVAKUMAR, M. V. K.; WADIA, K. D. R. Effect of water déficit at different growth phases of peanut. I. Yeld responses. **Agromomy Journal**, v. 80, p. 431-438, 1988.

NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; SANTOS R. H. S. Cultivares de alface em sistemas solteiro e consorciado com cenoura em Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 162-166, junho, 2002.

PANDEY, R. K.; HERRERA, W. A. T.; PENDLENTON, J. W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: I. Yield and yield components. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 549-553, july-august, 1984.

PERO, G.; HART, W. E.; NORUM, D. I. Optimal irrigation depths a method of analysis. **Journal of the irrigation and Drainage Division of ASCE**, v. 105, p. 341-355, 1979.

SINHA, S. K.; AGGARWAL, P.K.; E KHANNA-CHOPPRA, R. Irrigation in India: a physiological and phenological approach in water management of grain crops. In: HILLEL, D. (ed.) **Advances in Irrigation**, Vol. 3. Academic Press, 1985.

TSUBO, M.; MUKHALA, E.; OGINDO, H. O.; WALKER, S. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. **Water SA**, v. 29, n. 4, p. 381-388, oct, 2003.

SIVAKUMAR, M. V. K.; SEETHARAMA, N.; GILL, K. S.; SACHAN, R. C. Response of sorghum to moisture stress using line source sprinkler irrigations. **Agricultural Water Management**, v. 3, p. 279-289, 1981.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Estudos envolvendo consorciação normalmente envolvem análises econômicas e parâmetros de eficiência de uso da terra que levam em consideração a comparação da produtividade das culturas sob sistema solteiro e consorciado. Neste trabalho estas análises ficaram inviáveis devido ao fato de não se ter uma resposta confiável do amendoim em termos de produtividade devido as perdas na colheita. Qualquer análise neste sentido nos forneceria um resultado equivocado. Experimentos de campo estão sujeitos a uma série de fatores, principalmente de ordem ambiental, que não podem ser controlados plenamente. Por este motivo que conclusões definitivas só devem ser feitas a partir de um longo período de estudos. Espera-se que este trabalho seja um ponto de partida para encorajar outras pesquisas a serem feitas nesta região, nesta mesma linha. Independente da qualidade dos resultados, é importante considerar que qualquer trabalho de pesquisa é importante no sentido de reunir experiência e conhecimento para o futuro.