

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDO NO RECOBRIMENTO
DE LINHAS LATERAIS E SUA INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO DO
BULBO MOLHADO EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL, UTILIZANDO COMO PLANTA
TESTE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*)**

Priscilla Mendonça de Lacerda

Anápolis
2014

**UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDO NO RECOBRIMENTO
DE LINHAS LATERAIS E SUA INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO DO
BULBO MOLHADO EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL, UTILIZANDO COMO PLANTA
TESTE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*)**

PRISCILLA MENDONÇA DE LACERDA

Orientador: Professor D.Sc. Paulo Márcio Fernandes Viana

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola - Recursos Hídricos e Saneamento, para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis
2014

Lacerda, Priscilla Mendonça de.

Utilização de geotêxteis não tecido no recobrimento de linhas laterais e sua influência na formação do bulbo molhado em irrigação localizada por gotejamento subsuperficial, utilizando como planta teste alface (*Lactuca sativa* L.) / Priscilla Mendonça de Lacerda. - 2014.

66f. il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Márcio Fernandes Viana.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade universitária de Ciências Exatas e tecnológicas. Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Agrícola, 2014.

Bibliografia.

1. Geossintéticos 2. Produtividade 3. Gotejo Enterrado I.
Título

**UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDO NO RECOBRIMENTO
DE LINHAS LATERAIS E SUA INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO DO
BULBO MOLHADO EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL, UTILIZANDO COMO PLANTA
TESTE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*)**

Por

Priscilla Mendonça de Lacerda

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRA EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 22/07/2014


Prof. Dr. Paulo Márcio Fernandes Viana
Orientador
UEG / UnUCET


Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão
Membro
IF Goiano/ Campus Urutaí.


Prof. Dr. Sidnei Helder Cardoso Teixeira
Membro
UFPR

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração por me proporcionaram esta oportunidade.

Ao professor Paulo Viana, pela orientação, apoio e confiança.

Aos professores do IF Goiano - Câmpus Urutaí, em especial Alexandre Pereira e Leandro Salomão, que acolheram meu projeto e se esforçaram para atender todos os meus pedidos, além de esclarecem dúvidas e me proporcionaram um aprendizado único.

Agradeço a minha mãe Cleusete, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu padrasto Valdeci, por toda ajuda e compreensão.

A minha avó Rosalina, pela preocupação e orações.

Ao Ronaldo, meu porto seguro, com quem posso contar sempre. Muito obrigada pela compreensão, paciência, carinho e ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Aos amigos Thiara e Marco Antônio por todo auxílio na coleta e análise dos dados.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE QUADROS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO LITERÁRIA	3
2.1. A importância das águas, seus usos e consequências	3
2.2. Importância da agricultura irrigada para a produção de alimentos e economia do país	4
2.3. Gotejamento subsuperficial	5
2.3.1. Formação do bulbo molhado	6
2.3.1.1. Geometria e Dimensões do Bulbo Úmido	8
2.4. Geotêxteis não tecido	9
2.4.1. Propriedades	10
2.4.1.1. Propriedades físicas	10
2.4.1.2. Propriedades mecânicas	11
2.4.1.3. Propriedade de durabilidade	12
2.4.2. Condições de fluxo	12
2.4.3. Condições de meio ambiente	12
2.5. Cultura da Alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Localização e características da área experimental	15
3.2. Tratamentos	17
3.3. Delineamento experimental	18
3.4. Produção das mudas	19

3.5. Curva de retenção de água	19
3.6. Irrigação	20
3.7. Manejo da irrigação	20
3.7.1. Uniformidade do sistema de irrigação	21
3.8. Caracterização e instalação dos tensiômetros	23
3.9. Condução do experimento e avaliações	24
3.9.1. Desenvolvimento da cultura	25
3.9.2. Bulbo molhado	26
3.10. Análise dos dados	27
3.10.1. Desenvolvimento da cultura da alface	27
3.10.2. Bulbo úmido	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Desenvolvimento vegetativo da alface	28
4.1.1. Parâmetros de desenvolvimento	28
4.1.2. Massa fresca e seca	34
4.2. Uniformidade da distribuição da água	35
4.3. Eficiência do uso da água	36
4.4. Formação do bulbo molhado	37
5. Conclusões	48
6. Considerações finais	49
7. Referências	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Propriedades físicas do solo da área experimental	16
TABELA 2. Propriedades químicas do solo da área experimental	17
TABELA 3. Principais características técnicas dos geotexteis não tecido utilizados no experimento	18
TABELA 4. Coeficientes de cultivo para três fases de desenvolvimento da alface após o transplântio das mudas	21
TABELA 5. Comprimento da folha, largura da folha, número de folhas por planta e maior largura entre as folhas de plantas de alface, (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	29
TABELA 6. Massa fresca (folha e caule), massa fresca da raiz, massa seca (folha e caule) e massa seca da raiz de plantas de alface, (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	35
TABELA 7. Resumo da análise de variância para uniformidade de distribuição de água (UD), antes da implantação do experimento e ao final	36
TABELA 8. Eficiência do uso de água	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Ilustração do bulbo úmido	8
FIGURA 2. Foto de satélite da área experimental com detalhe circular vermelho do local onde foi desenvolvido o experimento	15
FIGURA 3. Vista lateral (A) e frontal (B) do ambiente protegido	16
FIGURA 4. Croqui da área experimental (A) e profundidade da instalação (B)	19
FIGURA 5. Curvas de retenção de água no solo, para as camadas de 0-20 (A) e 21 – 40 (B) cm	20
FIGURA 6. Coletor utilizado na determinação da uniformidade da vazão	21
FIGURA 7. Distribuição dos tensiômetros, (A) eixo Y - Linha de gotejo e (B) eixo X – Perpendicular à Linha de gotejo	24
FIGURA 8. Isolamento dos emissores para avaliação do bulbo molhado	26
FIGURA 9. Altura da planta de alface, (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	30
FIGURA 10. Análise de regressão do comprimento das folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	31
FIGURA 11. Análise de regressão da largura da folha de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	32
FIGURA 12. Análise de regressão da maior largura entre folhas de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	33
FIGURA 13. Análise de regressão do número de folhas/planta de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	33
FIGURA 14. Análise de regressão da altura de plantas de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tudo gotejadores de acordo com os tratamentos	34
FIGURA 15. Conteúdo de água no solo antes da irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	38

FIGURA 16. Conteúdo de água no solo 2 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	39
FIGURA 17. Conteúdo de água no solo 4 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	40
FIGURA 18. Conteúdo de água no solo 6 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	41
FIGURA 19. Conteúdo de água no solo 8 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	42
FIGURA 20. Conteúdo de água no solo 10 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	43
FIGURA 21. Conteúdo de água no solo 12 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	44
FIGURA 22. Conteúdo de água no solo 24 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	45
FIGURA 23. Conteúdo de água no solo 48 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente	46

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Parâmetros avaliados a cada 5 dias e seus respectivos procedimentos	25
QUADRO 2. Variáveis mensuradas ao final do experimento e suas metodologias	25

RESUMO

O gotejamento subsuperficial é uma tecnologia consagrada pela eficiência no uso da água, no entanto, enfrenta problemas com entupimento e intrusão radicular e os geotêxteis vêm se destacando pela excelente em realizar as funções de filtração e separação, por exemplo, além de sua alta permeabilidade. Contudo, avaliar sua influência em diversos parâmetros ligados à agricultura irrigada, como desenvolvimento vegetativo e formação do bulbo úmido é crucial, visto que tais parâmetros podem reforçar sua aceitação, sendo assim, este trabalho objetivou avaliar a influência de três geotexteis não tecido ao desenvolvimento da cultura da alface e à formação do bulbo molhado. Foi estabelecido 4 tratamentos: testemunho, geotêxtil N26.1, N30.1 e N40.1, denominados T1, T2, T3 e T4 respectivamente. O trabalho desenvolveu-se em casa de vegetação no IF Goiano - Câmpus urutaí, sendo o delineamento DBC, com 5 repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Para a avaliação vegetativa, avaliou-se a cada 5 dias a altura, comprimento e largura da maior folha, maior largura entre folhas (todos com auxílio de régua milimetrada) e número de folhas, por meio de contagem simples e, ao final do experimento pesou-se em balança com precisão 0,01g a fitomassa fresca e seca das partes aéreas e raízes. Já para a avaliação do bulbo molhado, utilizou-se uma bateria com 16 tensiômetros, espaçados 5 cm entre si, nas profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, distribuídos em forma de cruz, com um gotejador isolado no ponto central. As leituras foram realizados antes, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 e 48 horas após a irrigação, que foi baseada no tanque classe A, com média de 1,4L h⁻¹e turno de régua de 48 horas. Os dados do desenvolvimento vegetativo foram submetidos à análise de variância e se significativos, tiveram as médias comparadas pelo teste de Turkey com 95% de confiabilidade e, os dados da formação dos bulbos, plotados no software Surfer 11. Observou-se que o T4 foi superior estatisticamente aos 20 DAT nos parâmetros comprimento da maior folha, número de folhas por planta e altura, já para a avaliação da maior largura entre folhas destacou-se a partir dos 15 DAT. Com relação aos dados analisados ao final do experimento, o mesmo foi superior para fitomassa fresca da raiz, já os demais tratamentos, não foram diferentes estatisticamente. Na avaliação da influência dos geotêxteis à formação dos bulbos, verificou-se que o T4 demonstrou melhor uniformidade de distribuição, em relação aos demais, e os tratamentos com geotexteis, reteram a umidade por um período de tempo maior, se comparados ao testemunho. Portanto, pode-se concluir que o T4 expressou os melhores resultados e que o geotêxtil melhora a eficiência no uso da água, podendo otimizar a aplicação, contudo, carecem de mais estudos para se afirmar tais resultados.

Palavras-chave: geossintéticos, produtividade, gotejo enterrado

ABSTRACT

The subsurface drip irrigation is an established technology for the efficient use of water, however, faces problems with clogging and root intrusion and geotextiles have been highlighted by excellent in performing the functions of filtration and separation, for example, in addition to its high permeability. However, to evaluate its influence on various parameters related to irrigated agriculture, such as plant development and training of the wet bulb is crucial, since these parameters can enhance their acceptance, so this study aimed to evaluate the influence of three nonwoven geotextiles to the development of the lettuce and the formation of the wet bulb. Testimony, geotextile N26.1, N30.1 and N40.1, termed T1, T2, T3 and T4 respectively: 4 treatments was established. What worked was developed in a greenhouse at IF Goiás - Urutaí Campus, with the DBC design with 5 replications, totaling 20 experimental plots. For vegetative assessment was evaluated every 5 days with height, length and width of the largest leaf, largest width between sheets (all with the aid of a millimeter ruler) and number of leaves, by simple counting and at the end of the experiment weighed on balance accurate to 0.01 g fresh weight and dry weight of aerial parts and roots. As for the evaluation of the wet bulb, we used a battery with 16 tensiometers, spaced 5 cm apart, at depths of 10, 20, 30 and 40 cm, distributed in the form of a cross, with a dripper isolated at the midpoint. Readings were performed before, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 and 48 hours after irrigation, which was based on the class A tank with an average of 1.4 L h⁻¹ and shift strip 48 hours. Data from the vegetative development were submitted to analysis of variance and if significant, the averages were compared by Tukey's test with 95% confidence, and the data of the formation of bulbs, plotted in Surfer 11 software. Observed that T4 was statistically superior 20 DAT in length parameters largest leaf, number of leaves per plant and height, as for assessing the greatest width between sheets stood out from the 15 DAT. Regarding the data analyzed at the end of the experiment, it was higher for fresh weight of the root, since the other treatments were not statistically different. In assessing the influence of geotextiles to the formation of bulbs, it was found that T4 showed a more uniform distribution in relation to others, and treatments with geotextiles, retained their moisture for a longer period of time compared to the testimony. Therefore, it can be concluded that the best results expressed T4 and the geotextile improves the uniformity and keep the moisture, which can optimize the application, however, require more studies to affirm these findings.

Keywords: geosynthetics, productivity, subsurface drip

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada nos últimos anos, adquiriu significativa importância na economia brasileira, visto que as atividades de agropecuária e do agronegócio representam uma parcela importante do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Ainda, considerando este panorama, destaca-se a possibilidade de expansão, pois no Brasil, apenas cerca de 1/5 dos solos aptos à agricultura irrigada estão em produção. Apesar de lucrativa, a agricultura irrigada é a atividade responsável pela maior demanda de água em termos mundiais, cerca de 70% é destinada a este setor, o que gera conflitos com os demais usos, visto que à medida que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países tendem atingir condições de escassez de água. (CHRISTOFIDIS, 2013)

Diante deste contexto, investir em tecnologias que apliquem o conceito da agricultura moderna, tornou-se imprescindível, já que entre seus principais objetivos destaca-se a obtenção de maiores produtividades por quantidade de água aplicada com menor impacto ao ambiente. A irrigação por gotejamento é uma das tecnologias que mais se expandem na moderna agricultura irrigada, com um grande potencial para utilizar a água com eficiência. Os sistemas de gotejamento permitem o uso criterioso da água para uma grande variedade de culturas. A disposição dos emissores diretamente na superfície/ subsuperfície do solo permite que o processo de infiltração ocorra dentro de um pequeno volume de solo, conhecido como bulbo molhado. (TOLENTINO Jr., 2011)

Dentre os sistemas utilizados, a irrigação localizada por gotejamento subsuperficial aplica a água diretamente na zona radicular mantem a umidade do solo nesta região próxima à capacidade de campo, minimizando as perdas evaporativas, incidência de pragas e riscos de contaminação do meio ambiente, além de possibilidades de aumento na produção. Entretanto, alguns fatores podem ser limitantes à adoção do gotejamento subsuperficial (GS), entre os principais, destacam-se o entupimento por partículas de solo no sistema (colmatação devido a sucção) e a intrusão radicular (tendência das raízes se concentrarem no bulbo úmido gerado pelo emissor).

Uma das formas de evitar problemas de entupimento e intrusão no gotejamento subsuperficial é através da Barreira Física - BF. A BF vem sendo pesquisada por diversos autores nos últimos anos porque é uma alternativa que pode fornecer ao produtor uma solução com melhor custo-benefício.

Uma das formas viáveis de formar a BF é a instalação de geotêxteis não tecidos - GNT, fabricado a partir de fibras de polipropileno, pelo processo de agulhagem. Os GNT apresentam uma estrutura tridimensional, o que lhes proporciona vantagens principalmente no que se refere às funções de filtração, proteção e separação. Devido sua alta permeabilidade, permite a passagem de fluidos através de sua estrutura retendo partículas do solo, além de possuir boas características mecânicas, o que lhe remete boa adaptabilidade às desconformidades do terreno (SILVA, TORRES e ALVES, 2011).

Quando aplicado como BF é necessário verificar a influência do geotêxtil na irrigação. O principal aspecto refere-se à formação do bulbo molhado, pois este pode gerar consequências no desenvolvimento de uma cultura.

A distribuição de água no bulbo molhado depende do volume total de água aplicado, da vazão, da posição do gotejador (na superfície do solo ou enterrado), da disposição dos gotejadores (fonte pontual ou fonte em linha), das condições iniciais e de contorno, das propriedades físicas do solo e de sua distribuição espacial, da atividade do sistema radicular das plantas e do manejo da irrigação (Brandt et al., 1971; Levin & van Rooyen, 1979; Taghavi et al., 1984; Dasberg & Bresler, 1985; Goldberg et al., 1986; Coelho & Or, 1996).

As informações sobre a distribuição da água no bulbo molhado são de grande importância, tanto para o dimensionamento dos sistemas de irrigação como no seu manejo, visto que a determinação do espaçamento entre emissores, a localização de sensores de umidade, a definição das zonas de diferentes intensidades de absorção de água e nutrientes, requerem o conhecimento da dinâmica de água no bulbo molhado.

Decorrente do exposto acima, o principal objetivo deste trabalho foi verificar a influência de três gramaturas de geotêxtil não tecido sob o desenvolvimento da cultura da alface (*Lactuca sativa*) e à formação do bulbo molhado em irrigação via gotejamento subsuperficial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância das águas, seus usos e consequências.

A precipitação total anual sobre a superfície terrestre, tem permanecido na faixa de 110.000 km³, desta, aproximadamente 40%, denominada “água azul”, corresponde à fração que alimenta os cursos d’água e serve de recarga aos aquíferos subterrâneos, que são o foco da gestão dos recursos hídricos (MOLDEN, 2007).

Os principais usos consuntivos da água são humano, produção industrial e agrícola e, conforme discussão de Christofidis (2013), em 2010 estimou-se que para atender a estes três usos consuntivos, demanda-se 4.420 km³, sendo que a agricultura corresponde a 70% deste total. Portanto, conclui-se que a produção agrícola necessita de 3.100 km³ de “água azul” para a irrigação, tendo obtido acima de 40% do total mundial colhido com as diversas lavouras.

Conforme o mesmo autor, analisando-se o ciclo hidrológico, no que se tange aos acontecimentos em terra firme, se integra a água de precipitação que é retido no solo e evapora ou é incorporada às plantas e organismos, chamada assim, de “água verde” e, representa a fonte de recursos básicos primários para os ecossistemas, responsável por cerca de 60% da produção anual agrícola tradicional (sistema de sequeiro). O gerenciamento das águas tem como objetivo harmonizar a oferta de água pela natureza com as demandas dos usos consuntivos e não consuntivos, sem que haja a ocorrência de conflitos provocados pela redução de quantidade, qualidade ou alteração da dinâmica hídrica das águas.

As considerações sobre as quantidades, as qualidades e as oportunidades (fluxos e oscilações de níveis e vazões) de água, dos diversos corpos hídricos, em variadas situações afetadas pelas ações antrópicas, são fundamentadas em paradigmas insuficientes para compreensão plena da dinâmica da natureza; e na percepção dos vínculos da complementaridade existente em especificidades regionais e temporais entre variações/mudanças de clima, vegetações e solos, e dos respectivos efeitos sinérgicos na quantidade, na qualidade e nos fluxos de água (CHRISTOFIDIS, 2013).

2.2. Importância da agricultura irrigada para a produção de alimentos e economia do país

Conforme Un Desa (2009), estima-se que em 2030 a população mundial se eleve para 8,3 bilhões e para 2050, 9,1 bilhões, no entanto, o crescimento esperado para daqui 16 anos, resulta em um cenário que a demanda por alimentos aumentará em 50% e, o estimado para 2050 demandará, segundo Bruinsma (2009), 70%. Em 2010 existiam no mundo aproximadamente 995 milhões de pessoas em condições de insegurança alimentar (FAO, 2011), e os desafios associados à garantia de oferta de alimentos e energia no planeta são os mais alarmantes. Conforme as previsões da Un Water (2009), até 2050 haverá um crescimento da demanda por fontes hidroelétricas e outros recursos energéticos em até 60%.

Congrove e Cosgrove (2012) ressaltaram que em 2008, havia uma área de 1,56 bilhão de hectares em produção agrícola, da qual cerca de 304 milhões de hectares estavam atendidos com sistemas de irrigação. Nesse um quinto de áreas cultivadas em que se praticam as técnicas de agricultura irrigada, obtém-se uma produtividade física superior a dois quintos da produção total agrícola.

Mundialmente, a produtividade obtida com a prática da agricultura irrigada é 2,7 vezes maior do que a obtida pela agricultura tradicional – de sequeiro –, que é dependente das irregularidades próprias das águas das chuvas. Portanto, a irrigação, que possibilita melhorar o manejo da produção e da disponibilidade de água – em quantidade, em qualidade e em oportunidade – e auxilia na eficácia da oferta dos insumos aos cultivos, desempenhará um crescente e primordial papel na produção agrícola e pecuária.

A estimativa de potencial para acréscimo na área mundial dominada por sistemas de irrigação é em torno de 180 milhões de hectares, e considera a possibilidade de incorporação das áreas potenciais brasileiras para desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, que representam um adicional, à atual área irrigada, de aproximadamente 25 milhões de hectares, conforme Christofidis (2013). Ou seja, o Brasil representa um potencial de 14% das capacidades mundiais de incorporação de novas áreas à agricultura irrigada.

A FAO estimou um aumento de 11% na demanda de água pela agricultura irrigada no período entre 2008 e 2050. A previsão é de que a necessidade de recursos hídricos se eleve em cerca de 5% (CONGROVE; COSGROVE, 2012). No entanto, considera-se essa estimativa subestimada, visto que nos últimos 10 anos o volume anual total de água derivada dos mananciais para atender à irrigação elevou-se em 20% (CONGROVE; COSGROVE, 2012); e

segundo a estimativa apresentada pela WWF Global (2011), a demanda anual de água pela agricultura irrigada alcançará 4,5 bilhões de m³ em 2050.

2.3. Gotejamento subsuperficial

A irrigação por gotejamento pode ser classificada, segundo a posição de instalação da linha de emissores, em superficial e subsuperficial: Superficial é a forma mais comumente encontrada, ou seja, quando os emissores se encontram na superfície do solo; e a Subsuperficial é quando os emissores se localizam abaixo da superfície, então podemos definir sistema de irrigação subsuperficial - SDI (Subsurface drip irrigation) como a aplicação de água abaixo da superfície de terra (> 2 cm) por emissores com vazões iguais aos usados em irrigação por gotejamento (CAMP, 1998).

No Brasil, tal sistema vem sendo aplicado para culturas de alto retorno econômico, como tomate (MAROUELLI; SILVA, 2003), melão (MONTEIRO, 2007), mamão (SOUZA et al. 2003), alface (GOMES; SOUSA, 2006), citros e café (FARIA, 2002) e cana-de-açúcar (HERNANDEZ, 2010). Em função da irrigação por gotejamento ser de baixa vazão, alta frequência de aplicação e, o emissor estar localizado junto ao perfil do solo (enterrado), pesquisas indicam que a irrigação localizada por gotejamento em subsuperfície, possibilita não somente reduzir volumes de água, mas também a alta eficiência de aplicação da água de irrigação (ENCISO et al. 2007).

É considerada ainda, segundo Enciso et al. (2007), que a eficiência na utilização da água de irrigação é um componente importante da produção agrícola sustentável e, que sistemas de entrega eficiente da água às plantas, tais como a irrigação por gotejamento subsuperficial (GS) podem contribuir imensamente para a melhoria da eficiência de uso da água e conservação da mesma. Esta referência é corroborada por Barros et al. (2009), através de avaliações de gotejadores superficiais e enterrados, onde em relação aos sistemas superficiais, os enterrados apresentaram menor área superficial molhada, maior largura e profundidade da frente de umedecimento e também disponibilizaram água a uma distância maior, partindo do ponto de emissão. Constataram ainda, que os sistemas enterrados tenderam a melhorar a uniformidade de umidade do solo com o aumento do volume de água aplicado, enquanto os sistemas superficiais apresentaram efeito inverso.

Além disso, o sistema enterrado apresenta maior disponibilidade de nutrientes, visto que o ponto de emissão se encontra mais próximo da raiz, fato importante no manejo da

fertirrigação; por outro lado, informações sobre o movimento simultâneo da água e dos sólidos dissolvidos, são escassas (Clothier & Sauer, 1988).

Altas tecnologias, como o sistema por gotejamento enterrado, só se tornam viáveis se forem utilizadas técnicas adequadas de manejo de irrigação que visem à racionalização do uso da água e ao aumento da produtividade (Coelho et al., 1999), tornando-se necessário o conhecimento do movimento de água quando aplicado em profundidade.

2.3.1. Formação do bulbo molhado

Durante o processo de infiltração, se o solo estiver relativamente seco, existe uma diferença visível entre o solo molhado pela lâmina de água que avança e o solo seco. Este plano é denominado frente de molhamento, no entanto, quando o solo encontra-se parcialmente úmido, esta frente de emedecimento torna-se difusa e difícil de ser identificada (REICHARDT, 1990).

A propagação da frente de molhamento, proveniente de uma fonte pontual de água no solo, é tridimensional e a forma do volume de solo umedecido depende, principalmente, do equilíbrio entre as forças capilares e gravitacionais. Um dos fatores importantes para ser considerado no cálculo de um projeto de irrigação por gotejamento é a proporção da superfície ou volume de solo molhado que deve ser umedecida com respeito à superfície total ou volume de solo que pode estar ocupado pelas raízes. (SOUZA FILHO, 2011)

Há muitas soluções analíticas para equações descrevendo a infiltração de água de fontes pontuais que permitem a estimativa de padrões de umedecimento do solo a partir das propriedades hidráulicas do solo (CAMP, 1998). Padrões de umedecimento são, normalmente, caracterizados pelo eixo radial (r) e vertical (z^+ , z^-) que são as distâncias da frente de molhamento do emissor. Quando suas propriedades hidráulicas são conhecidas, estes modelos podem fornecer um sistema geral para fornecer valores de r e z (REVOL et al., 1997 apud THORBURN; COOK; BRISTOW, 2003).

Segundo Lazarovich et al. (2007) a distribuição de água no solo é influenciada por diversos fatores, entre eles as características hidráulicas do solo, condição inicial, taxa de aplicação dos emissores, frequência de aplicação, características das raízes, evaporação e transpiração, porém a área mínima ideal para o dimensionamento do sistema não está ainda definida, sendo razoável, segundo Keller e Bliesner (1990), considerar-se uma porcentagem inferior a 67% para regiões áridas e superior a 33% para regiões de irrigação suplementar.

Souza e Matsura (2004) observaram porcentagens de área molhada que concordam com o recomendado quando utilizado gotejadores de 4 L/h e espaçamento de 0,50 m; entretanto, a área molhada sobreposta não ultrapassou 10%; Keller e Bliesner (1990) sugerem sobrepor em 20% os bulbos molhados para alcançar índices ideais de uniformidade de distribuição da água no solo. Paralelamente e dentro deste contexto, surge a importância de se poder alterar a área superficial molhada com a combinação de espaçamentos entre gotejadores. A menor área molhada reduz a perda de água por evaporação; obrigatoriamente, o fator econômico se impõe em contrapartida aos seus investimentos no projeto com o aumento de gotejadores e, sendo assim, essas evidências despertam a necessidade de se estudar diferentes combinações de vazões e espaçamento entre gotejadores.

Segundo estudos desenvolvidos por Ben-Asher e Phene (1993), num solo de textura franco-argilosa, o volume do bulbo molhado do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) foi 46 % maior que o do bulbo molhado do sistema de irrigação por gotejamento superficial. Da mesma forma, a superfície molhada para o uso das raízes, que corresponde ao bulbo do sistema de SDI, foi 62 % maior que no sistema de irrigação por gotejamento superficial.

Nogueira, Coelho e Leao (2000) fizeram comparações entre os bulbos molhados originados da ação de gotejadores localizados na superfície do solo e de gotejadores enterrados, num solo Argissolo Vermelho Amarelo, sob uma vazão de 2,6 L h⁻¹. Observaram que a disponibilidade de água (entre 29 e 44 %) foi maior no caso do emissor enterrado. A esse respeito, Monteiro (2007) indica que, o padrão de molhamento durante a aplicação de água, geralmente, consiste de duas regiões: (i) região saturada perto do emissor e (ii) região onde o conteúdo de água diminui em direção a frente de molhamento.

Para um mesmo volume aplicado, o aumento da vazão implica um aumento do avanço horizontal e um decréscimo da profundidade do bulbo molhado. A medida que se aumenta o volume de água aplicado, maior é o avanço da frente de molhamento, tanto em profundidade quanto lateralmente, aumentando as dimensões do bulbo molhado (SOUZA; MATSURA, 2004).

A escolha adequada da vazão do gotejador e do volume de água aplicado tem grande utilidade em termos de projeto, dada a possibilidade de controlar o teor de água e a forma do volume de solo molhado, porém tem-se que conhecê-los a priori, por meio de ensaios de campo (KELLER, 1984).

2.3.1.1. Geometria e Dimensões do Bulbo Úmido

O bulbo úmido se forma a partir de uma fonte pontual de água no solo que se propaga tridimensionalmente através da frente de molhamento. As dimensões do bulbo úmido dependem, sobretudo, dos seguintes fatores: estrutura e textura do solo, vazão do gotejador, frequência de aplicação e umidade inicial do solo. A **Figura 1** ilustra um bulbo úmido dimensionado de acordo com os gradientes de umidade, em azul.

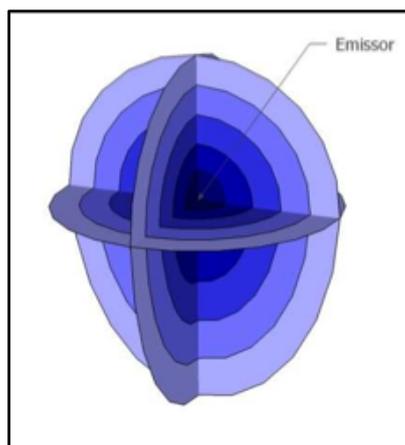


FIGURA 1. Ilustração do bulbo úmido

Informações sobre a geometria do bulbo úmido são de suma importância para o dimensionamento e manejo da irrigação localizada, principalmente para estimar o volume do solo molhado, a vazão do emissor e o tempo de aplicação de água (MAIA et al. 2010).

O conhecimento da forma e do tamanho do volume molhado do solo é um aspecto primordial a se considerar para otimizar o uso da água, evitando a percolação profunda. A avaliação da forma e do tamanho do volume molhado permite definir aspectos relevantes, como lâmina e frequência de irrigação, número de gotejadores e dimensionamento hidráulico (COOK et al., 2006), como também no manejo da irrigação (HAO et al., 2007).

A partir do ponto de emissão localizado abaixo da superfície do solo, a frente de molhamento avança mantendo uma simetria das suas dimensões, eixo radial (r) e vertical (z^+ , z^-). No dimensionamento do bulbo úmido a partir de um determinado volume de controle estabelecido no perfil de solo, são utilizados sensores (sondas de TDR, tensiômetros) ou são coletadas amostradas para determinar as umidades que definem a geometria do bulbo no solo. Alguns autores (KANDELOUS et al., 2011; BARROS et al. 2009; NOGUEIRA et al. 2000)

ao realizarem pesquisas de dimensionamento de bulbos molhados, utilizaram a simetria das medidas do bulbo e obtiveram os valores de umidade do solo, utilizando apenas a metade do bulbo, fazendo o “espelhamento” da outra face.

2.4. Geotêxteis não tecido - GNT

A utilização geossintéticos na Engenharia Agrícola é recente, mas tem experimentado um rápido crescimento nos últimos anos. Esses usos iniciais incluíram o revestimento de valas para ajudar a economizar água, bem como o revestimento dos tanques de cultivo e bacias de captação de água nas regiões áridas.

O geotêxtil não tecido agulhado é fabricado a partir de fibras de polipropileno, distribuídos aleatoriamente e interligados, desenvolvendo principalmente as funções de filtração, separação e proteção. Segundo Vertematti (2004), devido sua alta permeabilidade, permite a passagem de fluidos através de sua estrutura retendo as partículas do solo, podendo assim substituir com vantagens técnicas, econômicas, construtivas e de durabilidade os filtros tradicionais de transição granulométrica.

Segundo Freitas (2003), normalmente, para a função de filtração são utilizados GNT, visto que apresentam uma estrutura bem mais complexa que os tecidos, pois não atuam como uma simples interface, mas sim como um meio tridimensional, possuindo a espessura como parâmetro complementar. Vertematti (2004) descreve as principais vantagens proporcionadas pelos geotêxteis como elemento filtrante, em relação a outros meios convencionais: menor espessura do filtro, características controladas e regulares por se tratar de um produto industrial, facilidade de instalação e manutenção e baixo custo.

Os GNT fabricados por esse processo de agulhagem têm boas características mecânicas, maior e continua espessura que proporciona boa propriedade para filtração e separação, grande alongamento que remete a uma boa adaptabilidade às desconformidades do terreno sendo uma excelente propriedade para proteção (PAVCO, 2009).

Conforme discussão de Moreira (2011), para a utilização dos geossintéticos em sistemas de filtração, é requerido que os filtros sintéticos atendam alguns critérios básicos, e entre os principais destaca-se a retenção e permeabilidade. Estas características são opostas, visto que o filtro deve ser permeável o bastante para possibilitar a passagem da água por meio do mesmo, e deve, ao mesmo tempo, reter o solo evitando uma excessiva migração das partículas, porém, permitindo o fluxo contínuo da água presente no interior do solo. Além dos

requisitos de retenção e permeabilidade, um critério contra a colmatação é requerido para assegurar que, se as partículas do solo bloquearem pequenas aberturas do geotêxtil, a compatibilidade solo - geotêxtil não será afetada significativamente.

Os filtros em geotêxteis, em especial os não-tecidos, são geralmente mais permeáveis que os filtros granulares que tenham a mesma dimensão de poros. Assim, o filtro em geotêxtil não tecido, deve ser genericamente preferido ao filtro granular nas aplicações em que a permeabilidade é essencial (GIROUD, 2010).

O critério de permeabilidade para geotêxteis impõe uma relação entre as permeabilidades normais do geotêxtil (k_g) e do solo (k_s), de modo a que não sejam gerados excessos de pressão intersticial. Assim, a permeabilidade do geotêxtil deve ser superior à do solo, ainda mais se for verificada a compatibilidade em longo prazo (critério de colmatação) (PINTO 2005).

2.4.1. Propriedades

As propriedades dos geotêxteis são fortemente influenciadas pelas características das fibras ou filamentos que os constituem. Seu conhecimento permite melhor interpretar os resultados de ensaios com geotêxteis, mas, sobretudo fornece informações sobre o possível comportamento do produto face às condições do meio ambiente.

2.4.1.1. Propriedades físicas

A determinação das propriedades físicas dos geotêxteis tem como objetivo principal a caracterização do produto e seu controle de qualidade. As mais importantes são: gramatura, espessura e porosidade. A gramatura é um dos parâmetros mais usados para identificação dos geotêxteis não tecidos. Ela é definida como sendo a massa por unidade de área e expressa em gramas por metro quadrado. Já a espessura, como varia em função do carregamento a que o mesmo é submetido, sua determinação se faz sob certos níveis de carga pré-estabelecidos. Estes níveis são, geralmente, sobrecarga de 2kPa para medida de identificação; sobrecarga de 20kPa e/ou 200 kPa para aproximar-se das condições de emprego. E a porosidade é definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra.

2.4.1.2. Propriedades mecânicas

A compressibilidade de um geotêxtil, ou seja, a variação de sua espessura quando carregado, é geralmente representada pela curva “espessura *versus* pressão aplicada”, que pode ser obtida por procedimento semelhante à determinação da espessura, submetendo-se a amostra a diversos níveis de carga ou a carregamento contínuo. A variação da espessura do geotêxtil em função da sobrecarga aplicada é de particular importância no que diz respeito a suas propriedades hidráulicas.

Como o geotêxtil pode ser acidentalmente perfurado, é interessante que ele imponha uma certa resistência à propagação dos danos porventura ocorridos. Daí o sentido de se fazer o ensaio medindo a força para que, junto a uma incisão previamente executada, surja um processo de ruptura.

Em vários problemas geotécnicos a manta de geotêxtil pode estar sujeita a sofrer penetração de um objeto ou penetrar num espaço vazio. Normalmente separamos três tipos básicos de perfuração:

- a) por impacto: penetração de um objeto sob efeito dinâmico;
- b) por puncionamento: penetração de um objeto pressionado estaticamente sobre a manta;
- c) por estouro: penetração da manta pressionada através de um espaço vazio.

É importante conhecer também a flexibilidade de um geotêxtil, pois este parâmetro permite avaliar a capacidade de acomodação, entre o geotêxtil e o solo. Uma boa capacidade de acomodação aumenta o atrito do geotêxtil com material envolvente e melhora seu desempenho como elemento filtrante ou separador.

Os ensaios realizados para estudar o comportamento mecânico do sistema solo-geotêxtil buscam simular as situações reais de campo e quantificar parâmetros para utilização direta em projetos.

Para a adequada utilização de geotêxteis nas funções de separador, filtro ou dreno, é necessário conhecer suas propriedades hidráulicas, definidas pela: permeabilidade normal à manta - permissividade; permeabilidade no plano da manta - transitividade e; porometria - abertura de filtração. A compressibilidade dos geotêxteis faz com que sua permeabilidade seja função da tensão normal a que eles estão submetidos. Os resultados de ensaio devem, portanto, indicar a pressão atuante sobre o geotêxtil durante sua realização. Pode-se adotar

como “permeabilidade nominal” o valor obtido sob tensão de 2 kPa, ou seja, para a condição de espessura nominal.

A porometria do geotêxtil é a medida das dimensões de seus poros. A abertura de filtração pode ser considerada como sendo a maior abertura (poro) do geotêxtil, correspondendo ao tamanho da maior partícula que o atravessa nas condições específicas do ensaio.

2.4.1.3. Propriedade de durabilidade

Na engenharia, além de conhecer o comportamento ou as propriedades de um material necessário ao dimensionamento do projeto, é preciso verificar a manutenção destas propriedades durante seu período de utilização. Os ensaios que estudam o comportamento em função do tempo vem sendo chamados de ensaios de durabilidade e se dividem em dois grupos básicos:

- a) Estudo de variação no tempo das características do geotêxtil sob o efeito das condições de carregamento ou fluxo, impostas ou previstas pelo projeto, tais como ensaios de fluência, relaxação, resistência à abrasão, fadiga, colmatação, perda de partículas, entre outros.
- b) Estudo da variação no tempo das características do geotêxtil face aos ataques do meio ambiente tais como o efeito da temperatura, estabilidade aos raios ultra-violetas, resistência aos ataques químicos e biológicos.

2.4.2. Condições de Fluxo

O fluxo através do sistema solo-geotêxtil pode conduzir a diversas situações, passíveis de modificar suas propriedades hidráulicas, como retenção de partículas na manta ou deposição sobre ela, carreamento de partículas através da manta e depósito de microrganismos ou cristais nos filamentos.

2.4.3. Condições do Meio Ambiente

Os ensaios previstos neste grupo se baseiam na exposição da fibra/filamento ou do geotêxtil aos fatores de “ataque”, por tempo e intensidade variáveis. As amostras são submetidas a ensaios de resistência mecânica antes e após esta exposição. O ensaio de

resistência mecânica mais utilizado é o ensaio de tração em faixa estreita, devido as pequenas dimensões da amostra.

Dos ensaios deste grupo estão normalizados para geotêxteis os de efeito da temperatura e estabilidade sob ação de raios ultra-violeta. Na análise dos efeitos de ataques químicos ou biológicos são de grande valia os estudos já realizados para as fibras ou filamentos.

Entretanto, quando o solo envolve o geotêxtil, estas condições podem se alterar profundamente. No caso de análise de desempenho é interessante que o experimento se faça no conjunto solo-geotêxtil, buscando simular as condições de emprego (temperatura, meio saturado, etc.) e verificando a manutenção das propriedades hidráulicas e mecânicas desejadas.

4. Cultura da Alface (*Lactuca sativa*)

Pertencente à família das Asteráceas, a alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres das regiões do Sul da Europa e da Ásia Ocidental. É uma planta herbácea, muito delicada, com caule reduzido onde as folhas crescem em forma de roseta. Suas folhas são grandes e tenras, podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma cabeça. O sistema radicular é formado por grande ramificação explorando os primeiros 25 cm do solo (FILGUEIRA, 2000).

No Brasil, a alface está entre as dez hortaliças mais apreciadas para consumo in natura e, entre as folhosas, é a mais comercializada e consumida, principalmente devido à facilidade de aquisição e por ser produzida o ano inteiro (OLIVEIRA et al., 2004).

Na prática, é considerada uma planta de raízes densas e superficiais, estando seu sistema radicular a uma profundidade efetiva entre 0,15 a 0,30 m no seu máximo desenvolvimento (MAROUELLI et al., 1996).

O solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Para se obter maior produtividade, é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo. As maiores produções podem ser obtidas a partir da melhoria das características químicas e físico-químicas do solo, isso pode ser obtido com o acréscimo de compostos orgânicos (SOUZA et al., 2005).

A alface é a mais popular das hortaliças e é cultivada em quase todas as regiões, entretanto é bastante sensível às condições adversas de temperatura, umidade e chuva, sendo necessários estudos que possam propiciar aumentos significativos na produtividade e diminuição de riscos, tornando-a um produto mais competitivo e diferenciado (TARSITANO et al., 1999).

A alface é uma das hortaliças mais exigentes em água durante o seu período de desenvolvimento, o que influencia de forma decisiva a produtividade e a qualidade comercial da cabeça. Dessa forma o manejo adequado da irrigação é importante, não apenas por suprir as necessidades hídricas das plantas, mas também, por minimizar problemas com doenças e lixiviação de nutrientes, bem como gastos desnecessários com água e energia (KOETZ et al., 2006).

Decorrente da sensibilidade da planta às intempéries e às variações climáticas, o seu cultivo em ambiente protegido vem ganhando grande importância nos últimos anos. Além da praticidade no manejo, a limpeza e a versatilidade dessa modalidade de cultivo conferem ótimas condições para reduções na utilização de produtos químicos, menor consumo de água, produção fora de época, maior produtividade e, conseqüentemente, melhor preço, devido à alta qualidade do produto (FELTRIM et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área experimental

O experimento foi realizado na casa de vegetação do setor de horticultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Câmpus Urutaí - GO, no detalhe em vermelho na Figura 2 cujas coordenadas geográficas são 17°29'10" S de latitude, 48°12'38" O de longitude e 697m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cwb (tropical de altitude), que caracteriza duas estações bem definidas, sendo um inverno seco e verão chuvoso.



FIGURA 2. Foto de satélite da área experimental com detalhe circular vermelho do local onde foi desenvolvido o experimento.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido do tipo arco simples, com orientação Leste-Oeste e estrutura metálica, dimensões de 30 m de comprimento, 10 m de largura, pé-direito de 3,0 m e altura de arco de 1,2 m, coberto com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 0,15 mm de espessura, laterais constituídas de tela clarite com malha de 2,0 x 2,0 mm (Figura 3).



FIGURA 3. Vista frontal (A) e lateral (B) do Ambiente protegido.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Embrapa, 1999), com textura franco arenoso, tendo as características físicas apresentadas na Tabela 1 e as químicas na Tabela 2. Para obtenção das análises química e física do solo foram coletadas cinco amostras de solo no interior do ambiente protegido. Estas foram homogeneizadas, dando origem a uma amostra composta representativa, sendo este procedimento realizado nas profundidades de 0 a 20 e 21 a 40 cm.

TABELA 1. Propriedades físicas do solo da área experimental.

Profundidade cm	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
	g kg⁻¹				
0-20	275	324	241	160	Franco Arenoso
21-40	329	283	202	186	Franco Arenoso

TABELA 2. Propriedades químicas do solo da área experimental.

Variáveis	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH H ₂ O (1:1,25)	6,5	6,5
P – Melich (mg dm ⁻³)	48,3	49,2
K (mg dm ⁻³)	42	24
S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	45	48
Ca (Cmol _c dm ⁻³)	4,8	3,4
Mg (Cmol _c dm ⁻³)	1,3	0,9
Al (Cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
H+Al (Cmol _c dm ⁻³)	2,2	2,0
B (mg dm ⁻³)	0,1	0,07
Cu (mg dm ⁻³)	2,4	1,2
Fe (mg dm ⁻³)	51	23
Mn (mg dm ⁻³)	6,9	3,9
Zn (mg dm ⁻³)	0,8	1,9
M.O. (dag kg ⁻¹)	1,8	1,3

3.2. Tratamentos

Os geotêxteis utilizados neste trabalho têm sua composição constituída pela fibra têxtil química (polipropileno). As principais características técnicas dos três GNT utilizados neste trabalho estão descritos na Tabela 3.

TABELA 3. Principais características técnicas dos geotêxteis não tecido utilizados no experimento.

Características Técnicas	Tipos de Geotêxtil Não Tecido		
	N 26.1	N 30.1	N 40.1
Gramatura (g/cm ²)	120	150	210
Resistência longitudinal ao rasgo (KN)	0,16	0,22	0,29
Resistência ao estouro (kPa)	1035	1554	1930
Permeabilidade Normal (cm/s)	0,45	0,45	0,42
Fluxo de água (L/ seg.m ²)	153	136	102
Abertura aparente (mm)	0,300	0,250	0,212

FONTE: Adaptado de Manual Maccaferri (2012).

Sendo assim, os tratamentos foram identificados como:

T1 - Tratamento Testemunha

T2 - Tratamento com Geotêxtil Não Tecido N26.1

T3 - Tratamento com Geotêxtil Não Tecido N30.1

T4 - Tratamento com Geotêxtil Não Tecido N40.1

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso (DBC), sendo utilizado quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas, representadas por canteiros de dimensões de 10m de comprimento por 1m de largura , compostos por duas linhas de gotejo cada (Figura 4A), enterradas a 0,10m de profundidade, conforme a Figura 4B.

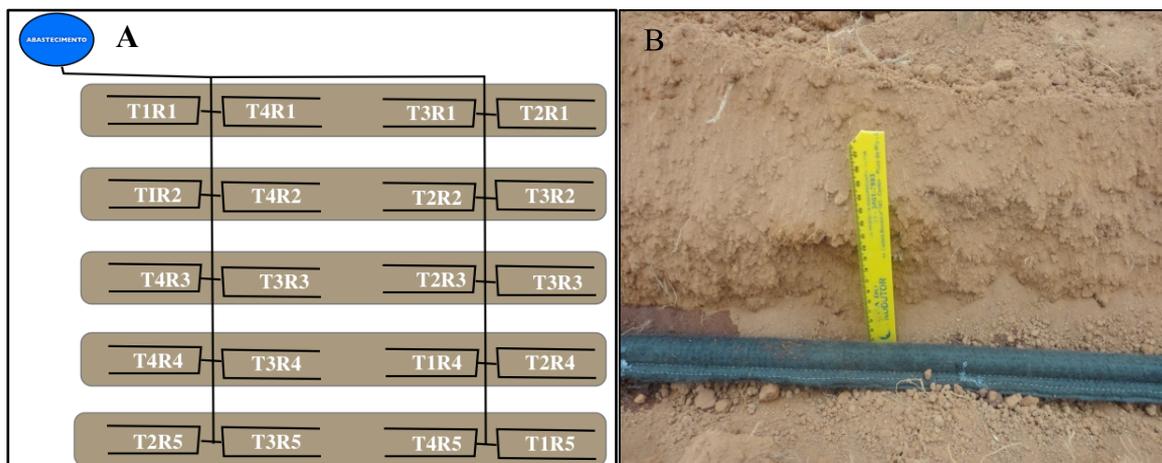


FIGURA 4. Croqui da área experimental (A) e profundidade de instalação (B).

3.4. Produção das mudas

A alface utilizada foi a *Lactuca sativa* L., cultivar Vanda, adquiridas na própria instituição (IF Goiano - Câmpus Urutaí), de coloração verde, sendo as folhas crespas e soltas e formando uma roseta. A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido com 200 células, substrato tropstrato HT HORTALIÇAS, peneirado inicialmente e, colocando-se uma semente em cada célula. As mudas foram produzidas sob telado e, posteriormente, transferidas para a área experimental.

3.5. Curva de retenção de água

Para obtenção da curva de retenção de água no solo, coletou-se uma amostra indeformada do solo utilizando anéis volumétricos, nas camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm. A determinação da curva característica de retenção de água no solo foi conforme a metodologia de Camargo et al. (1986) e ajustada pelo modelo proposto de Van Guenuchten (1980).

Na Figura 5 estão apresentadas as curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0 a 20 e 21 a 40 cm, em toda a área do experimento.

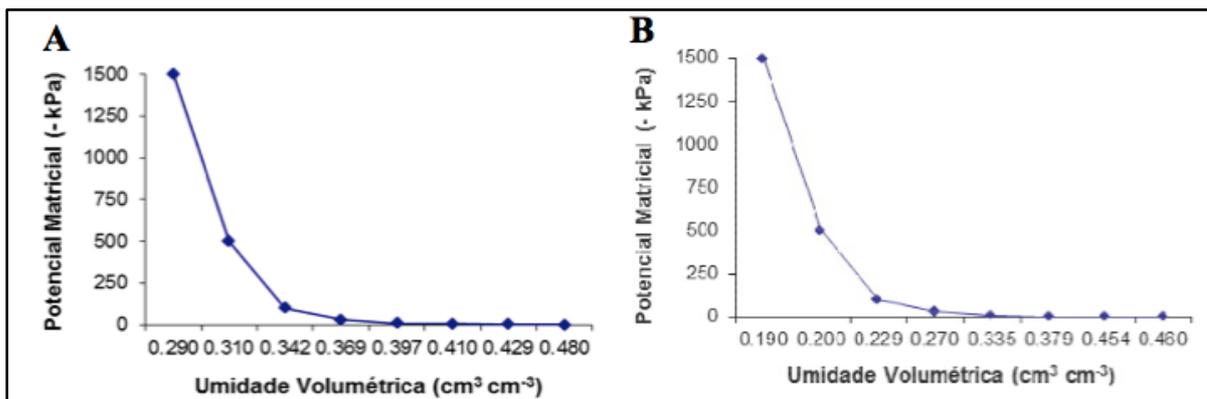


FIGURA 5. Curvas de retenção de água no solo, para as camadas de 0-20(A) e 21-40(B) cm.

3.6. Irrigação

Utilizou-se um sistema de irrigação localizada por gotejamento subsuperficial, onde duas linhas de plantas recebiam uma linha lateral de irrigação de 16 mm de diâmetro, com emissores espaçados entre si a 0,3 m. Os emissores forneciam uma vazão de 1,6 L h⁻¹ e trabalhavam com pressão de serviço de 10 mca. O sistema de bombeamento foi composto por conjunto motobomba de 1 cv. A irrigação foi realizada com base no evaporímetro “tanque classe A”, sendo a média de 1,4 L h⁻¹, o turno de rega de 48 horas e o horário da irrigação, impreterivelmente, às 6 horas.

3.7. Manejo da Irrigação

A evapotranspiração da cultura foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$ET_c = E_{T_o} \times K_c \quad (1)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹)

E_{T_o} = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

K_c = coeficiente da cultura (adimensional)

O coeficiente da cultura (K_c) empregado foi variável de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura (**Tabela 4**).

TABELA 4. Coeficientes de cultivo para três fases de desenvolvimento da alface após o transplanto das mudas (Adaptado de Bastos, 1994).

Fases	Kc
II	0,48
III	0,80
IV	1,00

LEGENDA: Fase II - do transplanto aos próximos 15 dias; Fase III - do final da segunda fase aos 30 dias seguintes; Fase IV - do final da terceira fase até a colheita.

3.7.1. Uniformidade do sistema de irrigação

Para determinar a uniformidade de aplicação de água foram medidas as vazões dos gotejadores ao longo das linhas laterais com o auxílio de um kit de precipitação, com coletores de 8 cm de diâmetro e altura de 10,2 cm (**Figura 6**).



FIGURA 6. Coletor utilizado na determinação da uniformidade da vazão.

O tempo de coleta foi de oito minutos determinado com auxílio de um cronômetro de precisão e de uma proveta graduada em mL. A vazão foi determinada pelo método volumétrico, que segundo Salomão (2008), para coleta de volume pequeno, pode ser utilizada de acordo com a Equação 2.

$$Q = \frac{V \div 1000}{T \div 60}$$

(2)

em que:

Q = vazão (L h⁻¹)

V = volume coletado (mL)

T = tempo de coleta (min)

A uniformidade do sistema de irrigação foi determinada seguindo a metodologia proposta por Denículi et al. (1980), sendo adaptada para as parcelas experimentais. A coleta de água foi realizada em quatro gotejadores ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a 1/3, 2/3 e do último gotejador, sendo este procedimento realizado em cada bloco experimental.

A uniformidade de aplicação de água foi avaliada pelo índice de uniformidade de distribuição que é dada pela divisão entre a média de 25% das menores vazões pela média de todas as vazões observadas (Equação 3). Obteve-se o valor médio de 91% de uniformidade de distribuição no ensaio, que segundo critérios apresentados pela ASAE (1996) o sistema encontra-se em excelente estado de aplicação de água.

$$\boxed{UD = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{q}} \quad (3)$$

em que:

UD = uniformidade de distribuição (%)

q_{25%} = média dos 25% menores valores de vazão observados (L h⁻¹)

Como nenhum sistema de irrigação tem eficiência de 100%, houve a necessidade de correção da lâmina de irrigação, sendo ajustada de acordo com a uniformidade de distribuição determinada, cujo valor encontrado foi de 91%. Portanto a lâmina de irrigação foi efetuada pela Equação 4.

$$\boxed{L_i = \frac{ETc}{UD}} \quad (4)$$

em que:

L_i = lâmina de irrigação (mm)

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹)

UD = uniformidade de distribuição (decimal)

Considerando a irrigação por faixa molhada contínua, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação por tratamento foi definido pela Equação 5.

$$\boxed{T_i = \frac{L_i \cdot E_l \cdot E_g}{q}} \quad (5)$$

em que:

T_i = tempo de irrigação por tratamento (h)

L_i = lâmina de irrigação (mm)

E_l = espaçamento entre linhas laterais (m)

E_g = espaçamento entre gotejadores (m)

Q = vazão do gotejador ($L h^{-1}$)

3.8. Caracterização e instalação dos tensiômetros

Para avaliar a influência dos geotêxteis na formação do bulbo molhado, utilizou-se uma bateria de 16 tensiômetros, sendo os mesmos distribuídos conforme a Figura 7. Ressalta-se que os tensiômetros foram espaçados entre si 5 cm, partindo do emissor e, com profundidades de instalação de 10, 20, 30 e 40 cm, sendo que a cada distância, havia tensiômetros em todas as profundidades propostas.

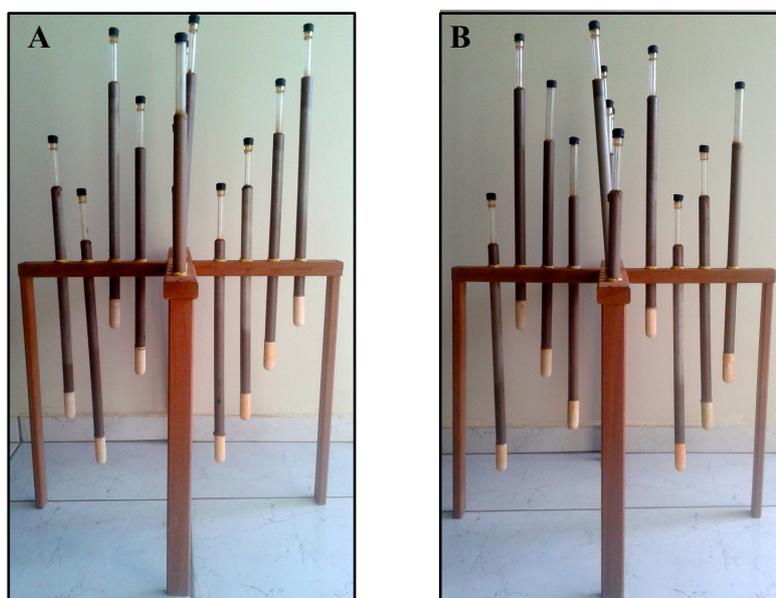
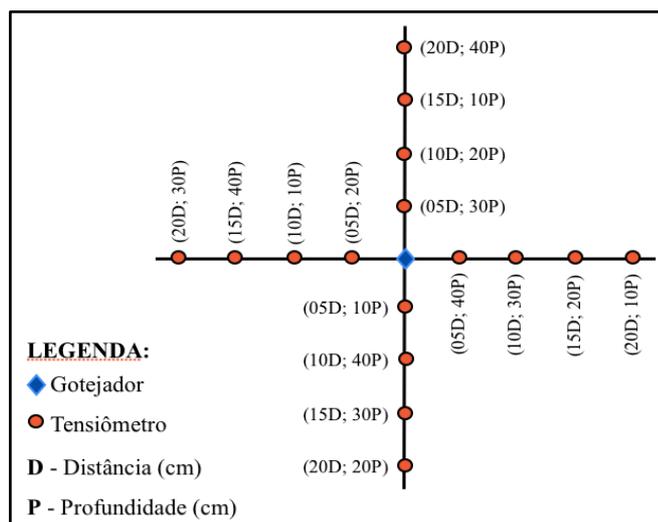


FIGURA 7. Distribuição dos tensiômetros, (A) eixo X - perpendicular à linha de gotejo. e (B) eixo Y - linha de gotejo.

3.9. Condução do experimento e avaliações

Aos 29 dias após a semeadura (DAS), as mudas foram transplantadas e, o espaçamento adotado foi de 0,3 x 0,3 m. A aplicação dos tratamentos de lâminas de reposição de água iniciou-se a partir de onze dias após o transplante das mudas, período este necessário para o estabelecimento e a climatização das mudas, dentro do ambiente protegido.

Quando necessário realizaram capinas manuais, para controle de plantas daninhas como, tiririca (*Cyperus rotundus*), azedinha (*Rumex acetosa*) e caruru (*Amaranthus viridis* L). Por meio de avaliações visuais, inspeções periódicas foram feitas a fim de se detectar a presença de pragas e a ocorrência de doenças durante o cultivo, entretanto, neste experimento não foram observados problemas fitossanitários.

A colheita foi realizada aos 35 dias após o transplântio (DAT), momento em que as plantas apresentaram o máximo desenvolvimento vegetativo.

3.9.1. Desenvolvimento da cultura

Para avaliação do desenvolvimento vegetativo da cultura da alface, mensurou-se a cada 5 dias após o transplântio, num total de 4 medições, os parâmetros e seus respectivos procedimentos, que estão descritos no Quadro 1. Já a descrição das variáveis determinadas ao final do experimento, encontram - se no Quadro 2.

QUADRO 1 - Parâmetros avaliados a cada 5 dias e seus respectivos procedimentos.

Variáveis	Procedimentos
Altura da parte aérea	Realizadas com o auxílio de uma régua milimetrada, sendo a altura aquela entre o solo e a última folha.
Número de folhas	Determinado por meio de contagem simples das folhas de cada planta.
Comprimento da maior folha	Realizado com o auxílio de uma régua milimetrada.
Largura da maior folha	Realizada com o auxílio de uma régua milimetrada.
Maior largura entre folhas	Realizada com o auxílio de uma régua milimetrada, sendo medido a distância de uma extremidade a outra entre duas folhas.

QUADRO 2 - Variáveis mensuradas ao final do experimento e suas metodologias.

Parâmetros	Metodologias
Fitomassa fresca das partes aéreas e raízes	Foram determinadas por meio de uma balança analítica de precisão 0,01g.
Fitomassa seca das partes aéreas e raízes	Após a determinação da massa úmida, foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa a 65°C até que sua massa permaneça constante e, em seguida, pesadas em balança de precisão 0,01g.

3.9.2. Bulbo molhado

Para verificar a influência dos geotêxteis na formação do bulbo úmido, instalou-se 16 tensiômetros, distantes entre si 5 cm e, em profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, conforme Figura 6 e, para mensurar a distribuição do conteúdo de água no solo, realizou-se oito leituras, sendo os seguintes horários analisados: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 e 48 após a irrigação. Tal metodologia foi baseada em Kandelous et al. (2011) e no turno de rega do experimento da alfaca.

O bulbo molhado foi analisado em solo nu, e a irrigação foi baseada na média obtida no experimento da alfaca (30 minutos - 0,8L), suficiente para se observar o movimento da água no solo no período de 48 horas. Destaca-se também, que o bulbo foi avaliado individualmente, ou seja, isolou-se os todos os emissores da linha,, envolvendo-os em veda rosca e fita isolante, com exceção de um central (Figura 8), a fim de evitar a sobreposição, pois conforme resultados de Kandelous et al. (2011), esta situação exige modelos tridimensionais.

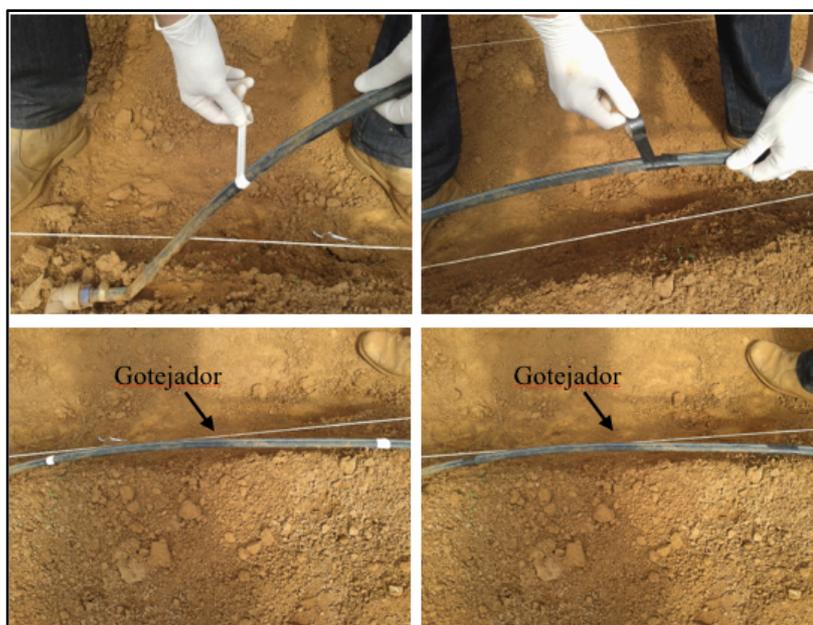


FIGURA 8. Isolamento dos emissores para avaliação do bulbo molhado.

3.9. Análise dos dados

3.9.1. Desenvolvimento da cultura da alface

Os dados obtidos nesta etapa do experimento foram submetidos à análise de variância e, se significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Turkey com 95% de confiabilidade. Foi aplicado aos dados também, análise de regressão.

3.9.2. Bulbo úmido

As médias de cada hora mensurada (2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 e 48 horas após a irrigação) nas leituras dos tensiômetros foram plotadas no software Surfer 11 que facilitem a visualização do movimento hídrico no solo nas diversas profundidades (10, 20, 30 e 40 cm) e distâncias (5, 10, 15 e 20 cm) entre os tratamentos estabelecidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desenvolvimento vegetativo da cultura da alface

4.1.1. Parâmetros de desenvolvimento

O comprimento das folhas de alface não variou em função dos tratamentos para os intervalos de 5, 10 e 15 DAT (Tabela 5). Todavia, no 20º DAT o comprimento das folhas de alface foi maior para o tratamento com geotêxtil N 40.1 (T4) em comparação com os demais tratamentos (Tabela 1). Os menores valores de comprimento de folhas foram observados no tratamento com geotêxtil de N 26.1 (Tabela 5).

Não houve diferença significativa no parâmetro largura de folhas de alface entre tratamentos, independentemente do período após o transplântio considerado (Tabela 5).

O número de folhas por planta de alface foi diferente entre tratamentos, apenas, no 20º DAT. Nos demais dias (5, 10 e 15 DAT) não houve diferença significativa para esse parâmetro (Tabela 1). No 20º DAT observou-se que o tratamento com geotêxtil N 40.1 proporcionou maior número de folhas por planta em comparação com os demais tratamentos (Tabela 5).

A maior largura entre folhas de alface foi diferente entre os tratamentos avaliados, apenas, no 15º e 20º DAT investigado (Tabela 5). Maiores valores para esse parâmetro foram observados na testemunha e no tratamento com geotêxtil N 40.1 (para o 15º DAT). Para o 20º DAT observou-se que a maior largura entre folhas foi observada no tratamento 4 (N 40.1).

TABELA 5. Comprimento da folha (cm) (Média ± EP¹), largura da folha (cm) (Média ± EP¹), número de folhas por planta (Média ± EP¹) e maior largura entre as folhas (Média ± EP¹) de plantas de alface, *Lactuca sativa* L. (Asteraceae), mantidas sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos.

Comprimento da folha (cm)					Largura da folha (cm)			
Geotêxtil	Dias após o transplântio (DAT)				Dias após o transplântio (DAT)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
Testemunha	13,28 ± 0,34 a	14,96 ± 0,40 a	15,03 ± 0,42 a	15,63 ± 0,43 bc	10,95 ± 0,33 a	11,71 ± 0,29 a	13,91 ± 0,39 a	15,05 ± 0,36 a
N 26.1	12,64 ± 0,31 a	13,87 ± 0,34 a	14,98 ± 0,43 a	14,52 ± 0,26 c	9,74 ± 0,32 a	11,41 ± 0,33 a	12,78 ± 0,34 a	13,94 ± 0,32 a
N 30.1	12,95 ± 0,40 a	14,28 ± 0,37 a	15,48 ± 0,38 a	16,52 ± 0,39 b	10,40 ± 0,43 a	11,99 ± 0,42 a	13,84 ± 0,35 a	13,90 ± 0,42 a
N 40.1	14,10 ± 0,42 a	15,08 ± 0,49 a	15,73 ± 0,57 a	17,35 ± 0,49 a	10,45 ± 0,31 a	11,90 ± 0,39 a	13,15 ± 0,51 a	15,11 ± 0,43 a
F	3,33	2,32	0,69	9,34	1,14	0,48	2,03	2,78
P	0,22	0,08	>0,05	0,00	0,33	>0,05	0,11	0,04
CV	11,61	11,56	12,67	11,08	14,53	13,92	12,79	12,39
Número de folhas por planta					Maior largura entre as folhas (cm)			
Geotêxtil	Dias após o transplântio (DAT)				Dias após o transplântio (DAT)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
Testemunha	5,15 ± 0,25 a	6,90 ± 0,27 a	9,25 ± 0,48 a	12,25 ± 0,56 b	22,51 ± 0,78 a	24,45 ± 0,91 a	28,66 ± 1,15 a	28,27 ± 1,08 b
N 26.1	4,95 ± 0,18 a	6,45 ± 0,21 a	9,15 ± 0,24 a	11,90 ± 0,26 b	20,88 ± 0,90 a	22,51 ± 1,17 a	24,74 ± 1,13 b	26,47 ± 0,61 c
N 30.1	4,60 ± 0,26 a	6,10 ± 0,33 a	9,10 ± 0,28 a	12,85 ± 0,68 b	21,12 ± 0,92 a	23,95 ± 1,12 a	24,71 ± 0,91 b	29,85 ± 1,54 b
N 40.1	4,80 ± 0,24 a	6,00 ± 0,38 a	9,30 ± 0,41 a	14,55 ± 0,74 a	23,02 ± 0,90 a	26,32 ± 1,00 a	28,12 ± 1,16 a	33,15 ± 1,02 a
F	1,01	1,90	0,06	3,81	1,69	2,53	4,44	7,13
P	0,39	0,13	>0,05	0,01	0,17	0,06	0,00	0,00
CV	21,17	20,74	12,72	20,89	16,41	18,16	16,99	16,11

A altura de plantas de alface foi maior na testemunha (sem geotêxtil) em comparação com os demais tratamentos nos 5° e 10° DAT (Figura 9). No 15° DAT não houve diferença na altura das plantas de alface entre os tratamentos, mas no 20° DAT o tratamento N 40.1 proporcionou maior altura (22,32 cm) da planta de alface em comparação com os demais tratamentos com valores de 19,57, 17,69 e 19,72 cm de altura nos tratamentos N 26.1, N 30.1 e N 40.1, respectivamente (Figura 9).

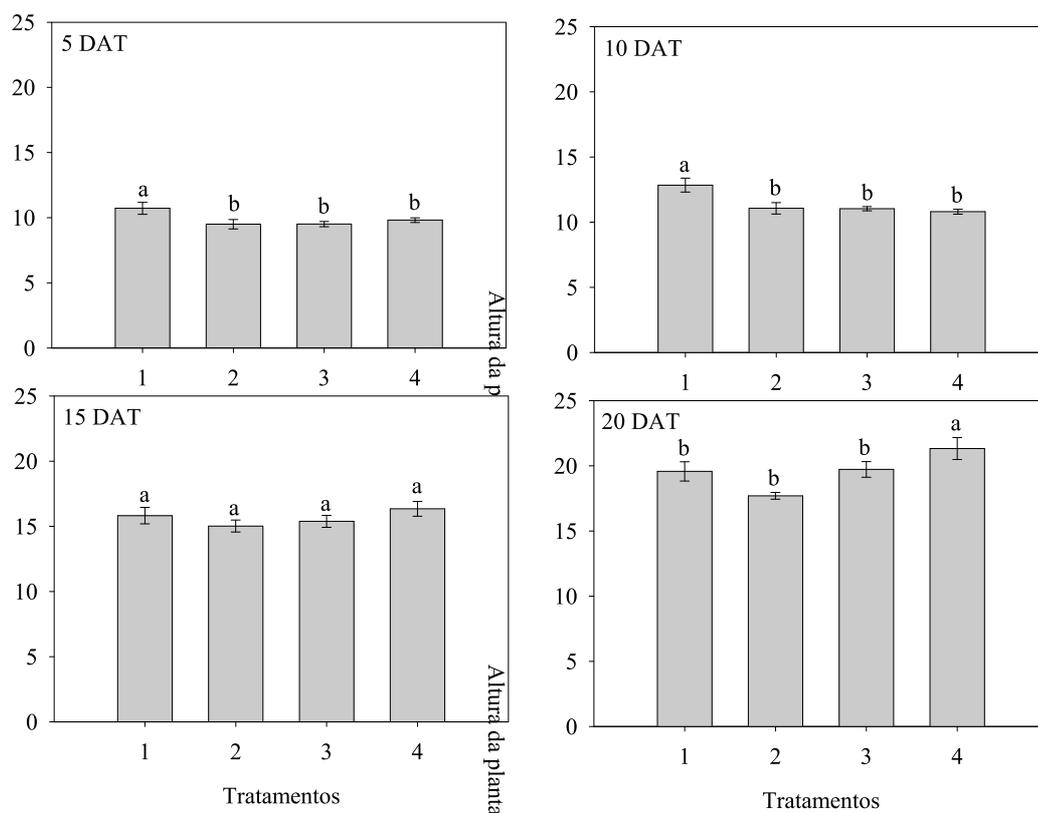


FIGURA 9. Altura da planta (cm) (Média \pm EP¹) de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos. ¹Médias seguidas pelas mesmas letras entre barras não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. DAT (Dias após o transplântio).

Quando a abordagem a respeito dos parâmetros de desenvolvimento das plantas focou na comparação entre tratamentos em função dos quatro dias após o transplântio investigados (5, 10, 15 e 20 DAT), através de análises de regressão, observou-se que o comprimento, largura, maior largura entre folhas, número de folhas/planta e altura de plantas de alface sofreu forte influência da idade (DAT) da planta (Figuras 10 a 14).

Plantas de alface submetidas ao geotêxtil não tecido N 40.1 (T4) tiveram maior comprimento de folhas inicial (aos 5 DAT) até o final (aos 20 DAT) (Figura 10). Os menores valores do comprimento das folhas de alface foram observados na testemunha (T1) independente do intervalo de transplântio (DAT) considerado (Figura 10).

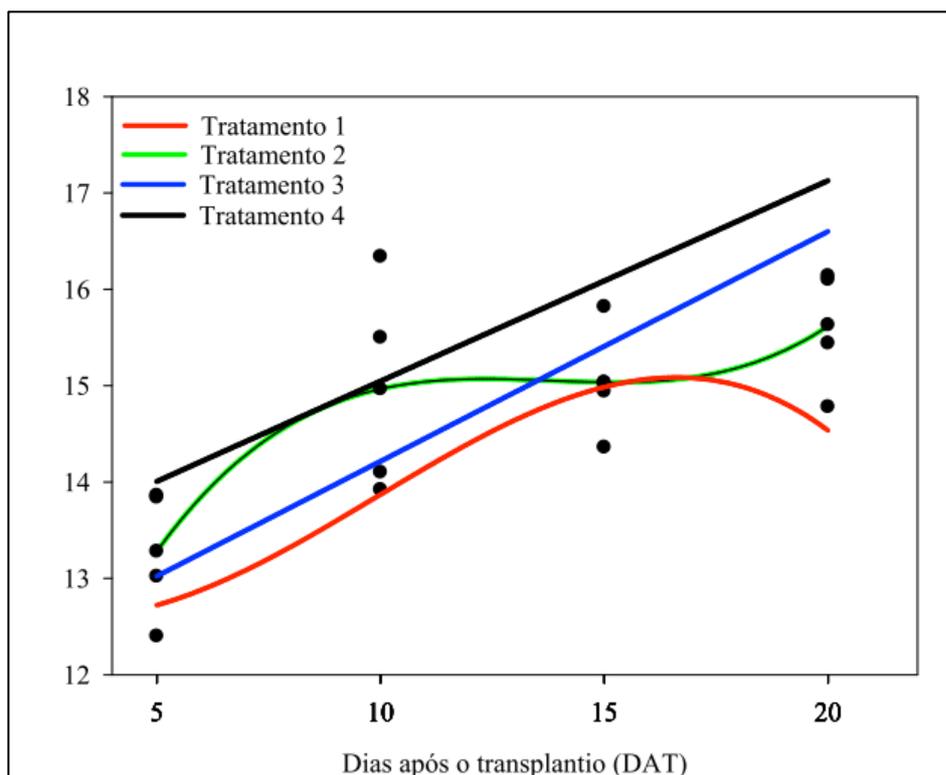


FIGURA 10. Análise de regressão do comprimento (cm) das folhas de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de geotêxtil não tecido como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos: T1 ($y=0,78+0,11x-0,11x^2+0,28x^3$ e $R^2= 0,65$), T2 ($y=0,13-0,32x+0,60x^2-0,20x^3$ e $R^2= 0,62$), T3 ($y=0,11+0,23x$ e $R^2= 0,83$) e T4 ($y=0,12+0,20x$ e $R^2= 0,48$).

Para o parâmetro largura de folhas, observou-se que a testemunha e o geotêxtil N 30.1 produziram o mesmo modelo de regressão (cúbico), enquanto que nos geotêxteis N 26.1 e N 40.1 o modelo apresentado foi linear (Figura 11). Isso indica muita semelhança quanto ao comportamento do parâmetro largura das folhas de alface em função do intervalo avaliado. Todavia, quando considera-se apenas o 20º DAT pode-se observar que os geotêxteis N 26.1 e N 40.1 interferiram para que as plantas de alface apresentassem maior largura de folhas, enquanto que o tratamento N 30.1 foi o que apresentou menor largura de folha (Figura 11).

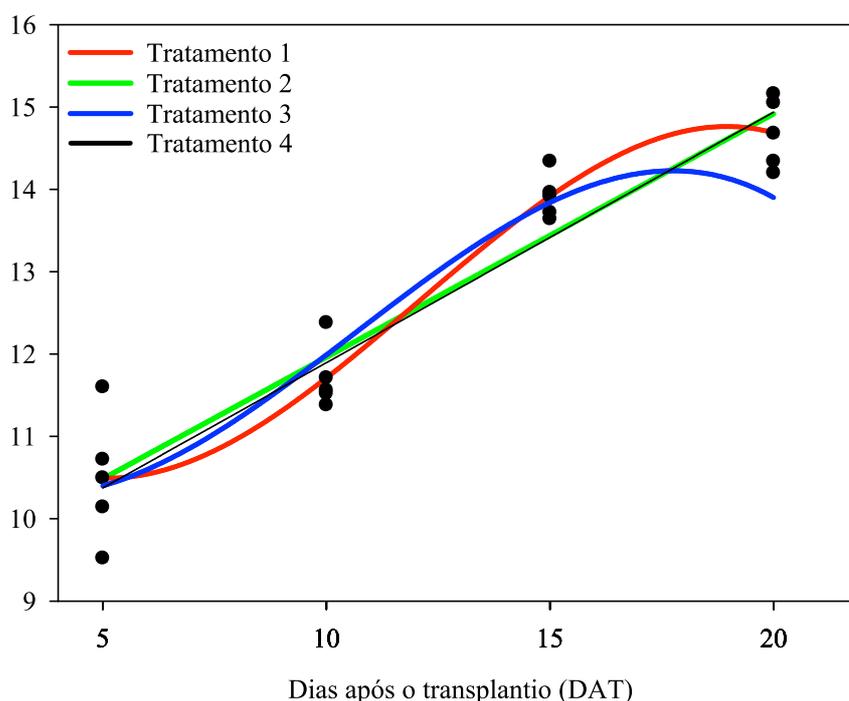


FIGURA 11. Análise de regressão da largura da folha (cm) de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de tecido geotêxtil como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos: T1 ($y=0,12-0,94x+0,11x^2-0,32x^3$ e $R^2= 0,92$), T2 ($y=0,85+0,27x$ e $R^2= 0,86$), T3 ($y=0,11-0,51x+0,87x^2-0,27x^3$ e $R^2= 0,81$) e T4 ($y=0,88+0,30x$ e $R^2= 0,90$).

O tratamento cujo geotêxtil utilizado foi o N 26.1 proporcionou menor largura entre folhas de alface, independente do intervalo após o transplante considerado (Figura 12). Todavia, resposta inversa foi apresentada no tratamento com geotêxtil N 40.1 (T4) onde a maior largura entre folhas de alface foi sempre superior aos demais tratamentos. Os tratamentos T3 (N 30.1) e T1 (Testemunha) apresentaram valores intermediários (Figura 12). Esse mesmo comportamento também foi observado para o parâmetro número de folhas/planta de alface (Figura 13) e altura das plantas de alface (Figura 14) com os tratamentos cujos geotêxteis foram N 40.1 e N 26.1 proporcionando maiores e menores valores, independente do intervalo de transplante, respectivamente.

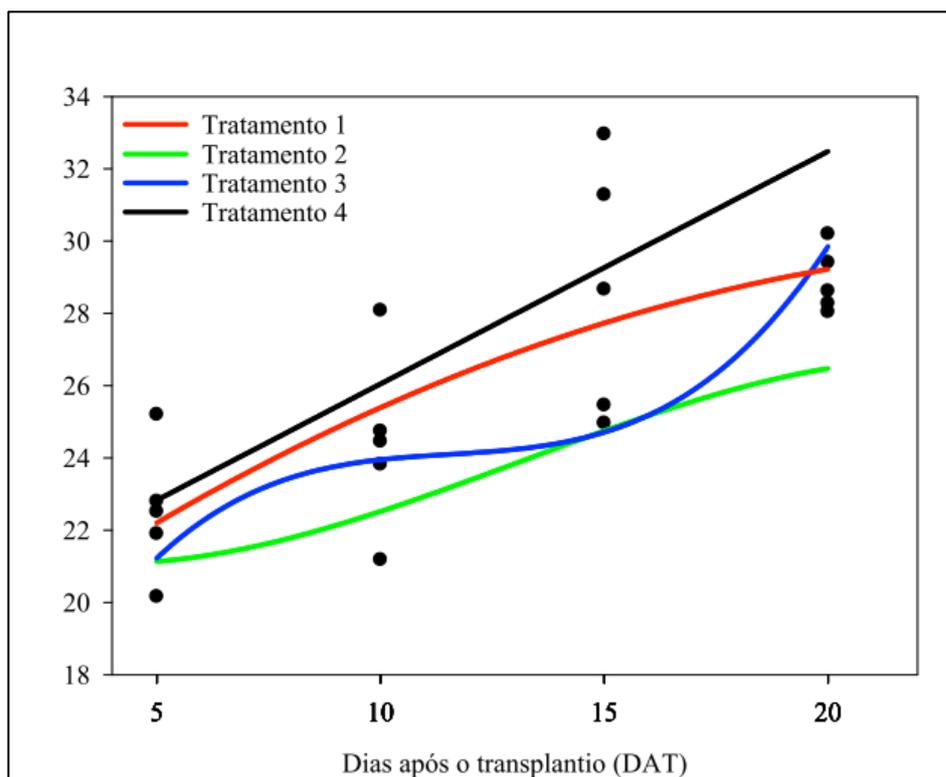


FIGURA 12. Análise de regressão da maior largura entre folhas (cm) de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de tecido geotêxtil como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos: T1 ($y=0,13e^{0,94x}$ e $R^2= 0,56$), T2 ($y=0,23-0,45x+0,77x^2$ e $R^2= 0,85$), T3 ($y=0,10+0,34x-0,29x^2+0,84x^3$ e $R^2= 0,68$) e T4 ($y=0,19+0,64x$ e $R^2= 0,68$).

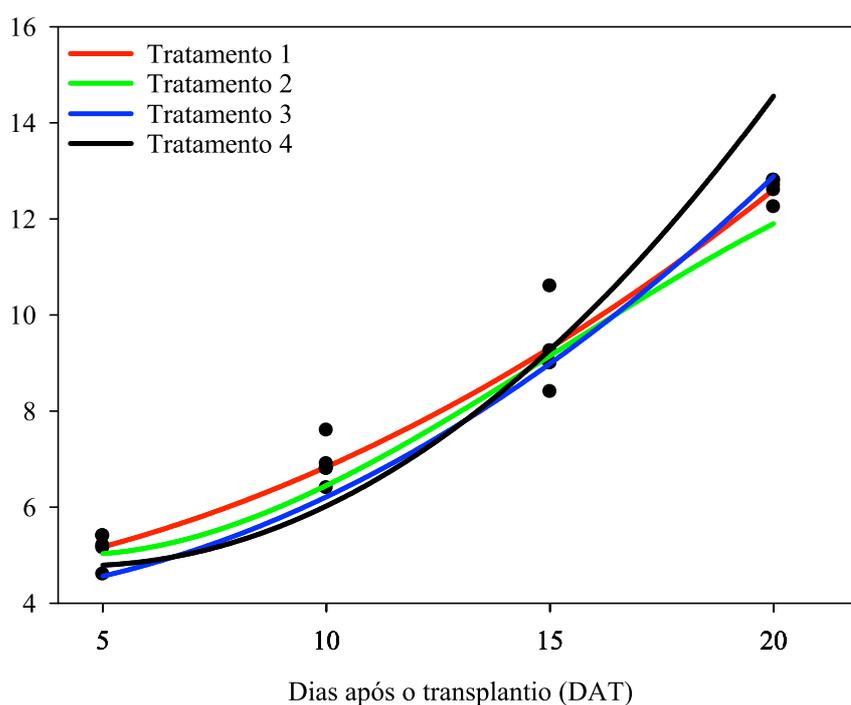


FIGURA 13. Análise de regressão do número de folhas/planta de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de tecido geotêxtil como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos: T1 ($y=0,43+0,88x+0,16x^2$ e $R^2= 0,97$), T2 ($y=0,61-0,55x+0,74x^2-0,16x^3$ e $R^2= 0,97$), T3 ($y=0,40-0,75x+0,22x^2$ e $R^2= 0,92$) e T4 ($y=0,55-0,36x+0,40x^2$ e $R^2= 0,95$).

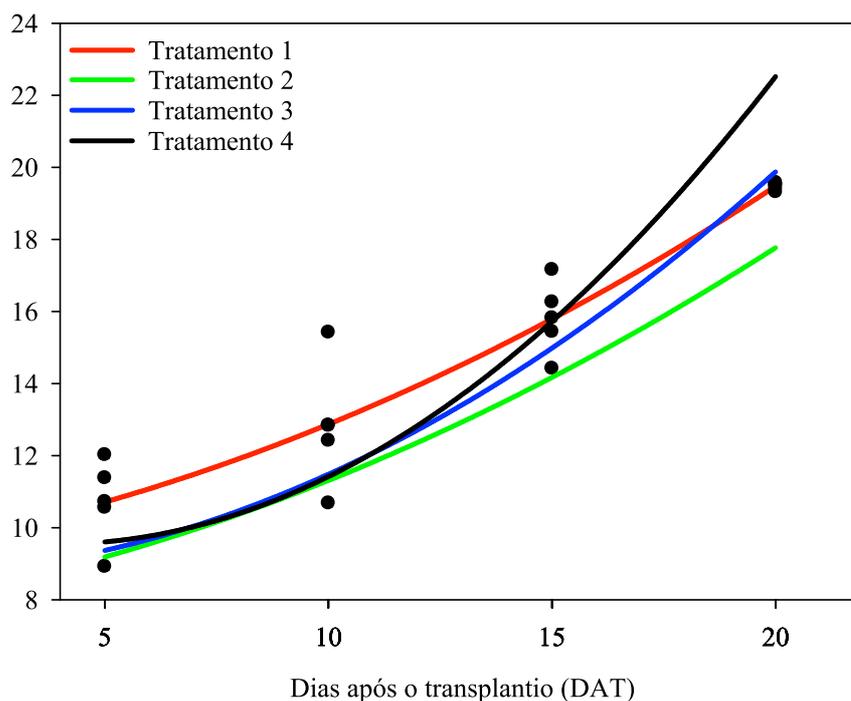


FIGURA 14. Análise de regressão da altura de plantas de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de tecido geotêxtil como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os tratamentos: T1 ($y=0,93+0,20x+0,15x^2$ e $R^2= 0,90$), T2 ($y=0,78+0,20x+0,14x^2$ e $R^2= 0,85$), T3 ($y=0,14-0,17x+0,18x^2-0,41x^3$ e $R^2= 0,95$) e T4 ($y=0,17-0,26x+0,25x^2-0,54x^3$ e $R^2= 0,92$).

4.1.2. Massa fresca e seca

A utilização de geotêxteis não tecido agulhado através do envolvimento em tubos gotejadores para produção de alface originou plantas de alface no final de seu ciclo com mesmo peso de massa fresca da folha e caule em comparação com a testemunha (Tabela 6). Isso também foi verificado para os parâmetros Massa seca da folha e caule e Massa seca da raiz (Tabela 6). Todavia, a massa fresca da raiz das plantas de alface sofreu influência dos tratamentos ($F= 7,12$ e $P= 0,00$). Nesse caso, plantas de alface com maior massa fresca da raiz

foram observadas para aquelas plantas submetidas ao tratamento N 40.1 (T4) em comparação com os demais tratamentos (Tabela 2).

TABELA 6. Massa Fresca Folha e Caule (g) (Média \pm EP¹), Massa Fresca Raiz (g) (Média \pm EP¹), Massa Seca Folha e Caule (g) (Média \pm EP¹) e Massa Seca Raiz (g) (Média \pm EP¹) de alface, *Lactuca sativa* (Asteraceae), mantida sob sistema de gotejamento subsuperficial utilizando diferentes gramaturas de tecido geotêxtil como revolvimento em tubos gotejadores de acordo com os treatments.

Geotêxtil	Parâmetros			
	Massa Fresca Folha e Caule (g)	Massa Fresca Raiz (g)	Massa Seca Folha e Caule (g)	Massa Seca Raiz (g)
Testemunha	138,39 \pm 16,76 a	3,81 \pm 0,61 b	7,35 \pm 0,71 a	1,00 \pm 0,14 a
N 26.1	140,26 \pm 14,96 a	3,37 \pm 0,21 b	7,48 \pm 0,51 a	1,03 \pm 0,13 a
N 30.1	132,07 \pm 15,21 a	4,34 \pm 0,63 ab	6,79 \pm 0,65 a	1,15 \pm 0,24 a
N 40.1	173,33 \pm 17,91 a	5,27 \pm 0,55 a	8,15 \pm 0,36 a	1,53 \pm 0,31 a
F	1,81	7,12	1,46	2,28
P	0,19	0,00	0,27	0,13
CV	21,10	16,29	13,88	30,60

¹Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.2. Uniformidade de distribuição da água

Observa-se pela análise de variância que a uniformidade de distribuição de água não foi afetada significativamente pelos diferentes geotexteis não tecido, tanto antes da implantação quanto ao final do experimento, pelo teste F (Tabela 7).

TABELA 7. Resumo da análise de variância para uniformidade de distribuição de água (UD), antes da implantação do experimento é ao final do experimento.

Variáveis	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
-----------	--------------------	----	----	---	---

UD _{antes}	Blocos	4	16,800	1,615	>0,233
	Tratamentos	3	18,550	2,378	0,1209
	Resíduo	12	31,200		
C.V.= 1,71					
UD _{final}	Blocos	4	1,700	3,055	>0,697
	Tratamentos	3	21,000	0,185	0,941
	Resíduo	12	27,500		
C.V.= 1,62					

4.3. Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água pode ser observada na Tabela 8, com indicação da matéria fresca por planta, produtividade e lâmina utilizada no experimento. A EUA foi obtida pela relação entre a produtividade total (Kg ha^{-1}) e a lâmina utilizada no experimento (mm), e o comportamento observado neste estudo atenta para a interpretação errônea feita por muitos produtores, onde relacionam o excesso de água com ganho de eficiência e produtividade. A utilização de gramaturas diferentes de geotêxteis não tecido não influenciou significativamente na eficiência do uso de água pelas plantas de alface nos tratamentos, contudo, percebe-se na Tabela 8 que a massa fresca, produtividade e eficiência do uso da água para o T4 é superior aos demais tratamentos, mesmo desfrutando de lâminas iguais.

A uniformidade de aplicação de água em áreas irrigadas influencia diretamente o manejo, a eficiência e o custo da irrigação, assim como afeta a qualidade e produtividade da cultura. Santos et al. (2003) afirmam que uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas fertirrigadas pelo sistema recebam mais água e adubo do que outras, resultando em um desenvolvimento desuniforme dentro do cultivo de uma determinada cultura.

TABELA 8. Eficiência do uso de água

* Médias seguidas por letras iguais entre si, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Matéria fresca (g planta ⁻¹)	Produtividades (kg ha ⁻¹)	Lâminas (mm)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Testemunha	138,39 a	8.452,48 a	93,2	90,69 a
N 26.1	140,26 a	8.857,34 a	93,2	95,03 a
N30.1	132,07 a	8.977,02 a	93,2	96,31 a
N40.1	173,32 a	11.092,86 a	93,2	119,02 a

4.4. Formação do bulbo molhado

Nas imagens de isolinhas abaixo (Figuras 15 a 23) estão representados os valores de umidade do solo com base na tensão, influenciada pela irrigação por gotejamento subsuperficial, em nove diferentes instantes (antes, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 e 48 horas após a irrigação). Nessas figuras, observa-se de que maneira a água aplicada se distribuiu no solo ,permitindo a visualização dos bulbos de irrigação formados no solo.

A Figura 15 representa o solo inicialmente, ou seja, antes da irrigação, e demonstra que todos os perfis estavam com distribuição do conteúdo de água aproximado, onde os primeiros 20 cm do solo estavam acima de 20 kPa, que representa uma faixa acima da capacidade de campo e momento de irrigação para produtividade máxima e culturas de maior valor econômico (EMPRAPA, 1999). No núcleo das imagens, entre 20 e 30 cm de profundidade, é o local onde encontramos maior presença de água (tensão mais baixa), já nas extremidades ocorrem o inverso, com exceção do canto superior esquerdo, onde percebe-se a presença de água, contudo, em uma zona tão restrita, que não interfere na visão geral.

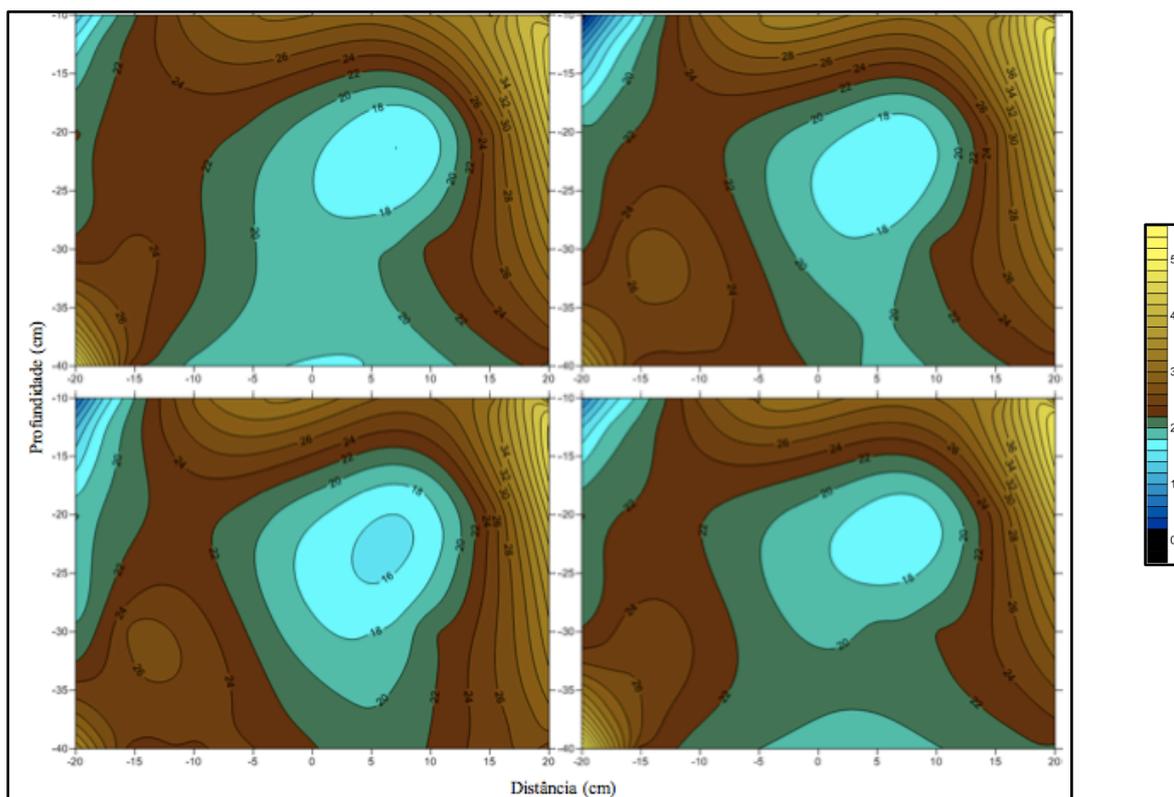


FIGURA 15. Conteúdo de água no solo antes da irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Nas leituras realizadas 2 horas após a irrigação (Figura 16), observa-se que em todos os tratamentos, atingiu-se a capacidade de campo, ou seja, entre 6-10 kPa, contudo, o T1 (testemunha) demonstra uma uniformidade maior na área superficial, que compreende os primeiros 20 cm, além de áreas de saturação (valores < 6 kPa), situação não favorável ao desenvolvimento vegetativo, visto que o excesso de água também é prejudicial, pois pode “afogar” as mudas. Já no T2 (GT N26.1) observa-se uma percolação inicial, visto que a parte central demonstra uma área vertical, no entanto, nas extremidades verificamos zonas com menor umidade quando comparada às centrais. Como a avaliação foi realizada apenas 2 horas após a irrigação, subentende-se que as zonas mais distantes (extremidades = 20 cm de distancia do emissor) ainda não foram beneficiadas pela irrigação. O T3 (GT N30.1) ressaltou uma zona nuclear úmida, o que gera desuniformidade, podendo resultar em colheitas divididas, nível de desenvolvimento diferente dentro da mesma área de plantio. Por fim, temos o T4 (GT N40.1), que representa o geotêxtil não tecido de maior gramatura, tem-se uma zona

superficial e central mais úmida, que é próximo ao ponto de emissão e, ao se distanciar, esta umidade vai diminuindo, porém de maneira igualitária em todas as áreas.

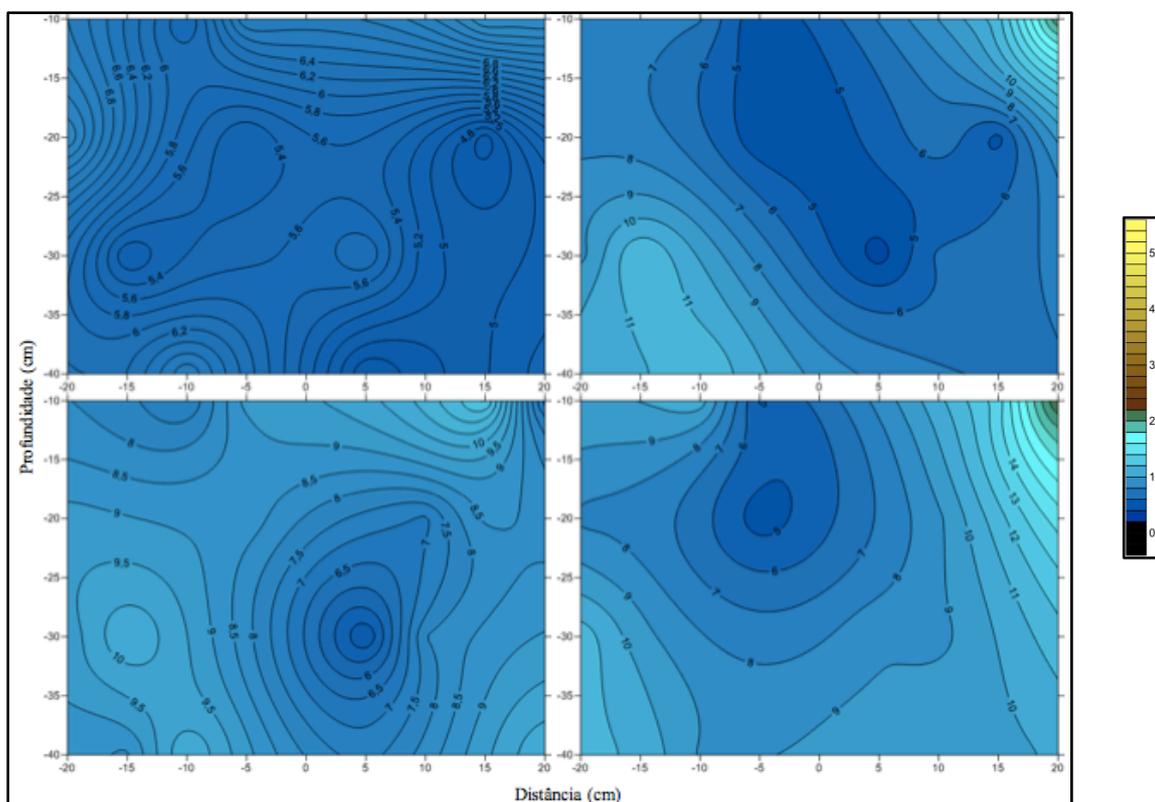


FIGURA 16. Conteúdo de água no solo 2 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Após quatro horas da irrigação (Figura 17), ainda percebe-se uma zona superficial uniforme no T1, porém, mais restrita, abrangendo apenas os primeiros 15 m. Observa-se também que o mesmo começa a inverter a umidade, ou seja, na zona superficial, inicia o processo de perda de água pela percolação, demonstrando uma umidade maior nas áreas mais profundas. O T2 está mais inclinado à direita (deitado) quando comparado com a avaliação de 2 horas, o que demonstra uma tendência do mesmo em ficar na horizontal, que é a melhor forma de se uniformizar. O T3 demonstra duas situações, o lado esquerdo com menor umidade (aproximadamente 11 kPa) e o lado direito com maior conteúdo de água (cerca de 8 kPa). É possível perceber ainda, que seu núcleo está com maior umidade, no entanto, estende-se de forma vertical, o que demonstra percolação.

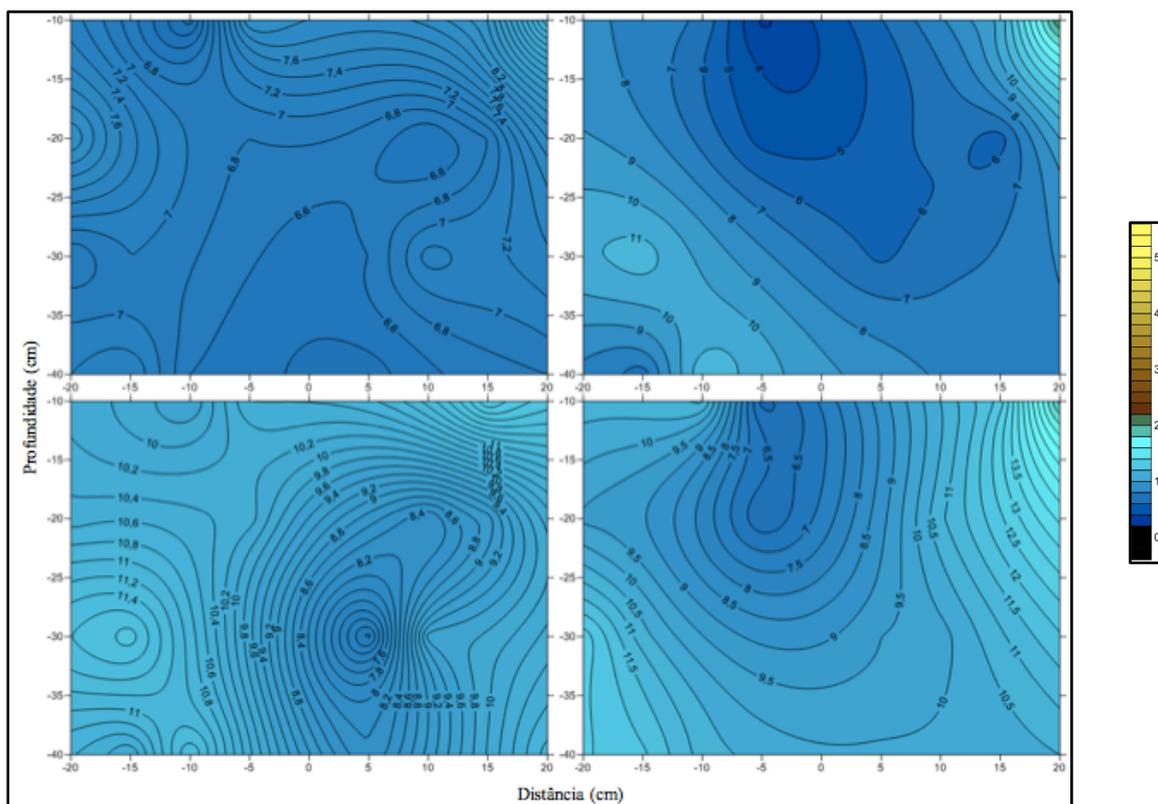


FIGURA 17. Conteúdo de água no solo 4 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Seis horas após a irrigação (Figura 18), encontramos no T1 a situação anterior mais intensa e visível, ou seja, área superficial com umidade reduzida e em áreas profundas (mais de 30 cm de profundidade) regiões com maior umidade. No T2 extremidades fora da capacidade de campo começam a aparecer, no entanto, a umidade central permanece na mesma faixa (aproximadamente 8 kPa) o que demonstra que não houve perda significativa de água. O T3, mostra um núcleo vertical e restrito (apenas 5 cm de distancia) bastante úmido ainda. Já no T4, percebe-se um aumento de água superficial central, que é exatamente no ponto de emissão, além de demonstrar bastante uniformidade. Analisando-se os dados, percebeu-se que no decorrer das avaliações, geralmente no período de 6 a 10 horas a tensão da área reduzia, o que nos permite inferir que o material geotêxtil N 40.1 (de maior gramatura) retém a água fornecida pela irrigação, e em função da intensidade das tensões no interior do solo, a água vai liberada, o que evita desuniformidades. Contudo, nas extremidades percebe-se que se inicia um processo de perda de água. Conforme característica do GT N 40.1, seu fluxo potencial de água (102 L/s.m^2) comparado aos demais é menor, o que reforça a teoria de que o mesmo disponibiliza a água fornecida pela irrigação gradativamente,

enquanto que o T2 e T3, onde o fluxo potencial do geotêxtil é maior (153 e 136 L/s.m², respectivamente), notamos inicialmente uma desuniformidade na distribuição do conteúdo hídrico, visto que a resistência enfrentada pela água para passar pelo GT N26.1 e 30.1 é menor. Outra característica que corrobora com esta teoria é o fato do T4 apresentar uma permeabilidade normal menor (0,42 cm/s) quando comparado com os outros GNT, conforme Tabela 3.

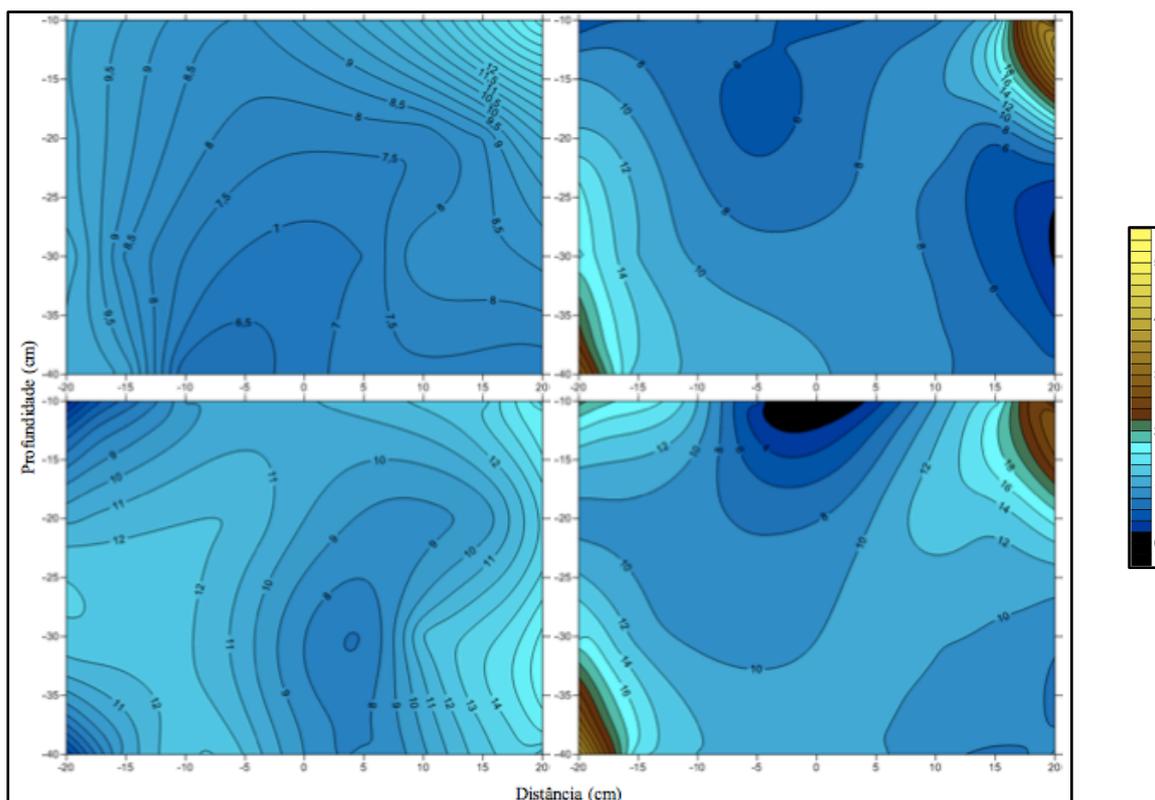


FIGURA 18. Conteúdo de água no solo 6 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Nas leituras realizadas 8 horas após a irrigação (Figura 19), percebe-se que no T1 o bulbo está afunilando progressivamente, ou seja, a umidade está mais vertical e restrita no sentido núcleo - fundo. A partir dos 15 cm de distância do emissor, o conteúdo hídrico já encontra-se igual ou acima do limite da capacidade de campo (10 kPa). Já o T2 apresenta isolinhas com tendências horizontais, e redução das zonas de escassez, o que nos permite inferir que houve “liberação” de água para o meio e melhor distribuição do fluido. O T3 permanece como nas situações anteriores, apenas deixa-as de maneira mais uniforme, ou seja, um núcleo desde a zona superficial (10 cm de profundidade) até as áreas mais profundas com a maior umidade e, as laterais, distantes cerca de 5 cm do emissor com ligeiro decaimento

deste conteúdo hídrico. No T4 as zonas menos úmidas das extremidades, quando comparadas com a avaliação anterior, minimizaram, ou seja, houve um incremento de água nestes locais ou melhor distribuição, como ocorreu no T2. O fato do geotêxtil ter sido envolvido em toda a extensão da linha lateral, implica em uma ampliação horizontal da umidade, fato observado por Najafi e Tabatabaei (2010), onde concluíram que para as raízes superficiais os geotêxteis são bem eficazes justamente por esta característica de alongamento da umidade horizontal.

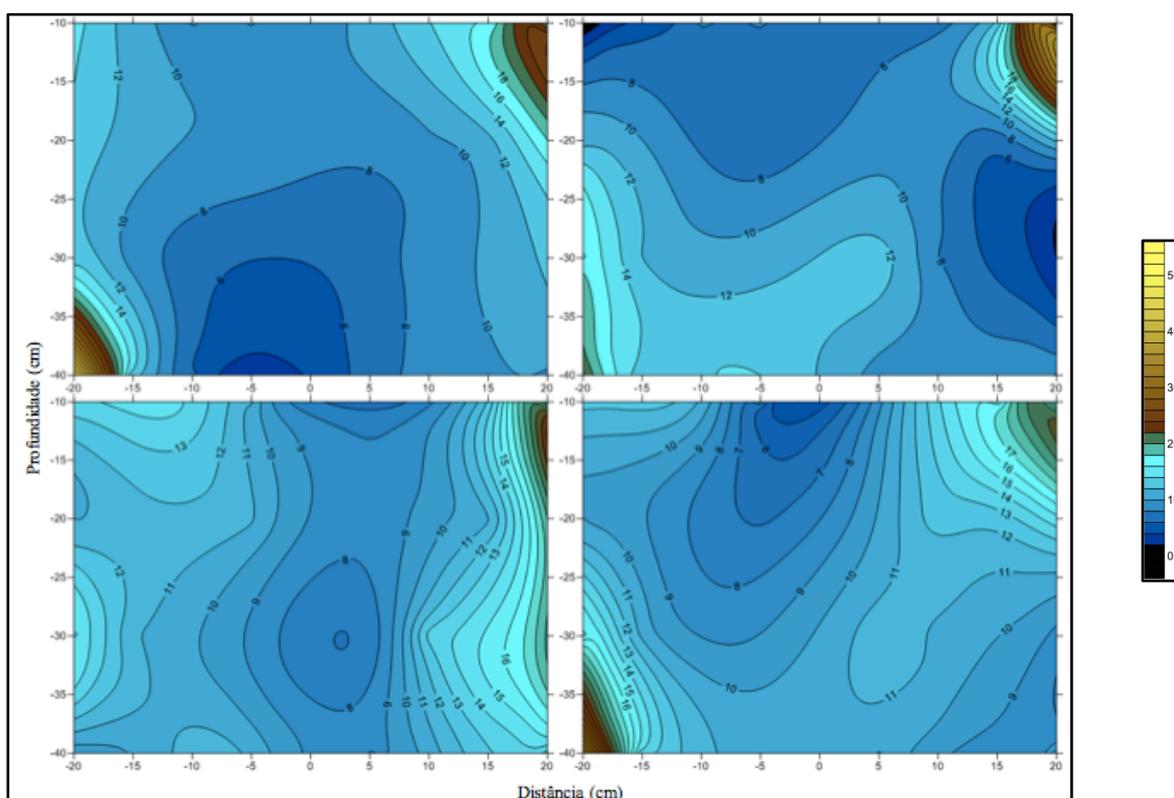


FIGURA 19. Conteúdo de água no solo 8 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Nas leituras realizadas 10 horas após a irrigação (Figura 20), nota-se que o T1 perdeu considerada umidade, conforme distanciava-se do emissor. O T2 está praticamente como há duas horas atrás, ou seja, não demonstrou perda significativa de água, o que verificamos é uma melhor distribuição do conteúdo de água disponível, melhorando assim, a uniformidade. Já no T3, encontra-se um novo ponto de emissão de água, onde na superfície, ou seja, cerca de 15 cm de profundidade, visualizamos um incremento hídrico. O T4, como nos demais tratamentos com geotêxtil não tecido, apresentou uma melhora na uniformidade e na manutenção do conteúdo de água disponível.

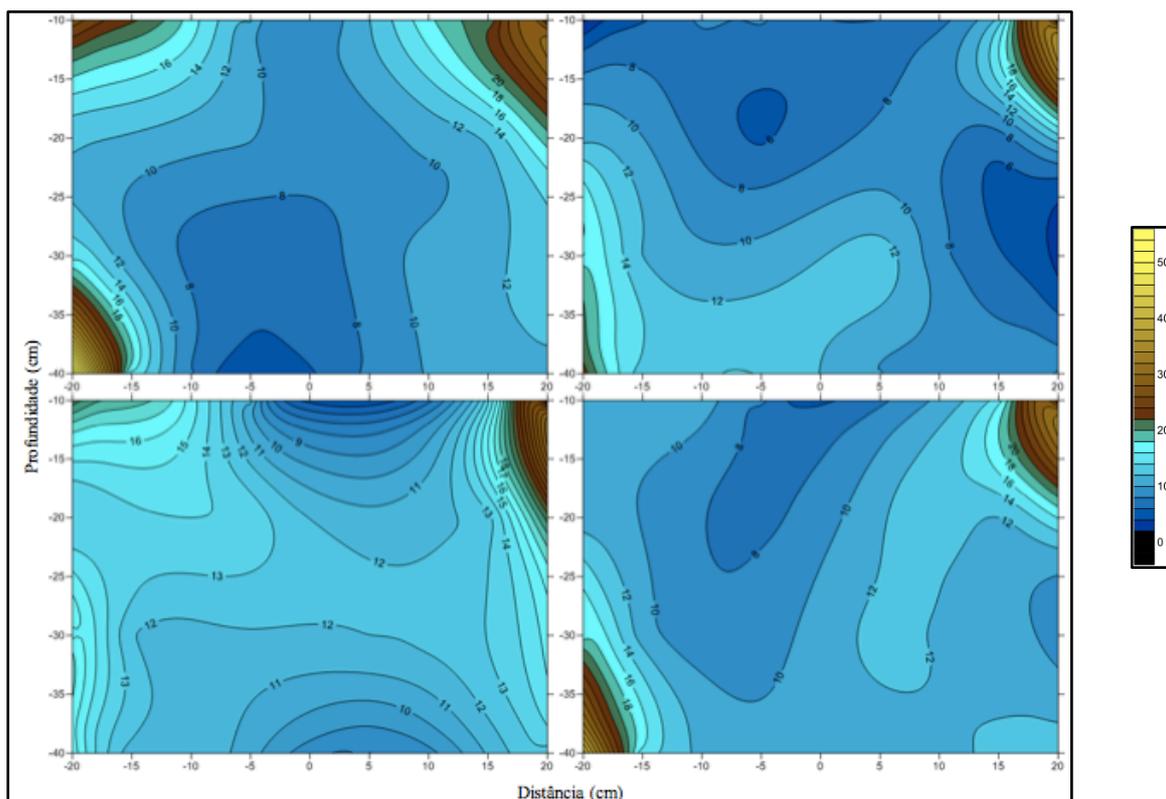


FIGURA 20. Conteúdo de água no solo 10 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Na avaliação realizada 12 horas após a irrigação (Figura 21), percebe-se que o T1 continua com a mesma tendência, ou seja, continua perdendo água na superfície e nas extremidades distantes do ponto de emissão (20 cm), além de afunilar ainda mais a umidade encontrada no centro-fundo. O T2 mostra-se mais uniformidade que nas leituras realizadas anteriormente, tal situação pode ser justificada pelo fato de na avaliação anterior (10 horas), termos identificados um aumento da umidade e, observando e analisando o comportamento dos geotêxteis até o momento, podemos inferir que o mesmo retém a umidade por um tempo maior, além de disponibiliza-lá de maneira mais uniforme, na horizontal, visto que a manta geotêxtil cobre toda a extensão do tubogotejador.

O T3 continuou com o processo iniciado na avaliação anterior, onde identificou-se um aumento da umidade, que nesta leitura (12 horas) percebe-se a distribuição deste conteúdo dentro da área. O T4 mostra uma perda de água, tanto que suas linhas neste momento estão na vertical, comprovando a observação, no entanto, esta percolação de água é baixa, pois não retira a região da capacidade de campo aceitável para nossa região (solos tropicais) (EMBRAPA, 1999).

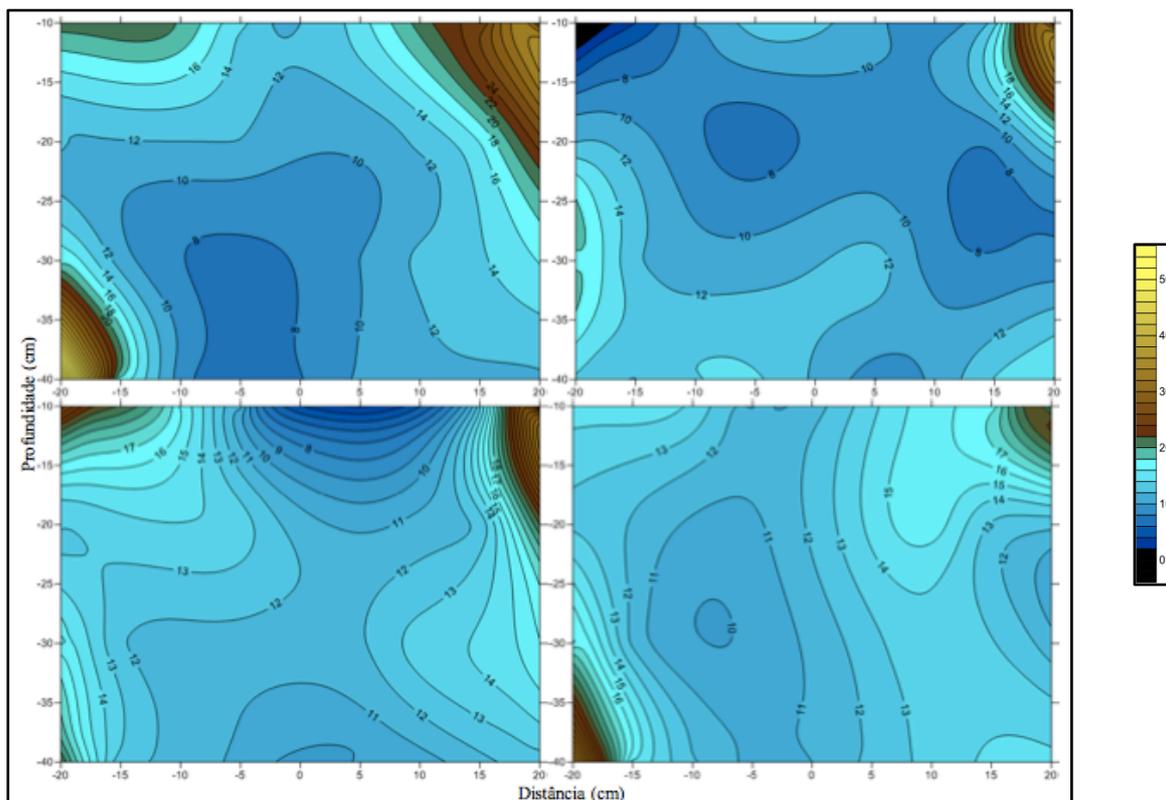


FIGURA 21. Conteúdo de água no solo 12 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Já na avaliação realizada 24 horas após a irrigação (Figura 22), ou seja, 12 horas após a leitura anterior, percebemos uma percolação intensa no T1, onde nos primeiros 15 cm não há mais zonas em capacidade de campo. Fato que não ocorreu nos tratamentos T2, T3 e T4, que mantiveram a umidade da área, demonstrando pequenas perdas (aumento de aproximadamente 2 kPa) e uniformização do conteúdo de água. De maneira geral, percebe-se que o T1 perde cada vez mais umidade na zona superficial e tende a afunilar-se conforme aumenta a profundidade e os tratamentos T2, T3 e T4, que compreendem os gotejadores com geotêxteis não tecido, mantêm a umidade e uniformidade de forma mais eficiente.

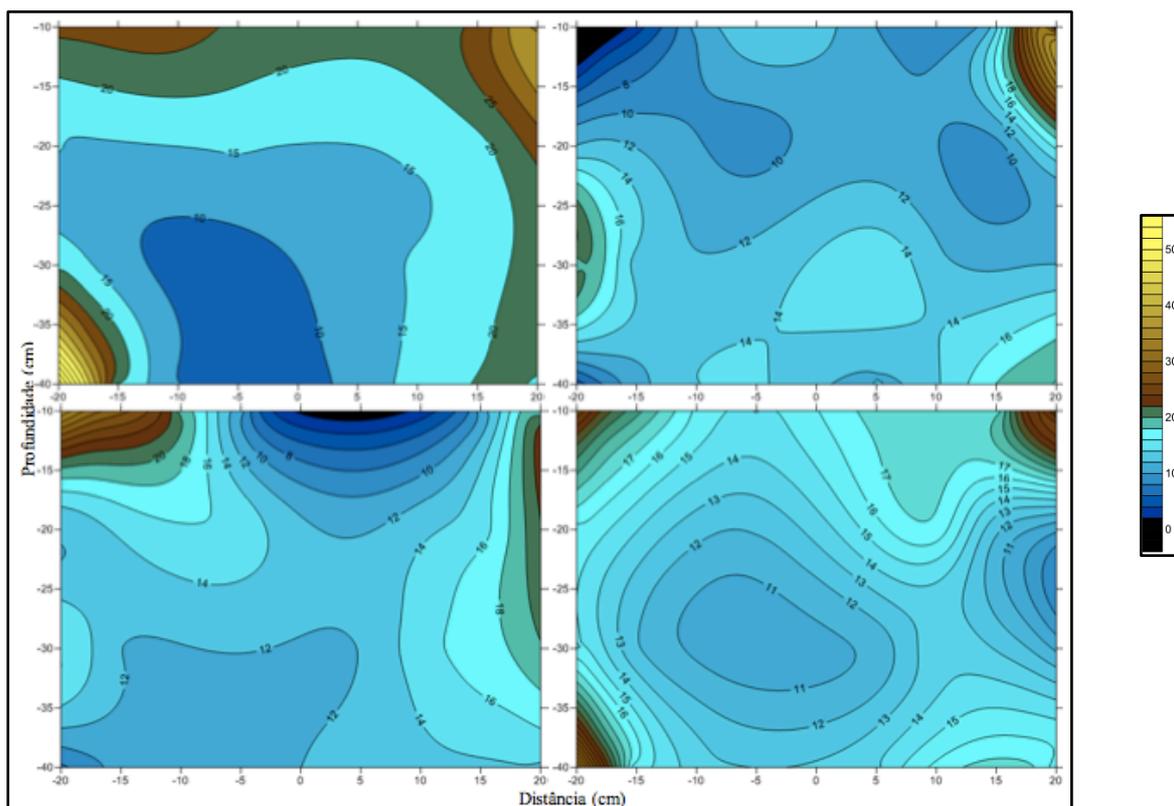


FIGURA 22. Conteúdo de água no solo 24 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Na última leitura, realizada 48 horas após a irrigação (Figura 23), fica nítido a diferença entre os tratamentos, pois no T1 verificamos alta percolação, significativa redução do conteúdo hídrico, principalmente nos primeiros 25 cm de profundidade, onde a leitura encontrada está acima de 20 kPa, que é fora da capacidade de campo, ou seja, indica momento de aplicação de irrigação para culturas de grande interesse econômico ou quando objetiva-se atingir altas produtividades.

Já nos tratamentos com geotêxteis não tecido (T2, T3 e T4), podemos observar que não houve significativa redução de umidade, quando comparado com a leitura anterior (24 horas), o que lhes atribui capacidade de retenção e manutenção de água por um período de tempo maior, quando comparados com o T1 (testemunha), que na maioria das profundidades aumentou a tensão em 10 kPa, além de demonstrar alta uniformidade do conteúdo de água, o que é importante para obtermos melhor desempenho das culturas.

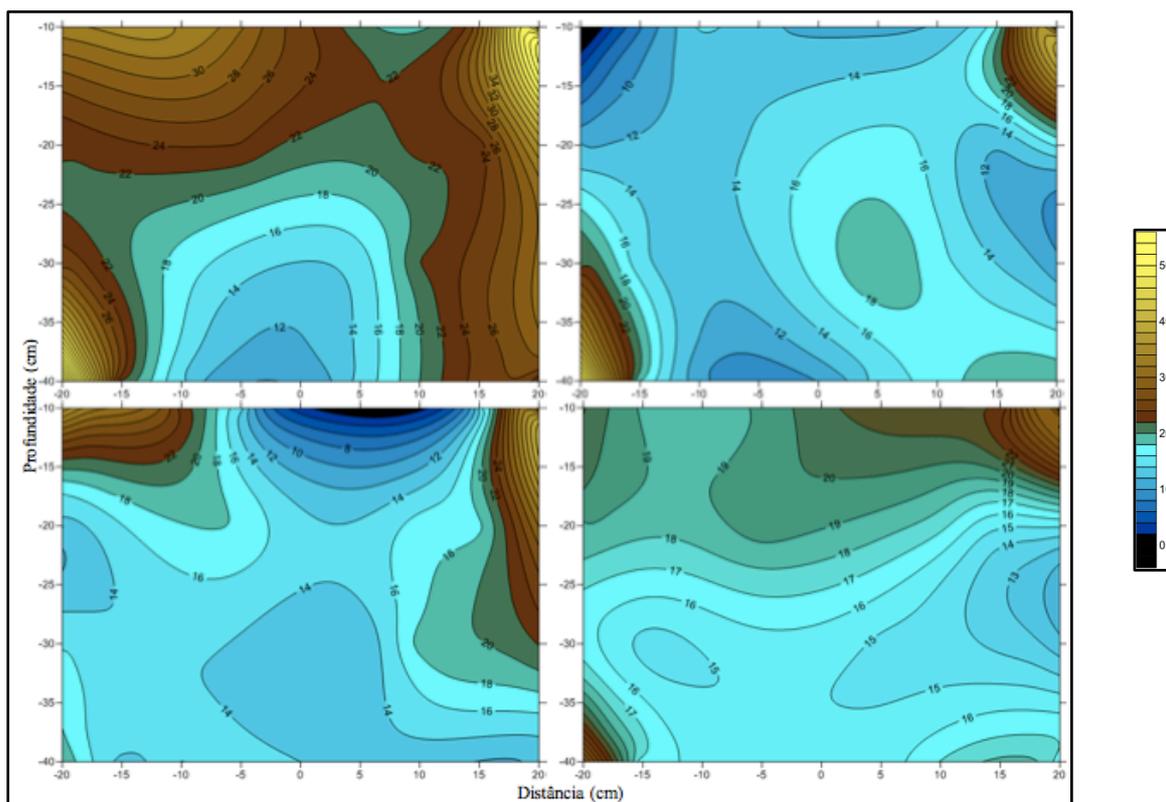


FIGURA 23. Conteúdo de água no solo 48 horas após a irrigação nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

A partir das leituras realizadas 10 horas após a irrigação, é notório que em todos os tratamentos com geotêxteis (T2, T3 e T4) o conteúdo hídrico disponível variou pouco quando comparados com T1 (testemunho), portanto, podemos concluir que a longo prazo, os materiais sintéticos proporcionam às culturas melhores condições de desenvolvimento que o testemunho, visto que mantém a umidade e tendem a fornecer uma melhor distribuição deste conteúdo hídrico, proporcionando-lhes, uma maior uniformidade.

Contudo, o fato de terem características próprias, como diferentes fluxos de água e permeabilidade, interferem no resultado final, pois ao longo das avaliações, principalmente no início, estas especificidades influenciaram na distribuição de água para o meio. Estas características nos ajudam a compreender as diferenças encontradas na avaliação do desenvolvimento vegetativo da alface, onde as variáveis com diferenças estatísticas, foram encontradas no tratamento 4 (GT N40.1), que conforme as figuras acima, é o que demonstra melhor distribuição do conteúdo de água, do início ao final das avaliações, além de visivelmente, manter tal umidade por um período de tempo maior, quando comparado ao testemunho.

O T2, por demonstrar oscilações durante o período avaliado, principalmente no início, confirma a análise estatística realizada para este tratamento no desenvolvimento da alface, onde este geotêxtil N26.1, foi responsável pelos menores valores em diversos parâmetros, o que corrobora o fato de que desuniformidade implica em prejuízos ao desenvolvimento.

Já o T1 (testemunha) indicou boa uniformidade inicial na superfície, o que corrobora os dados encontrados na avaliação da alface, onde nas primeiras avaliações (5 e 10 DAT) o testemunha atingiu bons resultados, em alguns parâmetros até superiores. No entanto, nas avaliações finais (15 e 20 DAT), tal tratamento tem uma queda no desenvolvimento, quando comparado ao T4. Isso prova que a perda notória de água mensurada em 24 e 48 horas após a irrigação, principalmente, influenciou significativamente.

Como o GTN do T4 apresenta uma espessura maior, acaba formando uma barreira saturada que mantém a pluma de saturação por um tempo maior e, como é uma estrutura planar/perimetral mantém o sistema mais uniforme. Visto que o fenômeno de evaporação é mínimo em profundidade, o GNT com maior gramatura acaba se comportando um reservatório de água para as raízes das plantas.

Outro fator que merece destaque é o fato do T1 proporcionar zonas superficiais fora da capacidade de campo, entre as irrigações, o que pode ter contribuído para a perda de desenvolvimento, constatada principalmente nas avaliações finais (15 e 20 DAT). Situação que ocorre de forma inversa no T4, onde nota-se que nos bulbos formados em 24 e 48 horas após a irrigação, a superfície da área manteve-se mais úmida e uniforme, quando comparado ao T1, o que implica em um melhor desenvolvimento, que foi comprovado pelas análises estatísticas.

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados apresentados e as análises realizadas, pode-se concluir que:

1. O GNT N 40.1 (T4) foi superior estatisticamente aos 20 DAT nos parâmetros comprimento da maior folha, número de folhas por planta, altura, maior largura entre folhas (15 e 20 DAT) e fitomassa fresca da raiz.
2. As avaliações realizadas 24 e 48 horas após a irrigação no T4, demonstraram alta uniformidade e maior conteúdo de água disponível, quando comparados ao T1 (testemunho);
3. Os tratamentos com GNT (T2, T3 e T4) mantiveram a umidade por um tempo maior, quando comparados ao testemunho - T1; e
4. Geotêxtil N 40.1 otimiza a aplicação de água pela irrigação

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tais resultados comportam-se de forma promissora, contudo, estudos complementares precisam ser realizados para que se possa validar a hipótese de que o geotêxtil N 40.1 melhora o desenvolvimento da cultura da alface, mantém a umidade por um período maior e demonstra uniformidade, o que implica em maior produtividade e redução da quantidade de água aplicada à irrigação.

Portanto sugere-se as seguintes pesquisas:

1. Avaliar a formação do bulbo com sobreposição;
2. Aplicar diferentes lâminas d'água para verificar a eficiência do uso da água; e
3. Realizar estudos para verificar se há economia de água neste sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, A. C. et al. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial,: Manejo de solo água e planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, Campina Grande, nov./dez. 2009.
- BARROS, A.C., FOLEGATTI, M. V., SOUZA, C. F.; SANTORO B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, n.6, p.700–707, 2009.
- BEN-ASHER, J.; PHENE, C.J. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. In: JORGENSEN, G.S.; NORUM, K.N. **Subsurface drip irrigation. Theory, practices and application**. Fresno: California Center of Irrigation Technology. 1993. p.185-201.
- BRANDT, A.; BRESLER, E.; DINER, N., BEN-ASHER, I.; HELLER, J.; GOLDBERGM, D. Infiltration from a trickle source: I. Mathematical models. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.35, p.683-689, 1971.
- BRUINSMA, J. **The resource outlook to 2050**: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050. Roma: FAO, 2009.
- CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation: a review. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 41, p. 1353–1367, 1998.
- CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXII, N. 1, 2013.
- CLOTHIER, B. E.; SAUER, T. J. Nitrogen transport during drip fertigation with urea. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.345-349, 1988.
- COELHO, E.F.; OR, D. Applicability of analytical solutions for flow from point sources to drip irrigation management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.4, p. 1331-1341, 1996.
- COELHO, E. F.; Or, D; SOUSA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.4, p.651-657, 1999.
- COOK, F. J. *et al.* Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, n. 9, p. 1353-1359, 2006.
- CONGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. (Org.). The dynamics of global water futures: driving Forces 2011 - 2050. Paris: Unesco, 2012. (Global water futures 2050, 02).

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Logan: International Irrigation Center, 1985, 95p.

ENCISO, J.; JIFON, J. A.; WIEDENFELD, B. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. In: **Texas: A&M University Agricultural Research and Extension Center** Weslaco Texas, ,United States, Jul. 2007.

FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Hunger. Disponível em: <www.fao.org/hunger>. Acesso em: 17 abr. 2014.

FARIA, L.F. **Variação de vazão de gotejadores enterrados na irrigação de citros e café**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FELTRIM, A. L. et al. Produção de alface americana em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 505-509, Dec. 2005.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2000. 402 p.

FREITAS, R. A. S. **Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos - fosfogesso e lama vermelha**. 2003. 122p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GIROUD, J. P. Development of Criteria for Geotextile and Granular Filters. **In: 9 INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS**, Guarujá, Brasil. 2010. 45-64.

GOLDBERG, D.; GORNAT, B.; RIMOM, D. **Drip irrigation: Principles, design and agricultural practices**. Israel: DIS publications, 1986.

HAO, A. *et al.* Estimation of wet bulb formation in various soil during drip irrigation. **Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University**, v. 01, n. 52, p. 187-193, 2007.

HERNANDEZ, M. G. R. **Proteção de gotejadores a obstrução por intrusão radicular em irrigação subsuperficial de figueiras**. 2010. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2010.

KANDELOUS, M. M.; SIMUNEK, J.; van GENUCHTEN, M. TH.; MALEK, K. Soil Water Content Distributions between Two Emitters of a Subsurface Drip Irrigation System, **Soil Science Society American Journal**, Vol. 75, Number 2, March–April, 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Chapman and Hall, 1990. 652p.

KELLER, J. **Sprinkler and trickle irrigation**. Logan: Utah State University, 1984. 133 p.

KOETZ, M.; COELHO, G.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, R. J.; SILVA, R. A. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 500-506, 2006.

LAZAROVITCH, N.; WARRICK, A.W.; FURMAN, A.; SIMUNEK, J. Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 6, p. 116-123, 2007.

LEVIN, I.; van ROOYEN, F.C. The effect of discharge rate and intermittent water application by point-source irrigation on the soil moisture distribution pattern. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.8-16, 1979.

MACCAFERRI. **MacTex**: Geotêxtil não tecido em polipropileno. 2012, CD ROM.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F., NETO, J. D. Dimensões de bulbo úmido na irrigação por gotejamento superficial **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 149-158, jan-mar, 2010.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 206-210, 2002.

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

MOLDEN, D. **Water for food, water for life**: a comprehensive assessment of water management in agriculture. London: Earthscan: International Water Management Institute, 2007.

MONTERIO, R.O.C. **Influência do gotejamento subterrâneo e do “mulching” plástico na cultura do melão em ambiente protegido**. 2007. 178 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MOREIRA, T. B. G. **Avaliação de sistemas de drenagem com geossintéticos para diminuição da umidade no minério de ferro da Serra de Carajás**. Dissertação (Mestrado em Geogenia e Transportes), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

NOGUEIRA, C.C.P.; COELHO, E.F.; LEÃO, M.C.S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 315- 320, 2000.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 211-217, 2004.

PAVCO, s. A. **Manual de Desenho con Geosintéticos**. Bogotá D. C., Colombia. 2009, 429p.

PINTO, A. E. S. **Aplicação de Geossintéticos em Linhas Férreas**: Estudo Laboratorial dos Fenômenos de Danificação Durante a Instalação e Abrasão dos Materiais. 2005. 203p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, PT, 2005.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

SILVA, C.A.; MATOS, J.A.; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A. Dimensões de bulbo úmido em solos utilizados na irrigação por gotejamento superficial: argissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: SBEA, 2003. p. 224-228.

SILVA, M. J. D.; TORRES, L. H. R.; ALVES, J. X. S. Enchente no município de São Luiz do Paraitinga - SP: Soluções construtivas utilizadas na proteção das margens do Rio Paraitinga. In: Simpósio Internacional de Ciências Integradas. UNAERP - Câmpus Guarujá, 2011.

SOUSA, V.F.; COELHO, E.F.; VILLAS BÔAS, R. Cálculo e preparo das soluções fertilizantes. In: BOARETTO, A.E.; VILLAS BÔAS, R.; SOUSA, V.F.; PARRA, I.R.V. **Fertirrigação: teoria e prática**. Piracicaba: CENA, 2006. p. 161-181.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004.

SOUZA, E.A.; COELHO, E.F.; PAZ, V.P.S.; DA SILVA, T.S.M. Distribuição da umidade num latossolo irrigado por gotejamento superficial e enterrado, com uso de tdr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: SBEA, 2003. p. 67-72.

SOUZA, S. A. M.; CATTELAN, L. V.; VARGAS, D. P.; PIANA, C. F. B.; BOBROWSKI, V. L.; ROCHA, B. H. G. Efeito de extratos aquosos de plantas medicinais nativas do Rio Grande do Sul sobre a germinação de sementes de alface. **Ciência Biologia Saúde**, Ponta Grossa, v. 11, p. 29-38, 2005.

TAGHAVI, S.A.; MARIÑO, M.A.; ROLSTON, D.E. Infiltration from trickle irrigation source. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.110, n.4, p.331-341, 1984.

TARSITANO, M. A. A.; PETINARI, R. A.; DOURADO, M. C. Viabilidade econômica do cultivo de alface em estufa no município de Jales-SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 8, n. 1, p. 99-108, 1999.

THORBURN, P.J.; COOK, F.J.; BRISTOW, K.L. Soil-dependent wetting from trickle emitters: implications for system design and management. **Irrigation Science**, Berlin, v. 22, p. 121-127, 2003.

TOLENTINO Jr., J. B. Modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

UN DESA. **United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World population prospects: the 2008 revision, highlights**. New York, 2009. (Working paper, ESA/P/WP.210).

UN WATER. **World Water Assessment Programme**. Water in a changing world: facts and figures. Paris: Unesco; Londres: Eartscan, 2009. (World Water Development Report 3).

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1 ed., São Paulo: Edgard Blucher. 2004, 413p.

WWF GLOBAL. The energy report: 100% renewable energy by 2050. Disponível em: <http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/>. Acesso em: 2 maio 2014.