

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

Manejo da irrigação com Irrigás[®], tanque Classe A e um sistema automático de baixo custo no cultivo orgânico de alface.

FABÍOLA VIEIRA GONÇALVES

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM IRRIGÁS[®], TANQUE CLASSE A E
UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE BAIXO CUSTO NO CULTIVO
ORGÂNICO DE ALFACE.**

FABÍOLA VIEIRA GONÇALVES

Sob a orientação do Professor

Leonardo Oliveira Medici

e Co-orientação do Professor

Daniel Fonseca de Carvalho

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências, no Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2013

635.52

G635m

T

Gonçalves, Fabíola Vieira, 1986-

Manejo da irrigação com Irrigás®, tanque classe A e um sistema automático de baixo custo no cultivo orgânico de alface / Fabíola Vieira Gonçalves - 2013.

49 f. : il.

Orientador: Leonardo Oliveira Medici.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

Bibliografia: f. 32-37.

1. Alface - Cultivo - Teses. 2. Alface - Irrigação - Teses. 3. Automação - Teses. 4. Agricultura orgânica - Teses. 5. Solos - Umidade - Teses. I. Medici, Leonardo Oliveira, 1967-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

FABÍOLA VIEIRA GONÇALVES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/02/2013

Leonardo Oliveira Médici, Dr.
(Orientador)

Leonardo Duarte Batista da Silva, D. Sc. (UFRRJ)

Claudinei Fonseca Souza, Dr. (UFSCAR)

À minha mãe, Isabel e ao meu pai, Jander, por terem me ensinado valores que transcendem a formação acadêmica e que serviram de base pro meu desenvolvimento pessoal e profissional. Pelo sacrifício que tiveram; pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis que passei. Enfim... Por todo amor dedicado a mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus por me permitir chegar ao fim de mais uma jornada.

Aos meus orientadores Leonardo Oliveira Médici e Daniel Fonseca de Carvalho, pelos ensinamentos transmitidos e por terem confiado em mim para a execução deste trabalho.

Ao SIPA (Sistema integrado de produção agroecológica) por permitir o desenvolvimento do trabalho em suas dependências; e a todos os funcionários que sempre se mostraram dispostos a ajudar.

Aos amigos do grupo de pesquisa GPASSA, manifesto meus sinceros agradecimentos pela companhia e discussões. Ressalto que foi um grande prazer estar ao lado de vocês ao longo destes dois anos. Especialmente à Daniela Gomes, Geuzimar Terração, Heitor Paulo, Hugo Thaner, Irineu Andrade, Lucas Santos, Luíz Felix, e Wilk Sampaio.

Às amigas Edilene Ferreira, Lauana Santos e Ludmilla Alves, pelo companheirismo e amizade.

A minha família, especialmente irmãos e sobrinhos, por serem meu alicerce e meu refúgio dos momentos de incerteza.

Ao Wilson Souza Duarte, por ter estado ao meu lado, incentivando sempre, em todos os momentos dessa caminhada.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

RESUMO

GONÇALVES, Fabíola Vieira. **Manejo da irrigação com Irrigás[®], tanque Classe A e um sistema automático de baixo custo no cultivo orgânico de alface.** 2013. 58f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamentos de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2013.

O presente estudo teve como objetivo comparar diferentes técnicas de manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) O experimento foi conduzido em 2012, nas instalações do SIPA (Sistema Integrado de Produção Agroecológica), localizado no município de Seropédica-RJ. O cultivo da alface foi desenvolvido em delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC), com 4 tratamentos casualizados em 6 blocos, totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos constituíram-se por quatro diferentes manejos da irrigação, caracterizados pelo uso de um acionador artesanal de baixo custo para irrigação (AAI) em 2 tensões distintas de água no solo (9kPa e 12kPa), sistema Irrigás[®] e tanque Classe A. Foram avaliados dados de temperatura e umidade do ar, umidade do solo, lâmina aplicada, eficiência no uso da água e produtividade da cultura, além das variáveis de produção: massa fresca e massa seca da parte aérea, diâmetro e altura da cabeça, área foliar de cada planta. As variáveis de produção estudadas foram submetidas à análise de variância utilizando o teste F. A análise dos dados demonstrou que não houve diferença significativa entre as variáveis de produção avaliadas e, as lâminas aplicadas não diferiram de forma expressiva entre os tratamentos; muito embora tenha se observado diferenças na frequência da irrigação, entre os tratamentos que não tinham turno de rega pré-estabelecido; não sendo possível estabelecer um intervalo fixo de dias para descrevê-los. Os dados de eficiência no uso da água nos tratamentos Tanque, AAI90 (9kPa), Irrigás, AAI120 (12kPa); (241,4; 217,9; 205,5; 267,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente) assim como, para produtividade da cultura (32,80; 28,86; 28,80; 35,45 ton ha⁻¹), estão próximos à valores comumente encontrados na literatura para variedades de alface do mesmo grupo em estudo. Dessa forma conclui-se com base nas respostas diretas obtidas dos cultivos, que todas as metodologias de manejo avaliadas foram eficientes para o cultivo de alface, embora tenham apresentado diferenças marcantes quanto à operacionalidade, o que poderá ser um fator decisivo no momento da escolha do agricultor por qual metodologia utilizar.

Palavras-chave: Manejo da irrigação, Automação, *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

The objective of the present research was to compare different techniques of irrigation scheduling. The experiment was conducted in 2012 on the premises of SIPA (Integrated Agroecological Production System), located in Seropédica, state of Rio de Janeiro. The cultivation of lettuce was developed in a randomized complete blocks design with four treatments randomized in six replicates, totalizing 24 plots. The treatments consisted of four different managements of irrigation, characterized by the use of automatic irrigation device in two unevenness of pressostate (0.90 m and 1.20 m), Irrigas[®] system and Class A pan. It were evaluated data of temperature and air humidity, soil moisture, irrigation depth, water use efficiency and crop productivity, beyond production variables - fresh and dry weight of shoot, head height and diameter, leaf area. The production variables studied were subjected to analysis of variance using the F test. Data analysis showed that there wasn't significant difference between the production variables evaluated and the irrigation depth did not differ significantly between treatments; although differences have been observed in the frequency of irrigation among the treatments had no irrigation schedule pre-established, it is not possible to establish a fixed interval of days to describe them. The data water use efficiency in the treatment Class A pan, AAI90 (9kPa), Irrigas[®], AAI120 (12kPa), (241,4; 217,9; 205,5; 267,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectively) as well as for crop yield (32,80; 28,86; 28,80; 35,45 ton ha⁻¹), are close to the values commonly found in the literature for lettuce varieties from the same study group. Thus it is concluded based on direct responses obtained from crops, all management methodologies evaluated were effective for growing lettuce, although they showed marked differences regarding the operation, which could be a deciding factor in choosing the farmer by what methodology to use.

Keywords: Irrigation management, Automation, *Lactuca sativa* L.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Textura do Argissolo Vermelho-Amarelo em duas profundidades.....	11
Tabela 2. Análise química do Argissolo Vermelho-Amarelo em duas profundidades.....	11
Tabela 3. Análise química do vermicomposto.....	11
Tabela 4. Coeficientes de cultura (Kc) para a cultura da alface sob sistema de cultivo convencional e irrigadas por aspersão.....	15
Tabela 5. Umidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) entre e abaixo dos gotejadores medido diretamente a campo.....	27
Tabela 6. Médias das variáveis de produção (MF-massa fresca; MS-massa seca; NF-número de folhas; AF- área foliar; altura e diâmetro das plantas) referentes ao cultivo de alface a campo	28
Tabela 7. Produtividade e eficiência do uso da água (EUA) no cultivo da alface, nos diferentes tratamentos.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da emissão de ondas pelo sensor, instalado no solo e do monitor onde se realiza a leitura da umidade (Imagem gentilmente cedida pela empresa FALKER)	06
Figura 2: Componentes para a confecção do acionador	08
Figura 3: Esquema do acionador automático para irrigação	08
Figura 4: Caracterização esquemática do experimento, demonstrando a distribuição dos equipamentos nas parcelas experimentais	12
Figura 5: Vista panorâmica da distribuição das parcelas na área experimental	13
Figura 6: Instalação do sensor (vela) do Acionador Automático para Irrigação a 20cm de profundidade	13
Figura 7: Instalação do sensor (raiz) do Irrigás®	13
Figura 8: Tanque Classe da estação metereológica no SIPA	14
Figura 9: Posicionamento dos sensores raiz e controle (Imagem gentilmente cedida pelo autor Adonai Gimenez Calbo)	16
Figura 10: Posicionamento dos sensores em relação à linha de plantio	16
Figura 11: Vista dos sensores após instalação	16
Figura 12: Monitoramento diário, realizado nos sensores Irrigás, demonstrando a frequência das leituras (SECO/ÚMIDO), indicadas pelo aparelho	16
Figura 13: Desenho esquemático da instalação dos sensores a campo	17
Figura 14: Caracterização esquemática da distribuição do sistema elétrico dos acionadores	18
Figura 15: Bacia de calibração (em detalhe sonda Hidrofarm)	19
Figura 16: Reservatório de água	20
Figura 17: Hidrômetros ao início de cada linha de derivação	20
Figura 18: Monitoramento metereológico ao longo do ciclo de cultivo a campo	22
Figura 19: Lâmina precipitada e ETo ao longo do ciclo de cultivo a campo	23
Figura 20: Lâminas de água recebida por cada tratamento, discriminadas quanto à forma de aporte	23
Figura 21: Esquema demonstrativo do tamanho e posicionamento dos sensores	24

Figura 22: Monitoramento da Umidade do Solo, desde o transplântio	25
Figura 23: Esquema demonstrando a formação do bulbo alongado	26
Figura 24: Frequência de Irrigação do sistema de gotejamento ao longo do período de desenvolvimento da cultura	26
Figura 25: Lâminas aplicadas pelo sistema de gotejamento ao longo do período de desenvolvimento da cultura	26
Figura 26: Esquema demonstrando o aumento do diâmetro do bulbo	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	02
2.1. Água e Agricultura	02
2.2. Métodos utilizados no manejo da irrigação e seus instrumentos	03
2.2.1. Dados meteorológicos e estimativa da evapotranspiração	03
I) Tanque Classe A	03
II) Irrigâmetro	04
2.2.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo	04
I) Tensiômetro.....	05
II) TDR (reflectometria no domínio do tempo)	05
III) Hidrofarm	06
IV) Irrigás®	06
2.3. Automação na irrigação	07
I) Acionador automático para irrigação	08
2.4. Cultivo orgânico de hortaliças	09
2.4.1. Agricultura orgânica	09
2.4.2. Cultura da Alface.....	09
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Preparo das mudas	11
3.2. Caracterização do experimento	11
3.2.1. Tratamentos	13
3.3. Montagem instalação e monitoramento dos equipamentos	14
3.3.1. Tanque Classe A (TCA)	14
3.3.2. Irrigás®	15
3.3.3. Acionador automático para irrigação	17
3.3.4. Sondas Hidrofarm (HMF 2030)	19
3.3.5. Volume de água aplicado e sistema de irrigação.....	19
3.4. Dados meteorológicos	20
3.5. EUA (eficiência no uso da água)	20
3.6. Colheita	21

3.7. Análise estatística dos dados	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Monitoramento meteorológico	22
4.2. Lâmina de água aplicada	23
4.3. Umidade do solo ao longo do período de cultivo	24
4.4. Dados de produção	28
4.5. Eficiência no uso da água	29
4.6. Análise comparativa dos dados	29
5. CONCLUSÃO	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história a água tem sido considerada como um recurso essencial para a sobrevivência humana. Os seus diversos usos fazem deste recurso um fator importante no desenvolvimento econômico e social de um país. Entretanto, a crescente demanda por este elemento, principalmente pelo setor agrícola, responsável por aproximadamente 75% do consumo de água doce do planeta (PIMENTEL et al., 1999; QADIR et al., 2003) tem proporcionado sérias preocupações quanto à sua disponibilidade para usos futuros.

O adequado suprimento de água possibilita que as plantas se desenvolvam em sua potencial capacidade e, adicionalmente, assegura que não ocorra lixiviação de nutrientes, arrastados por aplicações excessivas de água, que percola e alcança profundidades superiores à do sistema radicular (MAROUELLI & CALBO, 2009).

Nesse sentido, a implementação de sistemas de irrigação capazes de aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas vem sendo amplamente pesquisado fundamentando-se na investigação de parâmetros meteorológicos, do solo e das plantas. Apesar de diversas metodologias e instrumentos para manejo da irrigação já terem sido desenvolvidos e aplicados de forma eficiente na agricultura, aliar as variáveis do sistema água-solo-planta-atmosfera em um único sistema de manejo ainda é um desafio para os pesquisadores. Assim, não basta desenvolver uma tecnologia, mas é preciso que ela seja capaz de chegar ao produtor de forma economicamente viável e de fácil aplicação.

A definição de quando e quanto irrigar pode ser feita por métodos que estabeleçam valores limites para variáveis de solo ou de planta (TORMENA et al., 1999), podendo estes serem dependentes de dados meteorológicos, na estimativa da evapotranspiração das culturas, do monitoramento da umidade ou da tensão de água no solo, ou ainda da transpiração vegetal.

Com base no exposto acima, o presente trabalho visa comparar um instrumento desenvolvido para proporcionar o manejo automático da irrigação, com base na variação da tensão de água no solo, denominado acionador automático para irrigação, com outras formas de manejo já conhecidas, como o Irrigás[®] e o mais amplamente difundido, tanque Classe A. Para isso foi desenvolvido um experimento a campo, onde se cultivou alface (*Lactuca sativa* L.) sob quatro diferentes manejos, proporcionados pela utilização do Acionador automático, em duas regulagens; pelo sistema Irrigás[®] e pelo método do tanque Classe A.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Água e Agricultura

Dos recursos naturais, a água é, sem dúvida, o mais essencial e também o mais diretamente afetado pela ação antrópica (MEYBECK, 2003). Embora a quantidade total de água no planeta não se modifique, e a velocidade de regeneração da água doce pelo ciclo hidrológico seja suficiente para suprir a demanda da população mundial, a água se encontra distribuída de forma irregular, fazendo com que muitas regiões do globo se apresentem com déficits hídricos elevados (PIMENTEL et al., 1999).

Nos últimos 30 anos, a população mundial duplicou, atingindo cerca de sete milhões de pessoas, e considerando-se que existe a perspectiva de que nas próximas décadas este número continue aumentando, torna-se eminente o crescimento da demanda por alimentos e a consequente necessidade de ampliar a produção. Entretanto, é de conhecimento global que a agricultura é a atividade que possui a maior demanda por água, sendo a irrigação responsável por cerca de 75% desse consumo (PIMENTEL et al., 1999; QADIR et al., 2003).

Fraiture et al. (2007) relatam que a demanda por alimentos e o então consumo de água pela agricultura, irão continuar aumentando nas próximas décadas. Essa crescente população aliada a um eminente aumento na renda e à mudanças nos hábitos alimentares, possivelmente proporcionarão um aumento de 70 a 90% na demanda por alimentos, e sem melhorias na eficiência do uso da água na agricultura, o uso de água para irrigação tende a crescer na mesma ordem de magnitude. Com isso, evidencia-se a necessidade do uso de técnicas de manejo da irrigação que sejam capazes de proporcionar aplicação de água adequada, a fim de evitar perdas excessivas por evaporação e/ou percolação. Miranda et al. (1999) afirmam que um dimensionamento adequado do sistema de irrigação aliado a um bom manejo são capazes de contribuir para aumentar a produtividade das culturas e reduzir o consumo de água simultaneamente, além de otimizar recursos como energia elétrica e equipamentos de irrigação.

Quando se faz referência à otimização desse recurso, é comum a utilização do termo “produtividade da água”, que é definido por Molden et al. (2007) como: “a relação entre os benefícios líquidos de colheita, silvicultura, pesca, pecuária, e sistemas agrícolas mistos, pela quantidade de água necessária para produzir esses benefícios”. Portanto, aumentar a produtividade da água significa, em termos agronômicos, produzir mais alimentos sem que isso gere uma demanda proporcionalmente maior por ela.

A necessidade de se alcançar maiores produtividades da água fez com que inúmeros métodos de manejo fossem desenvolvidos, sendo alguns deles inseridos no que hoje se conhece por irrigação de precisão (QUEIROZ et al., 2007). Fundamentalmente, um bom manejo de irrigação busca aplicar água conforme a demanda da cultura, ou seja, conforme sua necessidade hídrica, que pode ser estimada por meio do produto da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura em questão (k_c). Allen et al. (1998) propõem k_c para as principais plantas cultivadas, sendo dependente, principalmente, da cultura e das suas fases de desenvolvimento, e, em menor escala, do clima. Entretanto, por se tratar de um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, o coeficiente de cultura, preferencialmente, deve ser determinado para as condições locais, nas quais será utilizado (MEDEIROS et al., 2004).

Um bom manejo da irrigação pode ser realizado de diferentes formas, estando dependentes em dados meteorológicos, no conteúdo de água do solo, ou ainda com base no processo de transpiração vegetal. Com isso, conhecer os métodos de manejo da irrigação e suas implicações é de fundamental importância para se decidir pelo método mais adequado a ser utilizado às condições locais de implantação do sistema.

2.2. Métodos utilizados no manejo da irrigação e seus instrumentos

2.2.1. Dados meteorológicos e estimativa da evapotranspiração

A irrigação, em todas as suas etapas, depende fundamentalmente do conhecimento dos fatores meteorológicos, a começar pelo planejamento, dimensionamento dos sistemas de irrigação e do manejo da água nos sistemas de produção agrícola (COUTO & SANS, 2002). O requerimento de água pelas culturas é diretamente influenciados pelos parâmetros climáticos (ALLEN et al., 1998), e na maioria das vezes é estimado por meio da evapotranspiração (ET).

De acordo com Allen et al., (2008) a evapotranspiração pode ser obtida de diferentes maneiras: medindo-se diretamente a campo, pelo balanço de água no solo por meio de lisímetros; calculada a partir de dados meteorológicos, com a utilização de equações empíricas e semi-empíricas ou ainda pode ser estimada pela evaporação da água num tanque. Nesse último, mede-se a evaporação de uma superfície livre de água, que integra o efeito da radiação, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento.

A estimativa correta da ET favorece o planejamento e o manejo adequados dos sistemas de irrigação, minimizando os custos da aquisição dos equipamentos, bem como os impactos negativos da aplicação deficitária ou excessiva de água (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012).

I) *Tanque Classe A*

De acordo com Allen et al. (1998), o Classe A é um tanque circular com 120,7 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade. É fabricado com ferro galvanizado ou com lâminas de metal (0,8 mm) e instalado sobre uma plataforma em nível, a 15 cm acima do nível do solo (Figura 1). Uma vez instalado, o tanque deve ser preenchido com água até a altura de 5 cm abaixo da borda, sendo que durante o manejo, o nível de água não deve diminuir mais de 7,5 cm abaixo da mesma. A água deve ser trocada regularmente, pelo menos uma vez por semana, para remover turvação. O local de instalação deve ser coberto com grama, de preferência em uma área de 20 por 20 m, aberto a todos os lados para permitir a circulação de ar; sendo preferível que a estação fique situada no centro ou dentro de grandes áreas cultivadas.

A evaporação medida no tanque (ECA) corresponde à integração entre a radiação, vento, temperatura e umidade sobre o processo evaporativo de uma superfície livre de água. Embora o tanque responda de forma semelhante aos mesmos fatores climáticos que afetam a transpiração da cultura, diversos fatores provocam diferenças significativas entre a perda de água a partir de uma superfície livre e de uma superfície cultivada. A reflexão da radiação solar no reservatório de água pode ser até 23% diferente da assumida para a cultura de referência. O armazenamento de calor dentro do tanque pode ser significativo e pode causar evaporação significativa durante a noite, numa contrapartida de que a maioria das culturas transpira apenas durante o dia. Deve se considerar também que há diferenças na turbulência, temperatura e umidade do ar que se encontram imediatamente acima destas duas superfícies, observando ainda que a transferência de calor através das paredes do tanque também afeta esse balanço energético (ALLEN et al., 1998).

O manejo da irrigação realizado a partir da evaporação do tanque Classe A, tem sido amplamente estudado, em seus vários aspectos. Diversos são os autores que realizam estudos avaliando-se as diferentes metodologias para obtenção do K_p (coeficiente utilizado para converter a evaporação do tanque em evapotranspiração da cultura de referência) correlacionando-as, por exemplo, a evapotranspiração medida em lisímetros. Sentelhas & Folegatti encontraram baixa correlação entre os valores de K_p , obtidos a partir de diferentes metodologias, na relação ET_o/ECA , quando comparados aos valores de ET_o obtidos no lisímetro. Outra forma de estudo com manejos realizados pela ECA; envolvem a avaliação de

lâminas de irrigação, calculadas com bases em percentuais da evaporação do tanque (VILAS BOAS et al., 2008; LIMA et al., 2009; VIANA, et al., 2012; ARAÚJO et al., 2010; CUPINNI et al., 2010).

II) Irrigâmetro

O Irrigâmetro foi desenvolvido por Oliveira & Ramos (2008) e é composto basicamente pela associação de um evaporímetro com um pluviômetro. As informações fornecidas pelo irrigâmetro se baseiam na integração das características do solo, da planta, do sistema de irrigação e também nas características de atuação dos elementos meteorológicos (temperatura, vento, umidade do ar, radiação, etc.) sob uma superfície de água exposta a atmosfera (OLIVEIRA et al, 2007). Ainda assim, de acordo com Paula (2009), o método está sujeito as mesmas imprecisões do tanque Classe A, pois não considera a resistência aerodinâmica e estomática da planta.

O manejo da irrigação utilizando o Irrigâmetro requer um diagnóstico prévio do sistema de irrigação e a caracterização do solo, da água, do clima e da cultura, uma vez que o método tem por finalidade integrar estas variantes por meio de régua que equipam o aparelho, sendo estas, específicas para as condições do solo, da cultura e do sistema de irrigação existentes na propriedade (OLIVEIRA & RAMOS, 2008).

Desde que foi lançado, o Irrigâmetro vem tendo sua precisão confrontada com outros métodos de manejo, entres eles, o método Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998). De acordo com Oliveira et al. (2007), o Irrigâmetro quando comparado ao Penman-Monteith FAO 56, apresenta desempenho adequado para estimar a evapotranspiração de referência nas escalas de um, três, cinco e sete dias. Os autores consideram ainda que o irrigâmetro deva ser recomendado para o manejo da água na agricultura irrigada. No entanto, Freitas Júnior (2010) relata que o uso do irrigâmetro superestimou a evapotranspiração da cultura do meloeiro quando comparado ao método do balanço hídrico com o uso do programa computacional REF-ET. Nunes (2011), utilizando o equipamento na cultura da soja, concluiu que o mesmo mostrou-se eficiente no aporte de água à cultura, evidenciado na alta produtividade obtida.

2.2.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento da umidade do solo tem sido uma prática cada vez mais importante nas atividades agrícolas, tanto pelo fato de lidar com a parte de racionalização do uso da água, bem como, economia com gastos de energia elétrica e prevenção de doenças em plantas (FRANCO, 2009).

São vários os métodos utilizados para determinação da umidade do solo, sendo esses classificados em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos mais conhecidos e precisos são: o método gravimétrico e o método do lisímetro. O gravimétrico é o método clássico e o mais utilizado na determinação do conteúdo de água do solo (COUTO & SANS, 2002); sendo por isso muitas vezes utilizado na calibração de outros métodos. Ele se baseia na diferença entre a massa úmida e a massa seca de uma amostra de volume conhecido de solo. Ainda de acordo com Couto e Sans (2002), essas amostras podem ser retiradas em vários locais e profundidades, no campo, podendo constituir-se de amostras simples ou compostas.

Os demais métodos classificados como indiretos, se baseiam nas propriedades físico-químicas do solo que sejam proporcionais ao seu conteúdo de água. Dentre eles estão a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), tensiometro, Hidrofarm (medidor eletrônico de umidade do solo), blocos de resistência elétrica e moderação de nêutrons. Segue uma descrição mais detalhada daqueles considerados mais relevantes neste estudo.

I) *Tensiômetro*

Instrumento desenvolvido em 1922, por Gardner (CAMARGO et al., 1982 apud AZEVEDO et al., 1999), o tensiômetro fornece de forma direta o potencial matricial, ou seja, a tensão com que água está retida pelas partículas do solo, e de forma indireta, a umidade.

De acordo com Coelho e Teixeira (2004), o princípio de funcionamento do tensiômetro baseia-se na formação do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho. O tensiômetro consiste de uma cápsula porosa conectada a um medidor de vácuo através de um tubo totalmente preenchido por água. Quando colocado em solo saturado não ocorre formação de vácuo, uma vez que não há passagem de água do interior do tensiômetro para o solo, já quando o solo encontra-se com menor conteúdo de água, existe uma tendência de que a água no interior do aparelho se movimente no sentido do solo, formando no interior desse uma pressão negativa, correspondente ao potencial matricial da água no solo.

Existem várias propostas de automação utilizando-se como referência a tensão de água no solo. O uso de tensiômetros com esse propósito tem sido bastante estudado; Queiroz et al. (2005) avaliaram tensiômetros adaptados ligados a um controlador eletrônico digital, Coelho (2003) desenvolveu um tensiômetro eletrônico, em que o dispositivo com mercúrio foi substituído por um sensor de pressão. Medici (1995) desenvolveu e patenteou um acionar automático para irrigação com base em um tensiômetro de coluna de mercúrio associado a contatos elétricos inseridos no conduto por onde transita o mercúrio. Apesar de eficientes, a utilização de tensiômetros na automação de sistemas de irrigação ainda se encontra restrito ao meio acadêmico, em função principalmente da complexidade de operação.

II) *TDR (reflectometria no domínio de tempo)*

A técnica da TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo) baseia-se no sensível efeito da umidade do solo sobre a velocidade de pulsos de microondas em cabos condutores (guia) envoltos pelo solo (SOUZA et al., 2009). O princípio de funcionamento da TDR compreende a medida do tempo gasto por uma onda para se propagar do início ao fim de duas ou mais hastes guias de onda, inseridas no solo. Como o comprimento das guias de onda é fixo, é possível calcular a velocidade de propagação do sinal, a qual é inversamente proporcional à constante dielétrica do solo (COELHO, 2003). Portanto, a velocidade do pulso na sonda é medida e relacionada com o conteúdo de água no solo, em que velocidades menores, indicam solos mais úmidos (EVETT, 2003).

A constante dielétrica é a medida da capacidade de um material, não condutor, de transmitir ondas eletromagnéticas de altas frequências ou pulsos. Segundo Ruth (1999), a constante dielétrica do solo varia entre 2 e 5, enquanto que a constante dielétrica da água é de aproximadamente 80.

A relação da leitura do TDR com a umidade do solo, expressa por sua curva de calibração, pode ser descrita por modelos estatísticos totalmente empíricos, ou baseados em princípios físicos ou, ainda, mistos. Esta curva pode ser da umidade em função da permissividade ou do tempo medido pelo equipamento; este último deve resultar em uma relação linear (HOOK et al., 1992 apud CHICOTA & LIER, 2004). Diversos autores utilizam-se da relação entre umidade gravimétrica do solo e constante dielétrica, para obtenção de equações de regressão lineares, que permitem obter de forma indireta a umidade do solo pelo método TDR (OLIVEIRA NETO et al., 2011; SOUZA et al., 2011a; SOUZA et al., 2011b; CARVALHO et al., 2011).

As medidas de umidade do solo obtidas a partir da técnica TDR são utilizadas não só com o intuito de monitoramento da água no solo, mas também para a realização do planejamento da irrigação (OLIVEIRA NETO et al., 2011) por se tratar de uma técnica de resposta rápida e precisa. Dados de umidade do solo são amplamente utilizados em trabalhos

de pesquisa, por se tratar de variável fundamental na compreensão da dinâmica da água, no complexo, solo, planta e atmosfera. SOUZA et al. (2011) utilizaram dados do monitoramento da umidade do solo, obtidos a partir da técnica do TDR, e do fluxo da água no solo; associados à observação da variação dos elementos climáticos, para conhecer e quantificar os componentes do balanço hídrico, estimar a evapotranspiração efetiva da cultura, e posteriormente, os coeficientes de cultivo.

III) *Hidrofarm (medidor eletrônico de umidade do solo)**

O Hidrofarm – Medidor Eletrônico de Umidade do Solo é um equipamento que permite a medição da umidade volumétrica do solo de forma simples e direta. A medição é feita através de uma medida eletromagnética denominada ISAF (Impedância do Solo em Alta Frequência); são emitidas ondas eletromagnéticas e é analisada a resposta do solo a estas ondas (Figura 1). A água apresenta resposta diferente da estrutura do solo, que é proporcional à umidade. O valor informado pelo medidor é referente à média da umidade volumétrica do solo presente a um raio de 15 cm de distância do sensor e ao longo dos seus 20 cm de comprimento; não sendo, portanto, possível realizar medições pontuais de umidade do solo (FALKER, 2010).

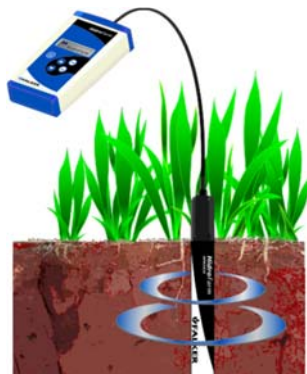


Figura 1: Representação da emissão de ondas pelo sensor, instalado no solo e do monitor onde se realiza a leitura da umidade (Imagem gentilmente cedida pela empresa FALKER).

IV) *Irrigás[®](MPI 03)**

De acordo com Calbo & Silva (2005) o sistema Irrigás[®], patenteado pela EMBRAPA, em sua composição mais simples, constitui-se de uma cápsula porosa (sensor), conectada através de um tubo flexível a uma pequena cuba transparente, que é o dispositivo para medir o estado da água no solo. Para fins de manejo de irrigação, a cápsula é instalada no solo na profundidade efetiva do sistema radicular.

Nesta situação a cápsula porosa entra em equilíbrio hídrico com o solo, em poucas horas. No momento da medição do estado da água no solo, se o solo estiver “úmido”, a passagem de ar através da cápsula porosa é bloqueada, quando a cuba é imersa na água, isto é, a água não entra na cuba porque o ar não sai do sistema através dos poros da cápsula. Por outro lado, quando o solo perde umidade e esta atinge um valor abaixo do crítico, a cápsula porosa torna-se permeável à passagem do ar. Assim, estando o solo “seco”, quando emborcase a cuba transparente no frasco de água, o menisco ar-água se movimenta na mesma, no sentido de se igualar com o nível da água no frasco. Quando isto ocorre o solo deve ser irrigado. Ao contrário, se a cápsula úmida bloquear a entrada de água na cuba, então, o solo ainda permanece suficientemente “úmido” e não deve ser irrigado (CALBO & SILVA, 2005).

* Referências a marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

O sensor possui versões com diferentes tensões críticas (10, 25, 40 kPa) e para a escolha de qual tensão utilizar, deve-se considerar a sensibilidade da cultura aliada a ao sistema de irrigação utilizado. Entretanto, o funcionamento do sistema Irrigás[®] com uma tensão crítica inferior a 10 kPa, é ainda considerada uma limitação. Marouelli et al. (2003) obtiveram bons resultados no manejo da irrigação de hortaliças cultivadas em substratos com o uso do Irrigás com cápsulas porosas experimentais de 7 kPa; no entanto, essas cápsulas eram mecanicamente muito frágeis e serviram apenas para finalidades experimentais.

O sistema Irrigás[®] básico descrito aqui, não possibilita avaliar quantitativamente o valor exato da tensão de água no solo, mas sim, se a tensão está acima ou abaixo da tensão de referência da cápsula porosa. Por isso, a umidade do solo deve ser determinada indiretamente a partir da curva característica de retenção de água do solo, que relaciona a umidade volumétrica e a tensão matricial de água no solo (MAROUELLI & CALBO, 2009) e por diferença entre a umidade na capacidade de campo pela umidade instantânea do solo, determina-se a lâmina aproximada a ser aplicada. Entretanto em casos em que não se tem a curva de retenção do solo, é necessário se realizar o ajuste por meio de métodos práticos, onde a lâmina é ajustada por tentativa com base nas leituras diárias dos sensores rasos e “profundos” (MAROUELLI & CALBO, 2009).

De acordo com Santana et al. (2004) o uso do Irrigás[®] apresenta-se como uma opção para o manejo da irrigação na fase inicial do cafeeiro, não necessitando de manutenção no período do experimento. O Irrigás[®] também é apontado por Pereira et al. (2004), juntamente a outros cinco tipos de sensores de umidade do solo, como sendo de baixo custo unitário e de simples procedimento de instalação.

2.3. Automação na irrigação

A necessidade de se irrigar varia no tempo, de acordo com as condições climáticas, do solo e com o estágio de desenvolvimento da cultura. Fereres & Soriano (2007) definem irrigação como aplicação de água de forma a evitar que ocorra déficit hídrico e consequente redução da produtividade das culturas. Contudo mensurar todas as variáveis que influenciam diretamente em quando e quanto irrigar, ainda compreende uma metodologia bastante complexa e muitas vezes dispendiosa de tempo e dinheiro.

Existem diversos métodos, diretos e indiretos, capazes de estimar o melhor momento e volume a se aplicar. Estes métodos inúmeras vezes encontram-se associados a mecanismos de automação, o que torna a aplicação de água ainda mais eficiente. O uso desses sistemas integra as técnicas que compõem o que se entende hoje como agricultura de precisão.

A agricultura de precisão é uma técnica de gerenciamento sistêmico e otimizado do sistema de produção através do domínio da informação, com a utilização de uma série de tecnologias e tendo como peça chave o posicionamento geográfico (JORGE & TORRENETO, 2005). Em suma, a agricultura de precisão permite o gerenciamento do sistema produtivo, considerando a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental.

O uso da automação na agricultura traz vantagens como redução no consumo de água, energia e dinheiro, além de proporcionar otimização dos insumos e aumentos de produtividade. De acordo com Karlen et al. (1990) os fatores relacionados à disponibilidade hídrica, principalmente em períodos secos, são os principais causadores da variabilidade obtida na produtividade.

Segundo Queiroz (2007), existe à disposição do agricultor brasileiro, sistemas automáticos de irrigação que operam em malha fechada monitorando sensores de solo e clima. Os sistemas mais evoluídos contam até com controle remoto (“Wireless”) fazendo a

chamada automação sem fio. Todavia, os controladores predominantes são aqueles dedicados que executam apenas um programa de gerenciamento de portas que permitem abrir e fechar válvulas em datas e intervalos de tempo pré-programados.

Entretanto, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada no país, não utiliza qualquer forma de manejo racional da água de irrigação. O uso de sistemas automáticos com essa finalidade ainda é incipiente (GOMIDE, 1998).

I) *Acionador Automático para Irrigação (AAI)*

Este aparelho foi desenvolvido para manter automaticamente a tensão da água no solo em valores próximos à capacidade de campo. O modelo é composto de uma cápsula cerâmica de filtragem residencial de água conectada por um tubo flexível a um pressostato de máquina de lavar roupa (Figura 2). O conjunto é montado de forma que fique totalmente preenchido com água. Com isso, a cápsula, que funciona como um sensor; fica inserida no substrato de cultivo, que ao se dessecar, faz com que ocorra a passagem da água do interior do aparelho para o solo. Esse processo cria uma pressão negativa no interior desse, fazendo com que o pressostato se arme e promova a passagem da eletricidade que alimenta um sistema de bombeamento ou uma válvula solenóide, promovendo a irrigação (Figura 3).

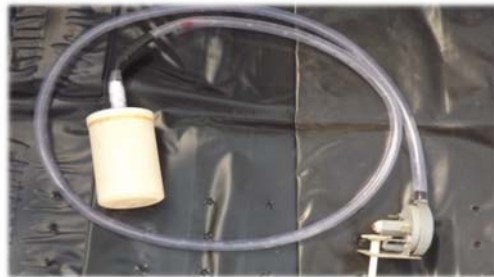


Figura 2: Componentes para a confecção do AAI.

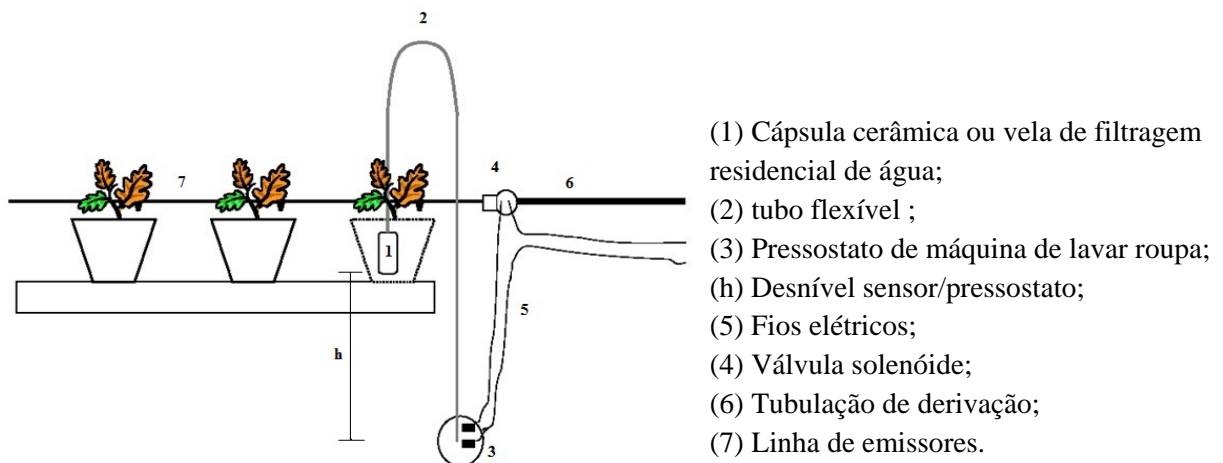


Figura 3: Esquema do acionador automático para irrigação.

A regulagem da tensão de água no solo em que se deseja trabalhar é feita com base na altura de instalação do pressostato (indicado por h na Figura 3), que deve ser abaixo da cápsula onde alturas maiores implicam em maiores tensões e, portanto, em maiores intervalos entre irrigações. Já quando instalados em alturas menores, a tensão de trabalho também é menor e a irrigação, mais frequente.

Esse aparelho ainda encontra-se em fase de testes e dessa forma diferentes pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de aprimorar o seu uso, tanto no sentido de adequação ao tipo de solo e planta, quanto à operacionalidade do sistema. Resultados obtidos por Medici et al. (2010) indicam que o uso do acionador simplificado em substrato comercial e solo (Argilossolo vermelho distrófico), com alturas de instalação do pressostato variando de 0,30 a 0,90 m, obtém-se uma série de tensões que variam de 1 a 8 kPa e de 4 a 13 kPa, respectivamente. Já Batista et al. (2013), avaliou o equipamento, em experimentação a campo com cultivo de alface, testando a interação entre dois desníveis do pressostato (altura compreendida entre o sensor do solo e o pressostato_ 0,30 e 0,90 m) com duas profundidades de instalação dos sensores (velas_0,10 e 0,20 m), obtendo de modo geral melhores resultados na interação entre desnível de 0,90 m e profundidade de 0,20 m, com maior produção de massa fresca de alface.

2.4. Cultivo orgânico de hortaliças

2.4.1. Agricultura orgânica

A agricultura orgânica busca criar ecossistemas mais equilibrados, preservar a biodiversidade, os ciclos e as atividades biológicas do solo. Os produtos orgânicos são cultivados sem o uso de agrotóxicos, adubos químicos e outras substâncias tóxicas e sintéticas (MAPA, 2012).

De acordo com a lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003; considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível; métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente.

Todavia a demanda cada vez maior por produtos orgânicos, fez surgir um crescente ramo da agricultura, denominado de agricultura orgânica, que na sua concepção discute principalmente o uso de insumos agrícolas, mostrando-se ainda muitas vezes incipiente no que se trata ao uso da água, fator determinante na preservação do meio ambiente. Nesse âmbito, o presente estudo visa discutir diferentes formas de manejo da irrigação com economia de água, sob o ponto de vista do médio e pequeno produtor, quanto à inclusão desses sistemas na propriedade agrícola.

2.4.2. Cultura da Alface

Com a mudança dos hábitos alimentares da população, que está cada dia mais se preocupando com a boa forma e saúde corporal, o consumo de hortícolas, em especial da alface vem aumentando em todo o país. Em função disso, a alface vem sendo considerada a olerícola folhosa mais importante na alimentação do brasileiro, ocupando o posto de líder nacional, o que lhe assegura expressiva importância econômica, dentro do grupo das hortaliças folhosas (GEISENHOFF et al., 2009).

A alface é uma planta autógama (com menos de 1% de fecundação cruzada), anual, herbácea, tipicamente folhosa, e que durante a fase vegetativa apresenta o caule muito curto e tenro, não ramificado, ao qual se prendem as folhas, dando aspecto de roseta à planta. Estas por sua vez possuem ampla variabilidade no que diz respeito ao seu comprimento, forma, cor, textura e tamanho; podendo ser lisas ou crespas, formar ou não uma cabeça. Conforme a cultivar, a coloração pode ocorrer em vários tons de verde e roxo. O sistema radicular é muito

ramificado e superficial. Na ocasião em que a planta é transplantada, o sistema radicular explora apenas os primeiros centímetros do solo, enquanto que em semeadura direta a raiz pivotante pode atingir até 60 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2000).

Quanto ao valor nutricional, de acordo com a EMBRAPA, a alface constitui uma importante fonte de sais minerais, principalmente de cálcio e de vitaminas. De acordo com Favaro-Trindade et al. (2007) os diferentes tipos de cultivo (orgânico, convencional e hidropônico) apresentam diferenças com relação ao conteúdo de nitrato encontrado nas folhas da alface, sendo que o cultivo orgânico, em seu estudo, foi o que apresentou o menor teor desse componente. Esse mesmo autor, avaliando ainda o teor de vitamina C na cultura, encontrou resposta semelhante para os três tipos de cultivo.

A alface pode ser cultivada ao longo de todo ano, principalmente em regiões de clima ameno; sendo a temperatura ideal para seu cultivo, em torno de 20°C. Sob condições de calor intenso, dias longos e/ou excesso de chuva a cultura tem sua produtividade comprometida, uma vez que essas condições favorecem ao pendoamento precoce, tornando as folhas leitosas, amargas e sem valor comercial (FILGUEIRA, 2000). No entanto, já existe no mercado cultivares mais adaptadas aos plantios de verão; tais cultivares permitem a produção durante o ano inteiro principalmente na região serrana do estado do Rio de Janeiro (LIMA, 2007).

O cultivo orgânico da cultura exige a escolha de cultivares mais adaptadas às condições locais, com características como rusticidade (sistema radicular mais desenvolvido), boa capacidade de exploração do solo e ainda maior nível de resistência ou tolerância a pragas e doenças (RESENDE et al., 2007).

Sendo a alface uma das hortaliças mais exigentes em água, o efeito desta sobre a cultura, vem sendo estudado a pelo menos seis décadas e diversos pesquisadores constataram uma estreita relação entre o nível de umidade do solo, o crescimento e o rendimento da cultura (HAMADA, 1993).

A alface, em condições de campo, é tradicionalmente cultivada em canteiros, utilizando-se principalmente o método de irrigação por aspersão convencional. Entretanto, é importante ressaltar que com a expansão do cultivo protegido de hortaliças, o uso de sistemas de irrigação por gotejamento tem aumentado (ANDRADE JÚNIOR & KLAR, 1997; ARAÚJO et al., 2010).

Dessa forma, com o propósito de aliar eficiência no uso da água com a relação custo/benefício da produção de alface, diversos autores têm desenvolvido pesquisas correlacionando lâminas de irrigação em sistema de gotejamento com a produção da cultura. Vilas Boas et al. (2008), avaliaram quatro lâminas de irrigação, 75, 100, 125 e 150% de reposição de água, sendo a lâmina de 100% correspondente à tensão da água no solo de 15 kPa; os resultados obtidos permitiram estimar uma lâmina economicamente viável em 244,2 mm, correspondendo a uma produtividade comercial praticamente igual à máxima física. Já Araújo et al. (2010) e Cupinni et al. (2010), avaliaram lâminas de irrigação com base em frações da evaporação do tanque Classe A (ETCA) (20%, 40%, 60%, 80%, 100% e 120%) e (50%; 75%; 100% e 125%) respectivamente. Os resultados obtidos por Araújo et al. (2010) indicam máximo rendimento, de 17,35 t ha⁻¹, com a aplicação de 120% da ECA; já Cupinni et al. (2010), infere que uma lâmina de 50% seria a mais adequada quando se leva em conta a relação entre eficiência de uso da água e custo de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA localizado no município de Seropédica-RJ (Latitude 22°48'00''S; Longitude 43°41'00''W; altitude de 33,0m). De acordo com Carvalho et al. (2006), o clima é do tipo Aw na classificação de Köppen. A área experimental constitui-se em 99,4 m² caracterizada, em sua maior parte, por Argissolo vermelho-amarelo com as seguintes características físico-químicas para as profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabelas 1 e 2):

Tabela 1: Textura do Argissolo Vermelho-Amarelo em duas profundidades.

Prof. (m)	Argila total	Areia total	Areia fina	Areia grossa	Silte
0 – 0,10	18	68	15	53	14
0,10 – 0,20	18	66	15	51	16

Tabela 2: Análise química do Argissolo Vermelho-Amarelo em duas profundidades.

Prof. (m)	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	Ca+Mg
0 – 0,10	5,7	98	135	4,5	1	0	5,5
0,10 -0, 20	6	140,3	101	4,8	2,8	0	7,6

3.1. Preparo das mudas

Foi realizado um cultivo de alface, sendo as mudas (cultivar Regina) produzidas em casa de vegetação utilizando sementeiras com substrato orgânico, com 83% de vermicomposto como componente básico, 15% de fino de carvão vegetal e 2% de torta de mamona (Tabela 3) (Oliveira, 2011).

Tabela 3: Análise química do vermicomposto.

Características do Vermicomposto	CE (dS.m ⁻¹)	pH	Ca	Mg	P	K	N (%)
SO	1,01	6,45	12,7	5,3	4,08	2,35	1,58

3.2. Caracterização do experimento

Antes do transplante das mudas, o solo foi preparado com a incorporação de esterco bovino na proporção de 10 t ha⁻¹. As mudas de alface foram transplantadas no dia 14 de agosto (29 DAS) de 2012, com espaçamento entre linhas e plantas de 0,25 m, em canteiros com um metro de largura e três de comprimento. Após o transplante, visando garantir o estabelecimento das mudas de alface no campo, foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão por um período de 13 dias, sendo a lâmina de irrigação determinada com base na evapotranspiração obtida a partir do método de Penman–Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Após esse período, iniciaram-se os tratamentos, caracterizados por diferentes tipos de manejo de irrigação. Aos 20 dias após o transplante, foi realizada uma adubação de cobertura para reposição de Nitrogênio, com torta de mamona a 5% de N, a uma dosagem de 50 kg de N

por hectare. A adubação foi realizada em linha de plantio. A Figura 4 apresenta a caracterização esquemática do experimento.

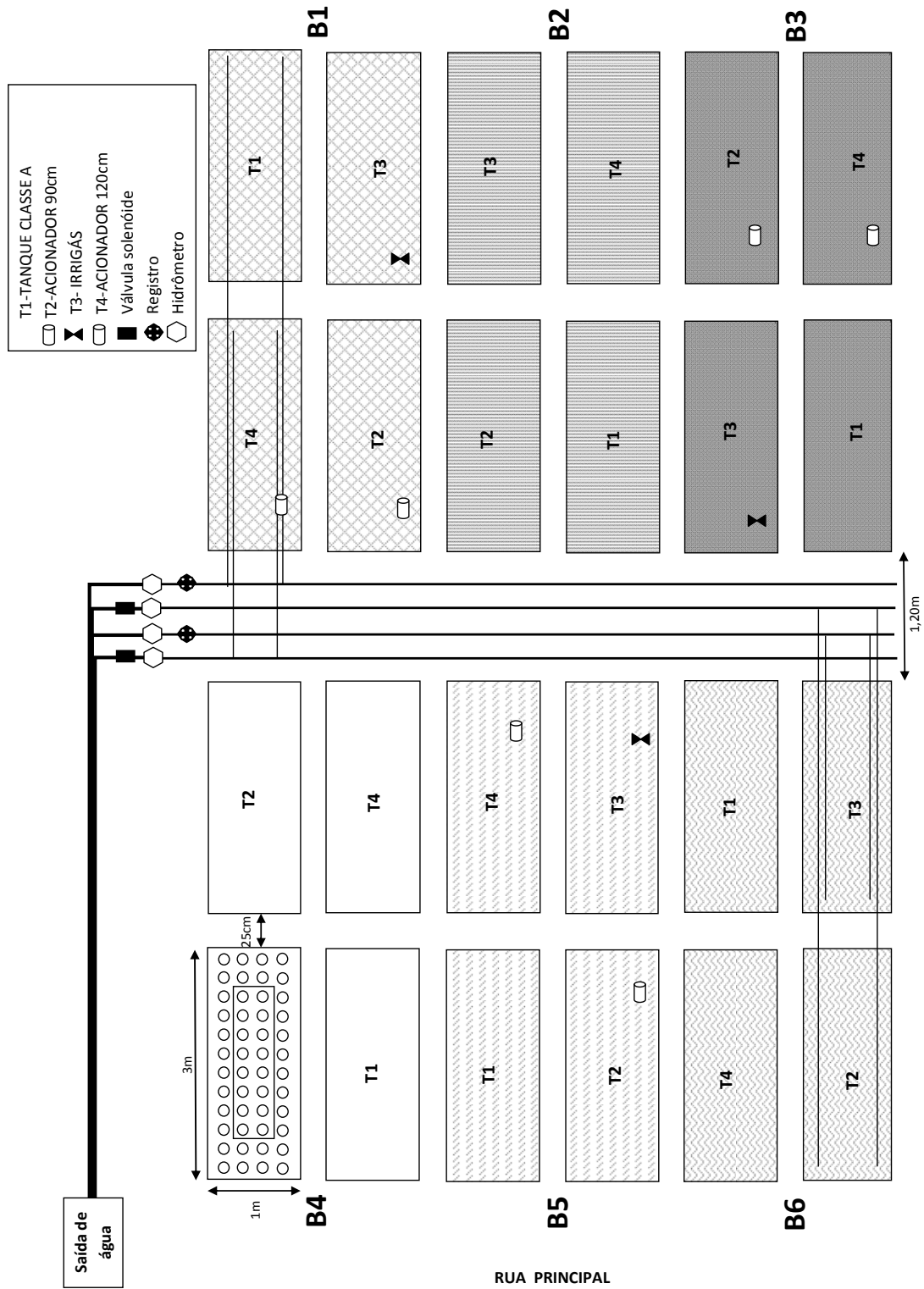


Figura 4: Caracterização esquemática do experimento, demonstrando a distribuição dos equipamentos nas parcelas experimentais.

3.2.1. Tratamentos

O cultivo foi desenvolvido em delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC), com quatro tratamentos casualizados em seis blocos, totalizando 24 parcelas experimentais (Figura 5). Os tratamentos foram caracterizados por diferentes métodos de manejo da irrigação (tanque Classe A, Irrigás e Acionador automático com duas regulagens).



Figura 5: Vista panorâmica da distribuição das parcelas na área experimental.

As Figuras 6 e 7 apresentam a instalação do Acionador Automático para Irrigação e do Irrigás® na área experimental e na Figura 8, o tanque Classe A, instalado na estação experimental da Fazendinha Agroecológica (SIPA).



Figura 6: Instalação do sensor (vela) do Acionador Automático para Irrigação a 20cm de profundidade.



Figura 7: Instalação do sensor (raiz) do Irrigás®.



Figura 8: Tanque Classe da estação metereológica no SIPA.

3.3. Montagem, instalação e monitoramento dos equipamentos

3.3.1. Tanque Classe A (TCA)

O tanque localizado na estação experimental da Fazendinha Agroecológica (Figura 8) foi monitorado diariamente, sendo suas leituras utilizadas no cálculo da evapotranspiração de referência (E_{To}), que foi efetuado de acordo com Allen et al. (1998):

$$E_{To} = E_v \cdot k_p \quad (1)$$

em que,

E_{To} = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

k_p = coeficiente do tanque; e

E_v = evaporação do tanque Classe A (mm dia^{-1}).

Para a estimativa do k_p foi utilizada a Equação 2, também proposta por Allen et al. (1998):

$$k_p = 0,108 - 0,02286 \cdot u_2 + 0,0422 \cdot \ln(B) + 0,1434 \cdot \ln(UR_{\text{méd}}) - 0,000631[\ln(B)]^2 \cdot \ln(UR_{\text{méd}}) \quad (2)$$

u_2 = velocidade do vento medida a 2m de altura (m s^{-1});

$UR_{\text{méd}}$ = umidade relativa média (%); e

B = bordadura, em m, que corresponde o espaço entre o tanque e o final da área de contorno (neste estudo foi utilizado 10m).

Os dados de velocidade do vento e umidade relativa média são referentes a estação metereológica de Seropédica/RJ-Km47, e foram obtidos diretamente da página do INMET (http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php).

A evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) foi determinada utilizando a equação 3:

$$E_{Tc} = E_{To} \cdot k_c \quad (3)$$

em que, k_c representa o coeficiente de cultivo da cultura da alface.

Diariamente, os coeficientes de cultivo (Tabela 4) eram corrigidos, conforme metodologia apresentada por Allen et al. (1998):

$$kc_{ini} = 1,41704 - 0,092412ET_o - 0,11001IE + 0,0042672ET_o^2 + 0,00028724ET_o \cdot IE \quad (4)$$

$$kc_{méd} = kc_{méd}(tab) + [0,04 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (5)$$

$$kc_{fin} = kc_{fin}(tab) + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (6)$$

em que,

kc_{ini} = coeficiente da cultura para fase 1;

$kc_{méd}$ = coeficiente da cultura para fase 2;

kc_{fin} = coeficiente da cultura para fase 3;

IE = intervalo entre eventos de umedecimento do solo, em dias; e

h = altura máxima da planta na fase correspondente, em m.

Tabela 4: Coeficientes de cultura (kc) para a cultura da alface sob sistema de cultivo convencional e irrigadas por aspersão.

Fase	DAS*	Valor do kc
Início	0-30	0,7
Vegetativa	31-40	0,85
Produção	41-60	1,00
Maturação	61-até a colheita	0,95

*Dias após a sementeira

Adaptado de Marouelli et al. (1996), Allen et al.(1998) e Marouelli et al. (2001)

3.3.2. Irrigás[®]*

Foram utilizados três conjuntos de sensores Irrigás[®] 15 kPa e três conjuntos de sensores 25 kPa, distribuídos para melhor representar a área de trabalho. Cada conjunto é composto por duas cápsulas, uma denominada de raiz e outra denominada de controle (Figura 9), instaladas perpendicularmente a linha de plantio, a profundidade de 0,20 m (raiz) e 0,40 m (controle) aos 13 dias após o transplante. Os sensores foram instalados abaixo do emissor gotejador, perpendicularmente a linha lateral de irrigação (Figura 10 e 11).

A leitura dos sensores Irrigás[®] era realizada diariamente no período da manhã às 9:00h e a irrigação efetuada quando pelo menos dois dos sensores 15 kPa indicavam leitura: SECO. Os sensores de 25 kPa foram utilizados apenas com intuito de se restringir a faixa de tensão da água no solo, para facilitar a determinação da lâmina mais adequada. Assim, se o sensor de 15 kPa indicasse leitura: SECO e o de 25 kPa indicasse: ÚMIDO, sabia-se que a tensão de água no solo encontrava-se dentro dessa faixa. Esse manejo foi adotado por se tratar de um trabalho de pesquisa, visando ajustar a lâmina de irrigação o mais rápido possível.

* Referências a marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

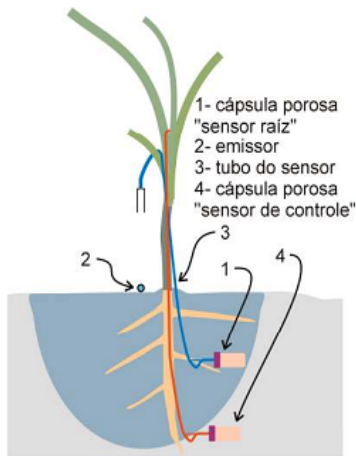


Figura 9: Posicionamento dos sensores raiz e controle (Imagem gentilmente cedida pelo autor Adonai Gimenez Calbo).



Figura 10: Posicionamento dos sensores em relação à linha de plantio.



Figura 11: Vista dos sensores após instalação.

A Figura 12 representa o monitoramento do sistema realizado durante do período de cultivo, demonstrando, sempre, a média das leituras (conforme a metodologia, das três leituras obtidas a campo, considerava-se as duas que se repetissem).

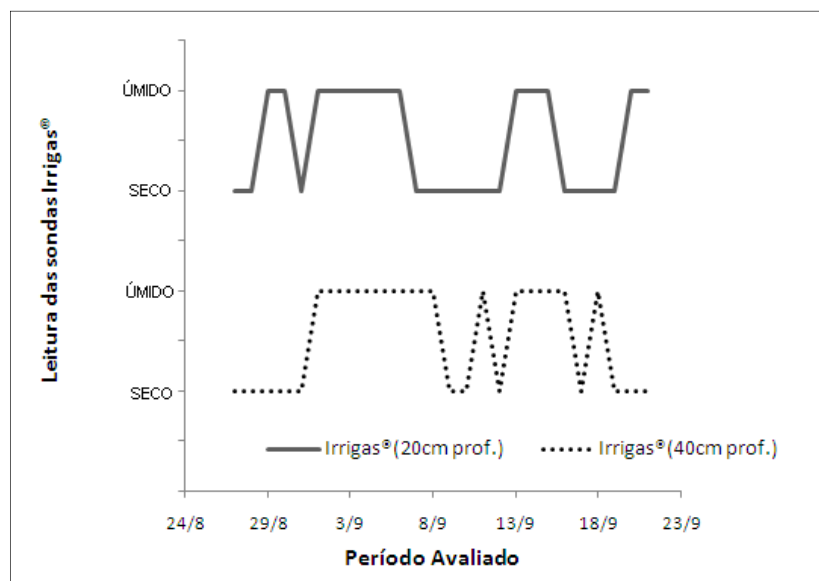


Figura 12: Monitoramento diário, realizado nos sensores Irrigás, demonstrando a frequência das leituras (SECO/ÚMIDO), indicadas pelo aparelho.

3.3.3. Acionador Automático para Irrigação (AAI)

Assim como o Irrigás[®], os AAI foram instalados em três pontos da área experimental, coincidentes com os blocos que receberam o monitoramento da umidade e também onde foram instalados os sensores Irrigás[®]. A escolha do local de instalação dos equipamentos visou buscar uma melhor representatividade da área em estudo assim como facilitar o monitoramento dos sistemas. Os acionadores foram instalados conjuntamente de forma a constituir um sistema elétrico em paralelo (Figura 14). Assim, bastava que um dos acionadores demandasse irrigação, para que toda a área do tratamento correspondente fosse irrigada.

Dos tratamentos em estudo, dois constituíram-se no uso do acionador automático para irrigação, estando a diferença entre eles no desnível entre pressostato e sensor (vela), o que condiciona a manutenção da água no solo sob diferentes tensões, 9 kPa para o desnível de 90 cm e 12 kPa para o desnível de 120 cm. Em ambos os tratamentos a vela foi instalada a 20 cm de profundidade (Figura 13). O acionador realizava o manejo automático da água no solo, sempre que o aumento da tensão da água no solo era transmitido através do sensor (vela) para coluna d'água no tubo flexível, aliviando assim a pressão sobre o pressostato que se armava promovendo a passagem da corrente elétrica e conseqüentemente acionamento do sistema. A instalação dos acionadores ocorreu aos 13 DAT, sendo os sensores (velas) posicionados horizontalmente, sob a linha de gotejamento, mais precisamente abaixo de um gotejador e paralelamente a linha de cultivo. O aporte de energia foi realizado por baterias 12V.

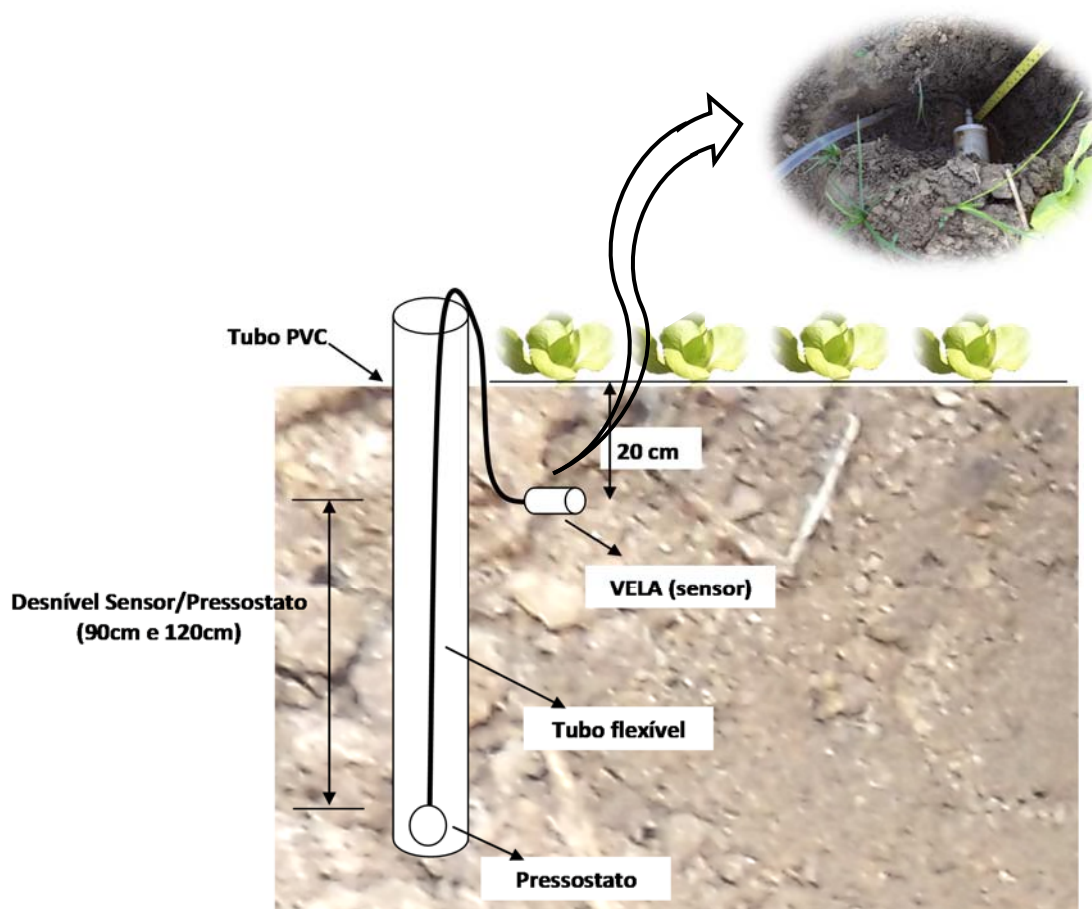


Figura 13: Desenho esquemático da instalação dos sensores a campo.

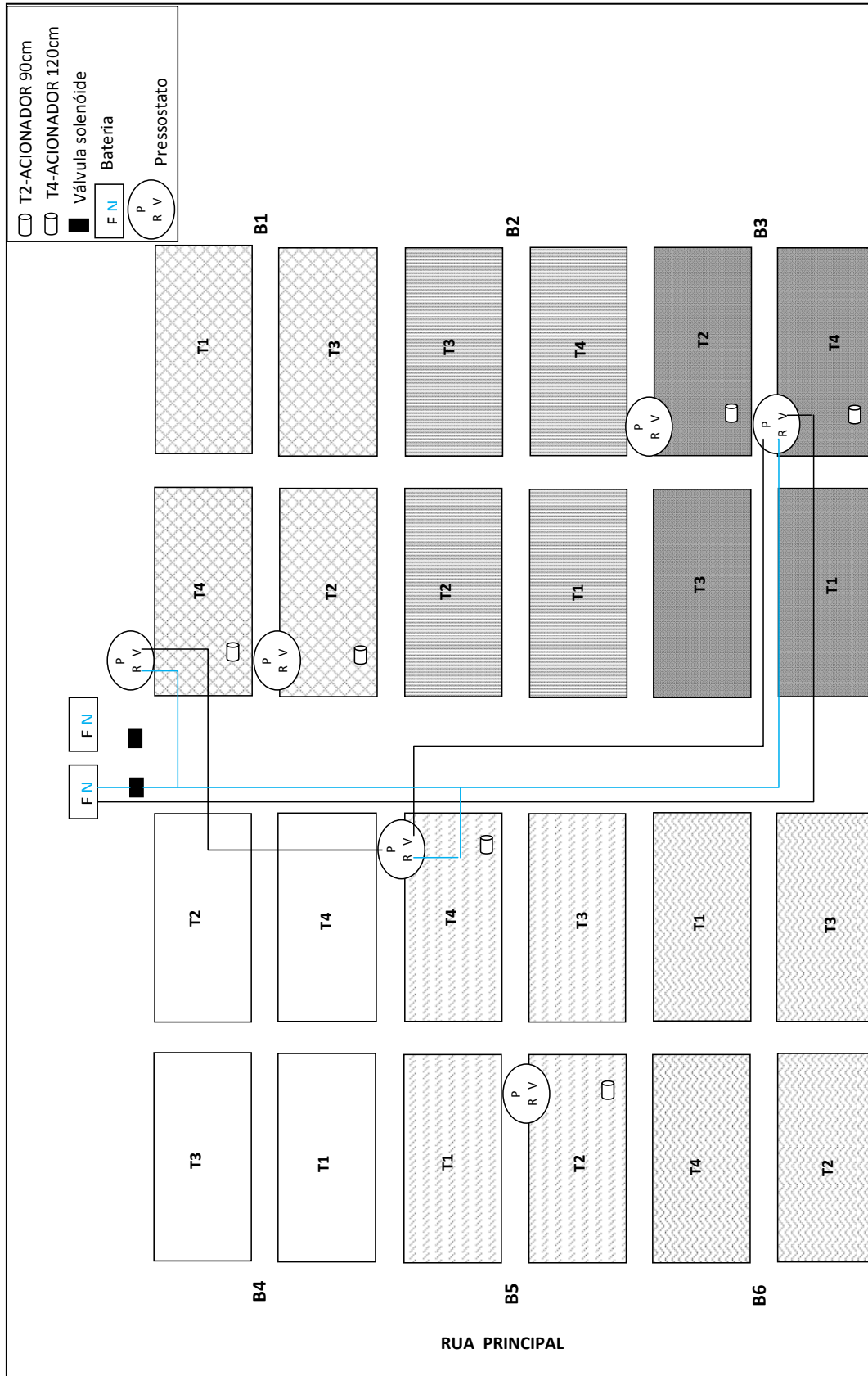


Figura 14: Caracterização esquemática da distribuição do sistema elétrico dos acionadores.

3.3.4. Sondas Hidrofarm (HMF 2030)*

As sondas Hidrofarm, para monitoramento diário da umidade do solo, foram instaladas em cada tratamento, sendo três sondas por tratamento, distribuídas de forma a contemplar os mesmos blocos de instalação dos demais sensores: Irrigás[®] e Acionador automático para irrigação. A leitura da umidade era realizada diariamente pela manhã.

Nas medições de umidade realizadas entre e abaixo dos gotejadores, foi utilizada uma única sonda Hidrofarm, que era cravada no solo em três pontos localizados entre emissores, e em três pontos abaixo do gotejador, realizando-se a leitura da umidade a cada ponto. Esse procedimento foi repetido nas 24 parcelas experimentais.

Para uma maior precisão, foi realizada a calibração das sondas em campo a partir do método gravimétrico. Para tanto, optou-se em utilizar uma bacia de calibração próxima à área experimental (Figura 15), onde inicialmente o solo foi saturado com água, para a posterior coleta de amostras (deformadas e indeformadas). Essas amostras eram pesadas obtendo-se a massa úmida, colocadas sequencialmente em estufa a 105°C por 24 h, e depois eram novamente pesadas para obtenção da massa seca. Dessa forma foi possível se determinar a densidade do solo (amostras indeformadas) e, por conseguinte a umidade volumétrica do mesmo. Com isso tornava-se possível relacionar as leituras de umidade volumétrica obtidas pelas sondas Hidrofarm com as obtidas pelo método gravimétrico, gerando-se assim uma equação de regressão linear, que possibilitava o ajuste, para as condições locais, da umidade medida pelas sondas.

A equação de ajuste encontrada foi:

$$Y = 1,529x - 5,295 \quad (R^2 = 0,871) \quad (7)$$

Sonda Hidrofarm



Figura 15: Bacia de calibração (em detalhe sonda Hidrofarm).

3.3.5. Volume de água aplicado e sistema de irrigação

No início de cada linha de derivação dos tratamentos foram instalados hidrômetros (Figura 17), para mensuração diária do volume de água aplicado por cada método, visando o posterior cálculo das lâminas referentes a cada um.

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com fitas gotejadoras de vazão nominal de 1,3 L h⁻¹. Para a avaliação do desempenho do sistema de irrigação, realizou-se a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen, para o qual se obteve um valor médio correspondente a 95%. O aporte de água era feito por gravidade, uma vez que havia um

* Referências a marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

reservatório de 1.000 L ao lado da área experimental, localizado aproximadamente a 5,0 m de altura do solo (Figura 16).



Figura 16: Reservatório de água.



Figura 17: Hidrômetros ao início de cada linha de derivação.

3.4. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados para análise e discussão dos resultados são referentes a estação meteorológica de Seropédica/RJ-km47, e foram obtidos diretamente da página do INMET (http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php).

3.5. EUA (eficiência no uso da água)

A eficiência do uso da água (EUA) foi obtida pela razão da massa fresca total da cultura da alface pela lâmina aplicada para cada tratamento, somada à precipitação efetiva do período, conforme a equação 8:

$$EUA \text{ (kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{)} = \frac{P}{I + Pe} \quad (8)$$

em que:

- P = produtividade da cultura, em kg ha⁻¹;
- I = lâmina aplicada pela irrigação, em mm; e
- Pe = precipitação efetiva, em mm.

Para o cálculo das lâminas (I), considerou-se a área irrigada referente a cada método de manejo; fazendo-se a devida correção pela porcentagem da área sombreada (PAS), obtida através de observações a campo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Foi considerada como precipitação efetiva (Pe) a fração da lâmina de água precipitada (mm), correspondente à um valor menor ou igual a evapotranspiração da cultura, referente a um turno de rega de dois dias.

3.6. Colheita

A área útil experimental constituía-se das 16 plantas centrais de cada parcela. A colheita foi realizada no dia 21/09/2012, sendo segmentada em duas partes, onde inicialmente colheu-se 12 plantas para as mensurações de massa fresca e seca, diâmetro, altura e número de folhas e as quatro plantas restantes foram utilizadas para medição da área foliar. Vale ressaltar que apenas a parte aérea (cabeça comercial) foi avaliada e que a colheita foi realizada manualmente.

Massa fresca e seca – cada cabeça folhosa foi pesada individualmente em balança analítica sendo posteriormente retirada uma alíquota de 300g do total de plantas avaliadas pertencentes a uma mesma parcela experimental, para avaliação da massa seca. Para isso o material foi seco em estufa de ventilação forçada a 65 °C, por 48 horas, na Estação Experimental da Embrapa Agrobiologia, sendo posteriormente pesado em balança de precisão.

Número de folhas – contagem direta, sendo avaliadas apenas folhas com aspecto comercial (boa aparência e tamanho superior a 0,03m)

Diâmetro e altura – foram medidos diretamente por uma trena com precisão igual a 0,005 m.

Área foliar – para mensuração da área foliar foi utilizado um integrador de área foliar, modelo LI-3100C Área Meter LICOR.

3.7. Análise estatística dos dados

Os dados das variáveis de produção e de umidade do solo, avaliadas entre e abaixo dos gotejadores, foram submetidos à análise de variância (Anova) e quando significativos pelo teste F, foram submetidos ao teste de média LSD ao nível de 5% de significância.

4-RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Monitoramento meteorológico

A alface é uma cultura conhecida por sua sensibilidade às condições ambientais, sendo a temperatura o fator de maior influência. A Figura 18 apresenta o monitoramento de temperatura e umidade, representadas por seus valores extremos (máximos e mínimos) ao longo do desenvolvimento da cultura a campo. É possível verificar que o período foi marcado por grande amplitude térmica diária alcançando seu máximo (18,5 °C) no dia sete de setembro. A temperatura elevada é apontada por diversos autores (BRUNINI et al., 1976; SEGOVIA et al., 1997; BEZERRA NETO et al., 2005) como a causa de baixas produtividades e de qualidade da alface nos cultivos de verão. Em trabalho desenvolvido por Léo et al. (2000), onde foram avaliadas diferentes cultivares de alface sob as condições climáticas do Acre, no período de maio a junho, com temperatura média do período de 23,4°C, verificou-se que a cultivar Regina 71, apresentou um dos melhores resultados, com peso médio de 341 g, com folhas de tamanho uniforme e bem arranjadas e produção comercial de 45,5 t ha⁻¹, valores esses, superiores aos encontrados nesse trabalho (Tabelas 7 e 8).

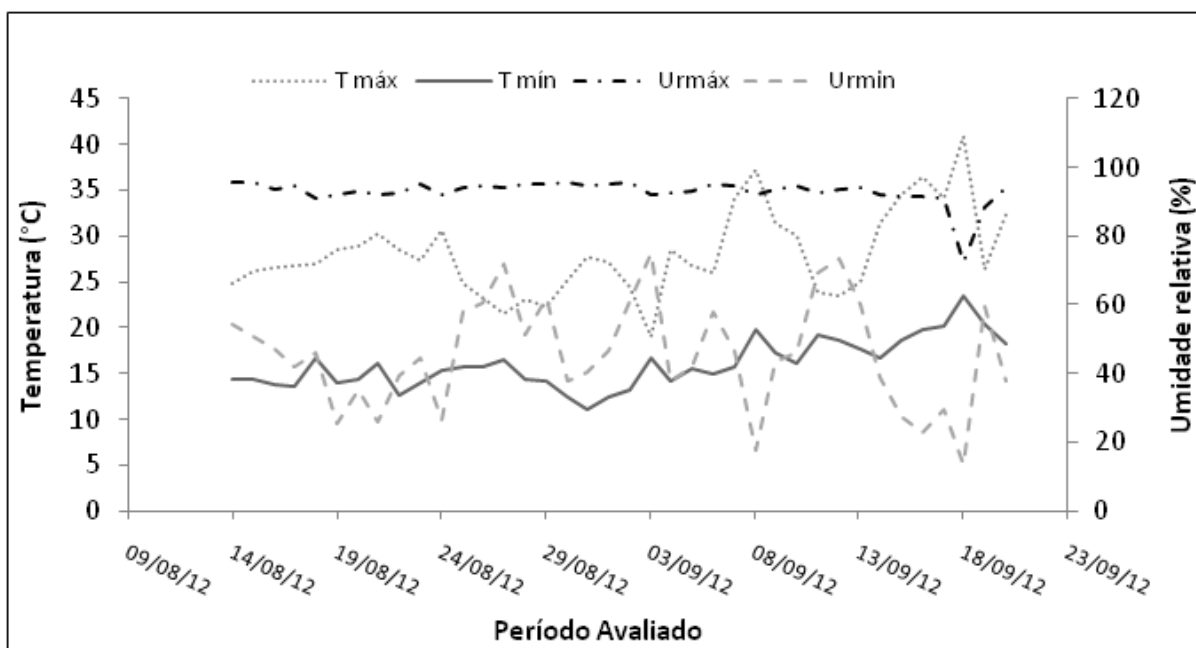


Figura 18: Monitoramento meteorológico ao longo do ciclo de cultivo a campo.

Observa-se ainda no gráfico, que ao término do período de cultivo, a temperatura diária alcançou valores elevados de 37 e 40 °C coincidentes com uma umidade relativa mínima de 17,5 e 13,5 %, respectivamente. O período foi marcado pela ocorrência de precipitações (Figura 19), distribuídas ao longo do ciclo de cultivo, com lâminas que variaram entre 5 a 0,3 mm nos dias 14 e 31 de agosto, respectivamente, totalizando uma lâmina de 13,65 mm. A Figura 21 também apresenta as variações da ETo durante o período de cultivo.

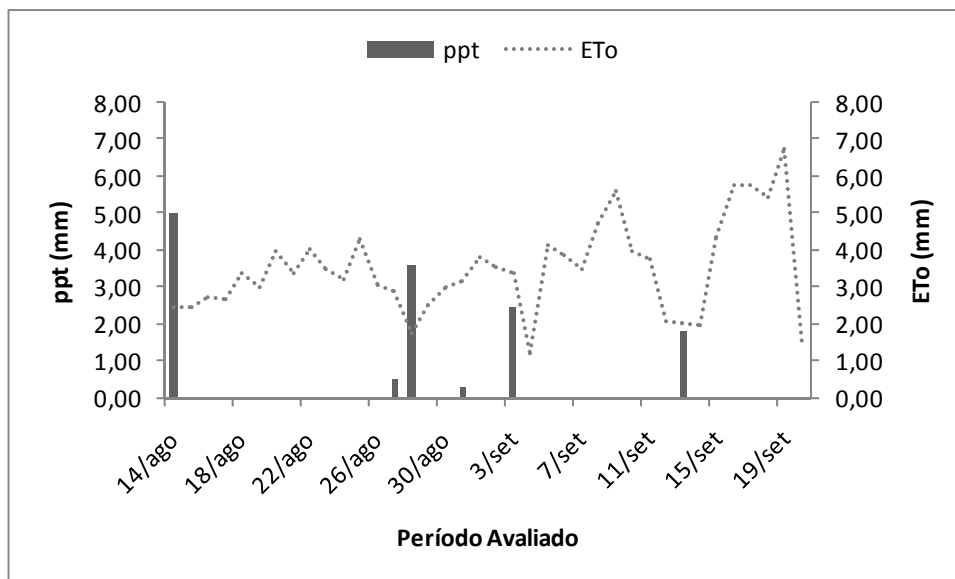


Figura 19: Lâmina precipitada e ETo ao longo do ciclo de cultivo a campo.

4.2. Lâmina de água aplicada

O aporte de água à cultura se deu de três formas diferentes, através da precipitação, que totalizou uma lâmina de 13,65 mm, da aspensão, aplicada durante a fase de estabelecimento da cultura a campo (43,9 mm) e por fim pela irrigação por gotejamento, que constituiu os tratamentos, ou seja, as diferentes formas de manejo: TCA (78,3 mm), Irrigás - 15kPa (82,6 mm) e AAI 90 (74,9 mm), e AAI 120 (75,1 mm).

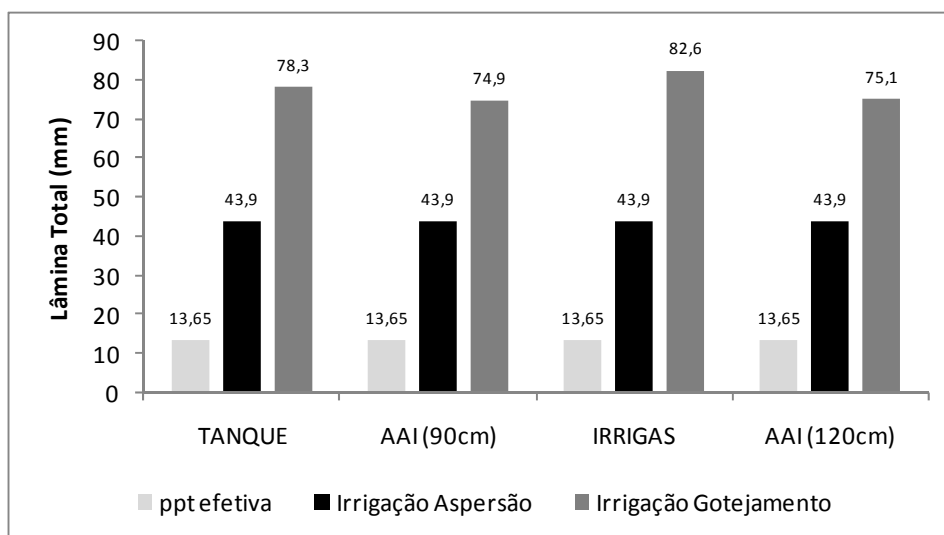


Figura 20: Lâminas de água recebida por cada tratamento, discriminadas quanto à forma de aporte.

O gráfico acima (Figura 20) evidencia que apesar das diferentes formas de manejo, a lâmina aplicada pelo sistema de gotejo foi muito semelhante em todos os casos. O manejo através do sensor Irrigás 15 kPa foi o que apresentou a maior lâmina, superando em 7,7 mm, a menor, aplicada pelo AAI 90 (correspondente a tensão de 9 kPa). Vale lembrar que quanto maior o conteúdo de água no solo (mais úmido), maior será seu potencial matricial (ou menos negativo), também denominado de tensão da água no solo (REICHARDT & TIMM, 2004). Portanto esperava-se que o tratamento responsável por permitir uma maior variação da água no solo (Irrigás 15kPa), fosse também o que apresentasse o menor volume de água aplicado.

Diversos fatores podem ter contribuído para o fato de que manejos que propunham a manutenção de diferentes conteúdos de água no solo, não tenham resultado em grandes diferenças entre lâminas aplicadas. Entre estes fatores estão, variabilidade na uniformidade do solo, tamanho e posicionamento dos sensores (Figura 21). Quanto ao tamanho, os sensores do Irrigás, são consideravelmente menores que os do AAI, o que certamente contribuiu para uma representatividade diferenciada da umidade solo. Nesse caso torna-se importante lembrar que o solo utilizado nesse estudo é caracterizado por possuir uma camada superficial arenosa (0-0,20 m), e que o comportamento do bulbo de molhamento, proporcionado pela irrigação localizada, nesse tipo de textura de solo, tende a ser mais alongado (REICHARDT & TIMM, 2004). Dessa forma, a exploração de um volume maior de solo (proporcionada pelo AAI) pode ser decisiva para uma maior precisão no momento e no volume de água aplicado. Aliado a isso está o posicionamento dos sensores em relação ao sentido da linha de irrigação; os sensores do Irrigás foram instalados perpendicularmente a ela, enquanto os do AAI ficaram paralelos, sendo assim esse posicionamento pode ter prejudicado ainda mais a representatividade da umidade pelo Irrigás, propiciando a maior aplicação de água por ele. Conjuntamente a esses fatores, a frequência com que se realiza a irrigação pode ocasionar mudanças na condutividade hidráulica, porosidade, diâmetro de poros e capilaridade (MUBARAK et al., 2009) influenciando assim diretamente na dinâmica da água no mesmo.

Por fim, o próprio manejo, que no caso do Irrigás e do tanque Classe A, era realizado manualmente. Deve-se considerar que o fator humano é grande fonte de erro podendo inferir assim, na aplicação de diferentes volumes de água, e que, além disso, no caso do Irrigás, em particular, o ajuste de lâmina diária, era feito por meio de tentativas; considerando-se que a alfaca é uma cultura de ciclo curto, e que o período de plantio foi de grande variação climática, um ajuste mais adequado foi inviabilizado.

Entretanto uma análise mais geral das lâminas totais aplicadas pelo sistema de gotejo, comparando-as com a demanda evapotranspirométrica total do período em que os experimentos estiveram sob os tratamentos, nos dá um indicativo de que o volume de água aplicado pelo sistema de gotejo, em muito se aproximou da evapotranspiração da cultura, que totalizou 75,32 mm no período. Essa avaliação no permite inferir que sob esse aspecto todos os métodos foram eficientes.

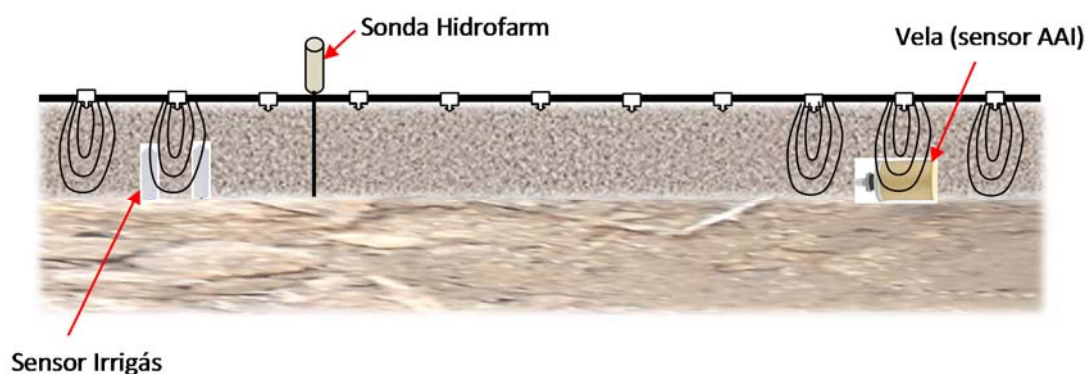


Figura 21: Esquema demonstrativo do tamanho e posicionamento dos sensores.

4.3. Umidade do solo ao longo do período de cultivo

Com relação ao monitoramento da umidade em cada tratamento ao longo do ciclo de cultivo, é possível se observar que desde o princípio, quando ainda se mantinha a irrigação por aspersão (14/08 a 27/08), a umidade no solo era bastante desigual, principalmente em relação ao tratamento com Irrigás, que apresentava a menor umidade (Figura 22).

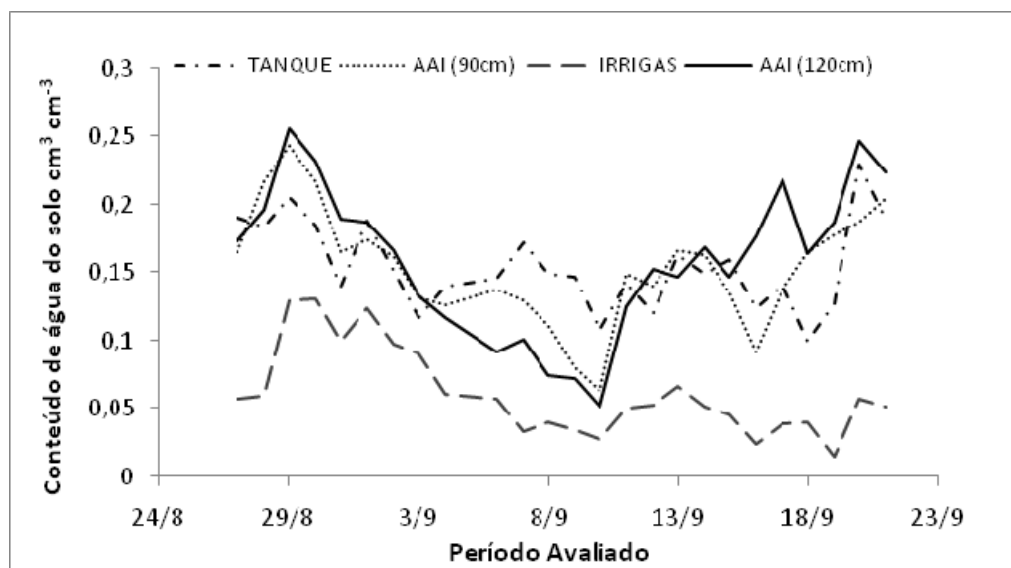


Figura 22: Monitoramento da Umidade do Solo, desde o transplantio.

É importante ressaltar que a partir da metade do período de cultivo a campo a demanda evapotranspirométrica passa a ser proveniente, em maior parte, à transpiração vegetal; isso se dá em função da maior taxa de desenvolvimento da cultura nesse período. Goto et al. (2002) verificaram que o acúmulo de massa pela planta de alface se deu de forma lenta ao início do período de cultivo, observando maiores incrementos somente a partir do 56 DAT. Segundo Radin et al. (2004), a diferenciação entre três cultivares de alface, com relação ao peso fresco, se deu somente nas duas semanas que antecederam a colheita. Dessa forma, considerando-se as características do solo (camada de interesse 0-0,20 m) e a diferença entre o posicionamento dos sensores de manejo (IRRIGÁS E AAI), que se localizavam abaixo dos gotejadores, e dos sensores Hidrofarm de monitoramento da umidade, que localizavam-se entre gotejadores, é possível se discutir a influencia do aumento do volume de água aplicado ao longo do período de desenvolvimento da cultura, com as variações na umidade no solo. Primeiramente avaliando a camada de interesse do solo, onde se localizavam os sensores; é possível se inferir que o bulbo de molhamento formado pela aplicação de água em sistema de gotejo, no início do cultivo, possuísse um diâmetro tal, que era insuficiente para atingir os sensores de monitoramento da umidade (Figura 23), favorecendo o decréscimo acentuado da umidade até aproximadamente a metade do ciclo (10/09/12), onde a partir de então, em função do maior desenvolvimento da cultura e das condições climáticas (ocorrência de maiores temperaturas e menores umidades do ar), ocorre um eminente aumento da demanda por água tornando não só mais frequente as irrigações (Figura 24) como também a lâmina aplicada passa a ser maior (Figura 25) proporcionando a formação de um bulbo mais robusto (Figura 26). Roth (1974), apud Lubana & Narda (2001), avaliaram o padrão de umedecimento em três locais de solo arenoso, com umidade inicial inferior a 3% da umidade base, adicionando água aos três, a taxas constantes de 3,8; 7,6 e 15,2 L h⁻¹, até que o mesmo volume de água fosse aplicado em todos os locais, com isso foi possível observar, que em todos os casos praticamente o mesmo volume de solo foi umedecido, e que quanto maior a taxa de infiltração maior era a influencia da gravidade na frente de molhamento, tornando-a mais alongada e estreita.

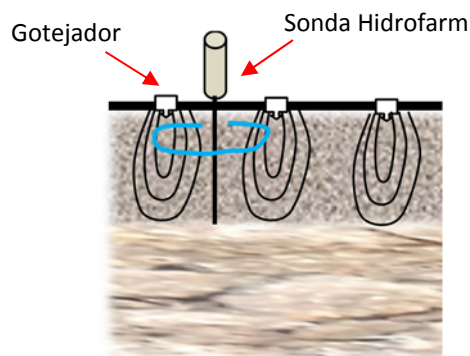


Figura 23: Esquema demonstrando a formação do bulbo alongado.

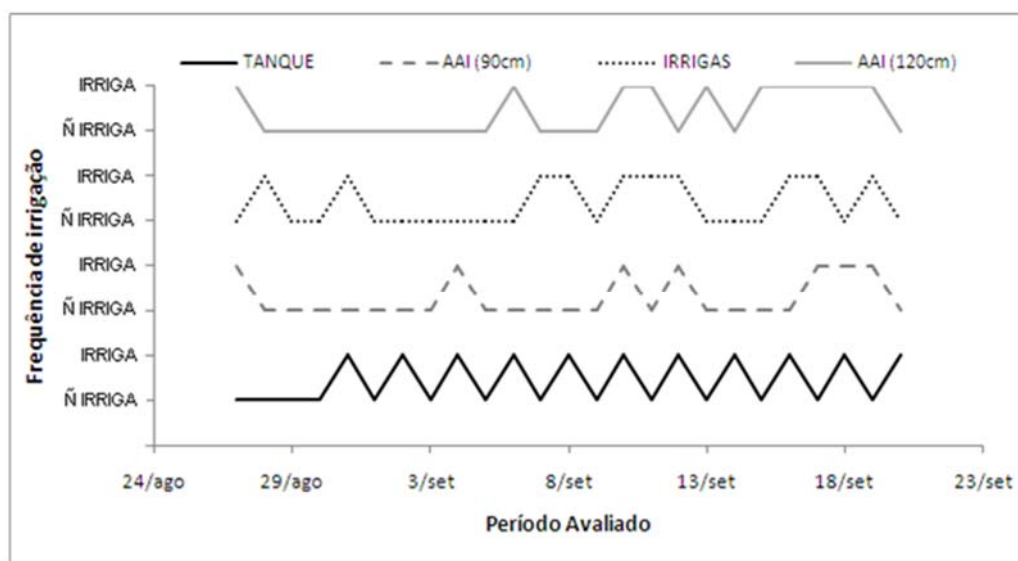


Figura 24: Frequência de Irrigação do sistema de gotejamento ao longo do período de desenvolvimento da cultura.

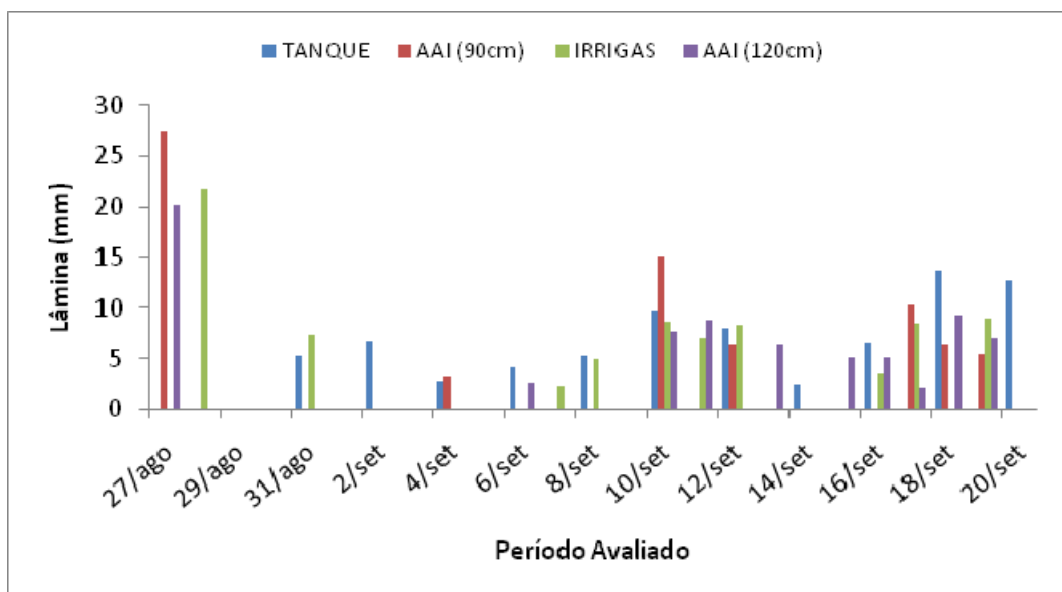


Figura 25: Lâminas aplicadas pelo sistema de gotejamento ao longo do período de desenvolvimento da cultura.

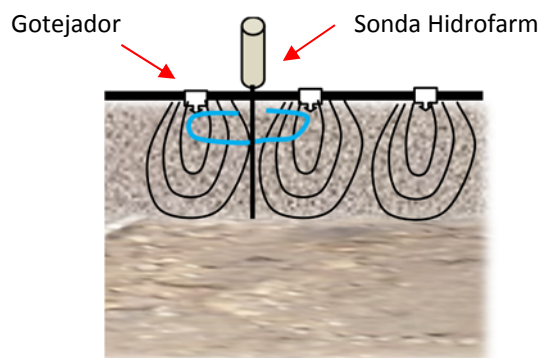


Figura 26: Esquema demonstrando o aumento do diâmetro do bulbo.

Medições de umidade do solo realizadas a campo entre e abaixo dos gotejadores, evidenciaram a diferença de umidade entre as posições testadas, que foi maior entre os tratamentos que consideravam a umidade do solo (AAI 90, IRRIGÁS, AAI 120), provavelmente devido às alterações provocadas em suas características hidráulicas, decorrentes da frequência de irrigação que eram muito mais variáveis, que o manejo pelo tanque Classe A, com turno de rega preestabelecido de dois dias. A Tabela 5, que mostra as médias de umidade medidas nas posições entre e abaixo dos gotejadores e ainda a diferença entre elas, demonstra que para os diferentes tratamentos a umidade abaixo dos gotejadores, foi significativamente diferente, ao nível de 9% de probabilidade, entre o tratamento manejado pelo tanque e o manejado pelo Irrigás, apresentando o tanque o menor valor de umidade. A maior umidade apresentada pelo Irrigás é decorrente de que, momentos antes de se iniciar essas medições havia se realizado a irrigação das parcelas experimentais referentes ao tratamento, o que certamente influenciou na umidade medida. Entretanto quando se avalia a umidade entre os gotejadores, não há diferença significativa entre os tratamentos, o que reforça a idéia da formação do bulbo mais alongado, mencionado anteriormente. Ainda avaliando a Tabela 5, com relação à diferença de umidade entre e abaixo dos gotejadores, fica visível pelo baixo valor encontrado, que para o tratamento do Tanque, praticamente não houve diferença quando se mediu a umidade abaixo e entre gotejadores, e que este diferiu significativamente dos demais. Isso indica que de fato a frequência da irrigação e o volume de água aplicado, nos diferentes tratamentos; podem ter contribuído para gerar nesse solo, variações com relação a sua dinâmica da água. Sendo assim, deve-se destacar que o manejo pelo tanque era o único entre os tratamentos que apresentava turno de rega fixo de 2 (dois) dias, e que os demais variavam a frequência e o volume de água aplicado conforme a demanda do sistema.

Tabela 5: Umidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) entre e abaixo dos gotejadores medido diretamente a campo.

Tratamentos	Umidade Ab. Got. ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Umidade Ent. Got. ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Diferença ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
TANQUE	0,13 A**	0,13 A*	0,0041B*
AAI 90	0,16 AB	0,13 A	0,02 A
IRRIGÁS	0,17 B	0,14 A	0,03 A
AAI 120	0,16 AB	0,13 A	0,02 A

*As médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste LSD

** As médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si a 9% de probabilidade pelo Teste LSD

Com isso, se avaliado apenas o conteúdo de água no solo mantido no manejo pelo tanque Classe A (Figura 22), verifica-se que ao contrário dos demais, ele se manteve praticamente todo o período dentro de uma mesma faixa de umidade, demonstrando também maior uniformidade na distribuição da água, visto que a diferença entre as médias de umidade medidas entre e abaixo dos gotejadores foi praticamente nula. Essa característica apresentada pode ser decorrente de que os ciclos de umedecimento e secagem do solo, no caso do manejo pelo tanque, foram menos intensos que nos demais tratamentos. De acordo com Mubarak et al. (2009) no solo com irrigação com déficit, o qual é marcado por muitos ciclos de umedecimento e secagem, tendem a ser mais condutivos do que sob condições de irrigação plena. Dessa forma, o autor afirma que diferentes sistemas de manejo afetam diferentemente a estrutura de poros do solo.

4.4. Dados de produção

A Tabela 6 apresenta as médias das variáveis de produção referentes ao cultivo de alface a campo, em que a análise estatística efetuada não revelou diferenças significativas nas variáveis de produção em relação à forma de manejo da água utilizada (TANQUE, AAI 90, IRRIGÁS e AAI 120) ao nível de 5% de probabilidade. A igualdade encontrada em todas as variáveis analisadas é provavelmente resultante do semelhante volume de água aplicado pelos tratamentos, tendo em vista que, dentre todos os fatores que podem interferir no desenvolvimento da cultura (preparo do solo, mudas, adubação, forma de cultivo e água) a água, foi o único fator que se esperava sofrer variação, conforme o manejo. O fator água, como fonte de variação, vem sendo amplamente estudado, objetivando-se sempre buscar a lâmina economicamente viável na produção agrícola comercial. Hamada & Testezlaf (1995) compararam diferentes lâminas de água no cultivo de alface (cultivar Floresta), e concluíram que a maior lâmina proporcionada por 120% da evaporação do tanque Classe A foi a responsável pelos melhores resultados de massa fresca total, número de folhas e área foliar. Os autores encontraram valores de massa fresca entre 149 g e 224 g por planta. Esses valores corroboram com os encontrados neste trabalho. Entretanto Salgado et al. (2006) encontraram para massa média em gramas por planta e diâmetro valores superiores ao deste trabalho, variando nos dois anos de estudo dos autores entre 284,2 e 343,9 g para massa fresca e de 30,7 a 35 cm para diâmetro, sendo a irrigação realizada por aspersão, de forma a suprir a demanda da alface. Já com relação ao número de folhas, as médias encontradas neste estudo foram superiores as observadas por outros autores (NEGREIROS et al., 2002; RADIN et al., 2004) considerando-se que as condições ambientais eram semelhantes.

Tabela 6: Médias das variáveis de produção (MF- massa fresca; MS- massa seca; NF- número de folhas; AF- área foliar; altura e diâmetro das plantas) referentes ao cultivo de alface a campo.

Tratamentos	Variáveis de produção					
	MF (gramas por planta)	MS (gramas por planta)	NF (unidade)	AF (cm ²)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)
TANQUE	205	14,7	35,1	2646,9	25,6	20,3
AAI 90	180,4	14,5	34,1	2510,2	24,6	20
IRRIGÁS	180	15	33,7	2546,6	24,3	20,1
AAI 120	221,5	13,9	35,8	2671,4	25,8	21

4.5. Eficiência no uso da água

São apresentados na Tabela 7, os valores de lâmina total (ppt efetiva, irrigação de aspersão e irrigação gotejamento), produtividade da cultura, e eficiência no uso da água. Os valores de produtividade encontrados neste trabalho foram inferiores aos encontrados por Salgado et al. (2006) e Léo et al. (2000); 55 ton ha⁻¹ e 45,5 ton ha⁻¹, respectivamente no cultivo de alface (cultivar Regina 71) a campo. Enquanto que Maggi et al. (2006) encontraram valores semelhantes aos apresentados aqui, com produtividade máxima de 36,11 ton ha⁻¹.

Tabela 7: Produtividade e eficiência do uso da água (EUA) no cultivo da alface.

Tratamentos	Lâmina total (mm)	Produtividade (ton ha⁻¹)	EUA (Kg ha⁻¹ mm⁻¹)
TANQUE	124,9	32,80	262,59
AAI (90cm)	121,5	28,86	237,62
IRRIGAS	129,2	28,80	222,95
AAI (120cm)	121,7	35,45	291,23

Com relação à eficiência no uso da água, a visualização dos dados (Tabela 7) permitiu inferir que existe uma tendência a aumento da eficiência no uso da água à medida que se reduz a lâmina total aplicada. Resultados semelhantes foram encontrados por Hamada & Testezaf (1995) e Araújo et al. (2010), que encontraram respostas decrescentes para eficiência do uso da água à medida que maiores lâminas foram aplicadas. Araújo et al. (2010) encontraram valores que variaram de 120 kg ha⁻¹ mm⁻¹ a 70 kg ha⁻¹ mm⁻¹; em trabalho onde visou-se avaliar o rendimento da alface cv. 'Verônica' em função da lâmina de irrigação, sob ambiente protegido. Maggi et al. (2006) observaram valores de EUA, para variedade lisa sob diferentes tensões de água no solo entre 205,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (28 kPa) a 368,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (35 kPa). Cuppini et al. (2010), avaliando a variedade Pira Roxa cultivada em ambiente protegido e fazendo o manejo da irrigação em função de percentuais da evaporação do TCA, obtiveram valores inferiores aos apresentados nesse cultivo, para percentuais da ETCA de 75, 100 e 125%, com valores de 208,74; 187,30; 139,86 Kg ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente.

4.6. Análise comparativa dos diferentes tipos de manejo

Uma comparação entre os manejos estudados neste trabalho nos permite inferir com base na produção da cultura e no consumo de água, que todos apresentaram desempenho bastante satisfatório quando comparado a dados da literatura que demonstram desempenho semelhante com relação à produtividade e eficiência no uso da água (MAGGI et al., 2006; ARAÚJO et al., 2010; CUPPINI et al., 2010). Embora tenham atingido resultados semelhantes, os quatro manejos apresentam diferenças bastante acentuadas quanto à operacionalidade. Nos sistemas automáticos, a exigência se dá principalmente na fase de montagem e instalação do equipamento, que requer prática e conhecimento com relação à parte elétrica, sendo que durante a condução do mesmo a exigência de mão de obra, é praticamente nula. Já o tradicional tanque Classe A, requer um conhecimento prévio de dados da cultura (ETc) preferencialmente referente à região onde será implantado o manejo, dados meteorológicos, e por fim o conhecimento de cálculo, além disso, esse manejo exige leituras diárias de evaporação do tanque, assim como a manutenção do mesmo, quando necessário. O modelo do sistema Irrigás utilizado, com ajuste de lâminas por tentativa, é bastante simples de ser instalado e requer apenas que se defina a cultura e o sistema de irrigação que será utilizado (aspersão, gotejamento, sulco), para escolha da cápsula porosa mais adequada; sendo assim, a

parte mais trabalhosa desse manejo fica a cargo do ajuste da lâmina, que exige que se façam leituras após cada evento de irrigação para verificar se a mesma foi suficiente ou excessiva e, além disso, as leituras dos sensores também são diárias. Dessa forma essas variações de operacionalidade podem funcionar como fator decisivo para o agricultor escolher por qual método utilizar.

5. CONCLUSÃO

1. Os diferentes métodos utilizados no manejo da irrigação proporcionaram lâminas semelhantes.

2. As variáveis de produção da alface (massa fresca e seca, diâmetro e altura da cabeça e área foliar) não apresentaram médias significativamente diferentes, ao nível de 5% de probabilidade, em função dos tratamentos.

3. O acionador automático para irrigação se mostrou como uma técnica eficiente na produção de alface.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 301 p. Irrigation and Drainage Paper, 56. 1998.
- ANDRADE JUNIOR, A.S. de; KLAR, A.E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque Classe A. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, Jan. 1997.
- ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S. S.; VIANAA, T. V.A.; AZEVEDO, B.M.; OLIVEIRA, G. A. Rendimento e eficiência do uso da água pela alface em função da lâmina de irrigação. Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 115-120, 2010.
- AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. Tensiômetro: Dispositivo prático para controle da Irrigação, Embrapa Cerrados - Circular Técnica, Planaltina: EMBRAPA. 39p. 1999.
- BATISTA, S. C. O.; CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; SANTOS, H. T.; MEDICI, L. O. Production of lettuce automatically watered with a low cost controller. Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol.11 (2), 2013.
- BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R.C.C.; NEGREIROS, M.Z.; ROCHA, R.H.; QUEIROGA, R.C.F. Produtividade de alface em função de condições de sombreamento e temperatura e luminosidade elevadas. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.2, p.189-192, 2005.
- BRUNINI, O.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO JUNIOR, M. J.; Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. Bragantia, Campinas-SP, vol.35, n 19. 1976.
- CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Sistema Irrigás para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimento. Brasília, EMBRAPA Hortaliças. 174p. 2005.
- CAMARGO A.P.; GROHMANN, E.; CAMARGO, M.B.B. Tensiômetro simples de leitura direta. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.12, p.1963-1972, 1982.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA NETO, D. H.; RIBEIRO, R. L. D. ; GUERRA, J. G. M.; ROUWS, J. R. C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. Engenharia Agrícola (Online), v. 31, p. 269-277, 2011.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. Ed. UFV, 240p. 2012.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.D.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J.R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. Revista Brasileira Agrometeorologia, Santa Maria, v.14, n.1, p.97-105. 2006.
- CHICOTA, R.; LIER, Q. J. Avaliação no de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.72-78, 2004
- COELHO, S. L. Desenvolvimento de um tensiômetro eletrônico para o monitoramento do potencial da água no solo. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 94p. 2003.
- COELHO, S. L.; TEIXEIRA A. dos S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. In: Engenharia. Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.536-545, 2004.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Circular técnica, 21).

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Requerimento de Água das Culturas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Circular técnica, 21).

CUPPINI, D. M.; ZOTTI, N. C.; LEITE, J. A. O. Efeito da irrigação na produção da cultura de alface (*lactuca sativa l.*), variedade “pira roxa”, manejada através de “tanque Classe A” em ambiente protegido. *Perspectiva, Erechim*. v.34, n.127, p. 53-61, 2010.

EVETT, S. R. Soil Water Measurement by Time Domain Reflectometry. *Encyclopedia of Water Science*, Marcel Dekker, United States Department of Agriculture (USDA), Bushland, Texas, U.S.A. Inc. New York. Pp. 894-898. 2003. Disponível em: <http://www.cprl.ars.usda.gov/wmru/pdfs/Evett-TDR-Ency%20Water%20Sci.pdf> Acesso em: 21/06/2011.

FALKER-Automação Agrícola_Manual: Medidor Eletrônico de Umidade do Solo (HidroFarm HFM2010 / HFM2030). 2010. Disponível em:< <http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em: 28 de maio /2012.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 2, pp. 147–159, 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 402p. 2000.

Favaro-Trindade, C. S.; Martello, L. S.; Marcatti, B.; Moreti, T. S.; Petrus, R. R.; Almeida A & Ferraz JBS. Efeito dos sistemas de cultivo orgânico, hidropônico e convencional na qualidade de alface Lisa. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2007.

FRAITURE, C.; WICHELNS, D.; ROCKSTROM, J.; KEMP-BENEDICT, E. Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute, London, Earthscan and Colombo, Chapter 3.2007.

FRANCO, M. E. Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 85p. 2009.

FREITAS JÚNIOR, R. R. Comparação dos métodos de manejo da irrigação do meloeiro (*Cucumis L. melo*) cultivado na região central do estado do Tocantis. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 90p. 2010.

GEISENHOF, L. O.; PEREIRA, G. M.; FARIA, L. C.; JÚNIOR, J. A. L.; COSTA, G. G.; GATTO, R. F. Viabilidade econômica da produção de alface hidropônica em Lavras – MG. *Agrarian*, v.2, n.6, p.61-69, 2009.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Poços de Caldas. Anais. Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. cap. 2, p.133-238.

GOTO, R.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; CARNEIRO JÚNIOR, A. G.; BRANCO, R. B. F. RODRIGUES, J. D. Crescimento e produção de três cultivares de alface sob condições de ambiente protegido e campo. *Horticultura Brasileira*, v.20, n. 2, 2002.

HAMADA, E. Desenvolvimento e produtividade da alface (*lactuca sativa l.*), submetida a diferentes lâminas de água, através da irrigação por gotejamento. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 118p. 1993.

HAMADA, E., TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade da alface submetidas a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n 9, p.1201-1209, 1995.

HOOKE, W.R.; LIVINGSTON, N.J.; SUN Z.J.; HOOKE P.B. Remote diode shorting improves measurements of soil water by time domain reflectometry. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, p.1384-1391, 1992.

JORGE, L. A. C.; TORRE-NETO, A. Agricultura de precisão. Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2005. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/58.htm> Acesso em: 26/06/2011.

KARLEN, D.L.; SADLER, E.J.; BUSSCHER. W.J. Crop yield variation associated with Coastal Plain soil map units. Soil Science Society American Journal. Madison, v. 54, n.3, p. 859-865, 1990.

LÉDO, F.J.S.; SOUSA, J.A.; SILVA, M.R. Desempenho de cultivares de alface no Estado do Acre. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 18, n. 3, p. 225-228, 2000.

LIMA, M. E. Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo. Dissertação (Mestrado) Universidade federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 92p. 2007.

LIMA, M. D. B.; CARRIJO, M. S.; COSTA, K. A. P.; DAN, H. A.; SIMON, G. A. Desempenho da alface em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 6, p. 1503-1510, 2009.

LUBANA, P. P. S.; NARDA, N. K. Modelling Soil Water Dynamics under Trickle Emitters- A Review. V. 78, p. 217-232, 2001.

MAGGI, M. F.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J.; ANDRADE, A. R. S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. *Irriga*, Botucatu, v.11, n.3, p.415-427, 2006.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Viabilidade do uso de sensores do tipo Irrigás® para o manejo da irrigação de hortaliças cultivadas em substratos. Horticultura Brasileira, Brasília, v.21, n.2, p. 286, 2003.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G. Manejo de Irrigação em Hortaliças com Sistema Irrigás®. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69), 16 p. 2009.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Gotejamento: opção para a irrigação do tomateiro para o processamento nos cerrados. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001, Folder.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. da. Manejo da irrigação em hortaliças. 5.ed. Brasília : EMBRAPA, SPI, 1996. 72p.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. Acta Scientiarum, Maringá, v. 26, n. 4, p.513-519, 2004.

MEDICI, L. O. Controlador automático para sistemas de irrigação. Revista da Propriedade Industrial 1288: 30. 1995(em Português).

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. Scientia Agricola, (Piracicaba, Brasil.), v.67, n.6, p.727-730, 2010.

MEYBECK, M. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. The Royal Society. p.1935 a 1955 (2003).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Disponível em: <http://www.prefiraorganicos.com.br/agrorganica/oqueeagricultura.aspx>. Acesso em: 31 de maio 2012.

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

MOLDEN, D., OWEIS, T.Y., STEDUTO, P., KIJNE, J.W., HANJRA, M.A., BINDRABAN, P.S., BOUMAN, B.A.M., COOK, S., ERENSTEIN, O., FARAHANI, H., HACHUM, A., HOOGEVEEN, J., MAHOO, H., NANGIA, V., PEDEN, D., SIKKA, A., SILVA, P., TURRAL, H., UPADHYAYA, A., ZWART, S. Pathways for increasing agricultural water productivity. In: Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute, p. 279–310. 2007.

MUBARAK, I., MAILHOL, J.C., ANGULO-JARAMILLO, R., RUELLE, P., BOIVIN, P., KHALEDIAN, M. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. Geoderma, v.150, p 158–165.

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.

NUNES, M. S. Desempenho e aplicabilidade do Irrigâmetro para a cultura da soja na região de Bossoroca, RS. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 90p. 2011.

OLIVEIRA, E. A. G. Desenvolvimento de substratos orgânicos, com base na vermicompostagem, para produção de mudas de hortaliças em cultivo protegido. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Agronomia. 65p. 2011.(Dissertação mestrado).

OLIVEIRA NETO, D. H.; CARVALHO D. F.; SILVA L. D. B.; GUERRA J. G. M.; CEDDIA M. B. 2011. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. Horticultura Brasileira 29: 330-334.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. Manual do Irrigâmetro. Viçosa:UFV, 2008. 155p.

OLIVEIRA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; RUIZ, H. A.; CECON, P. R.; MARTINEZ, H. E. P.; MARTINEZ, M. A.; DENICULI, W.; TAGLIAFERRE, C.; MATERAN, F. J. V.; CORDEIRO, A. F. Irrigâmetro PI0502488-9. Revista Propriedade Industrial, n. 1883, p. 73, 2007.

PAULA, A. L. T. Tecnologias do Irrigâmetro e da válvula intermitente para aspersor aplicadas no perímetro irrigado do Jaíba. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 50p. 2009.

PIMENTEL, D., BAILEY, O., KIM, P., MULLANEY, E., CALABRESE, J., WALMAN, L., NELSON, F., YAO, X. Will limits of the earth's resources control human numbers? *Environ. Sustainability*, p.19–39.1999.

PEREIRA, A. B., SHOCK, C. A., SHOCK, C. C., FEIBERT, E. B. G. Use of Irrigás[®] for irrigation scheduling for onion under furrow irrigation. Agricultural Experiment Station, Oregon State University. pp.223-229. (Special Report 1062). 2004.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL_ SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS - LEI Nº 10.831, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.htm. Acesso em: 31 de maio 2012.

QADIR, M., BOERS, TH.M., SCHUBERT, S., GHAFOR, A., MURTAZA, G. Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*. p. 165–185, 2003.

QUEIROZ, T. M.; CARVALHO, J. A.; RABELO, G.F.; ANDRADE, M. J. B. Avaliação de sistema alternativo de automação da irrigação do feijoeiro em casa de vegetação. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.25 n.3, p. 632-641, 2005.

QUEIROZ, T. M. Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 141p. 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP, Manole, 477p. 2004.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.2, p.178-181, 2004.

RESENDE, F. V.; SAMINEZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B.; CLEMENTE, F. M. V. Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. *Circular Técnica*, n 56. Brasília, DF. 16p. 2007.

ROTH R L. Soil moisture distribution and wetting pattern from a point-source. *Proceeding of the second international Drip Irrigation Congress*, p. 246-251. 1974.

RUTH, B. A capacitance sensor with planar sensitivity for monitoring soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 63, p. 48-54, 1999.

SALGADO, A. S.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; ESPINDOLA, J. A. A.; SALGADO, J. A. A. Consórcios alface-cenoura e alface-rabanete sob manejo orgânico. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.7, p.1141-1147, 2006.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. da S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.24, n.3. 2004.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F.M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa L.*) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria,RS. *Ciência Rural*, v. 27, n. 1, 1997.

SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n. 1, p.111-115, 2003.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. ; ANDRADE, I. P. S.; ROCHA, H. S.; SILVA, L. D. B. Umidade do solo e vegetação espontânea em diferentes coberturas mortas submetidas a lâminas de irrigação. *Agrária (Recife. Online)*, v. 6, p. 127-139, 2011 a.

SOUZA, A. L.; MATSURA, E. E.; MIRANDA, J. H.; ROQUE, M. W.; BIZARI, D. R.; ROQUE, W. Reflectometria no domínio do tempo em estudos de lixiviação de potássio em colunas de solo não-saturado. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.39, n.4, p.1219-1222. 2009.

SOUZA, A. P. de; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. *Acta Scientiarum. Agronomy (Online)*, v. 33, p. 15-22, 2011 b.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB* v.3, n.3, p.286-292, 1999.

VIANA, T. V. A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. *Irriga, Botucatu*, v. 17, n. 2, p. 126-136, 2012

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUSA, A. M. G.; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, K. J. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. *Ciências Agrotécnicas, Lavras*, v.32, n.2, p.525-531, 2008.