

DANIEL SOARES ALVES

**DIMENSÕES DO BULBO ÚMIDO EM SOLO ARENOSO, EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES VAZÕES E TEMPOS DE APLICAÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Maringá,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, para obtenção do título de
Mestre

M A R I N G Á
Paraná – Brasil
Maio - 2010

DANIEL SOARES ALVES

**DIMENSÕES DO BULBO ÚMIDO EM SOLO ARENOSO, EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES VAZÕES E TEMPOS DE APLICAÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Maringá,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, para obtenção do título de
Mestre.

M A R I N G Á
Paraná – Brasil
Maio – 2010

DANIEL SOARES ALVES

**DIMENSÕES DO BULBO ÚMIDO EM SOLO ARENOSO, EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES VAZÕES E TEMPOS DE APLICAÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Maringá,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, para obtenção do título de
Mestre.

APROVADA em 30 de maio de 2010

Dr. Rogério Teixeira de Faria

Prof. Dr. Roberto Rezende

Prof. Dr. Paulo S. L. de Freitas

Prof. Dr. Antônio C. A. Gonçalves
(Orientador)

Deus,
A minha avó materna Percília do Espírito Santo Soares (*in memoriam*)
Aos meus pais Nelson Geraldo Alves e Sueli Soares Alves
Ao meu irmão Eduardo Henrique Soares Alves
A minha esposa, Paula Veloso e minha filha Maria Vitória, esta obra faz parte
de nossa história de vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Paula Veloso, pela compreensão, colaboração e companhia, sua presença marcante em todos os momentos.

Ao apoio incondicional de Deoclécio Nazareno do Carmo pela amizade, ensinamentos, incentivos e por acreditar em mim.

Professor Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves pela orientação concedida, amizade e incentivos para continuar a vida acadêmica avançando no doutorado.

Ao professor Roberto Rezende pelos conselhos e trocas de experiências. Professor Paulo Sérgio de Freitas pela disposição em ajudar naquilo que fosse necessário.

Ao amigo Jefferson Vieira José, aos Petianos Vítor e Daniel, ao laboratorista Reinaldo, pela colaboração na execução dos trabalhos e pelo auxílio na confecção das curvas de retenção de água no solo respectivamente.

A incansável secretária Erika pelo profissionalismo, dedicação e prestatividade.

Aos amigos (as), Iremar Rodrigues Pitangui, Erison Stroka e Thatiana Silva Dandolini, obrigado pela colaboração e compreensão durante a realização desta obra.

As amizades adquiridas, em sala de aula, ao longo desta jornada Edson Groff e Edson (Emater), Odair, Ricardo Gava, Alexandre Salvestro, Eduardo, Thaís lácono, Neuza Scherpinski, obrigado pelo companheirismo presente durante as várias fases de consolidação dos estudos, realização de trabalhos acadêmico-científicos e trocas de ensinamentos.

Aos funcionários do Centro de Tecnologia em Irrigação da Universidade Estadual de Maringá pela ajuda prestada durante a montagem e condução do experimento.

Aos colegas que aqui não foram citados, mas que em algum momento fizeram parte desta história.

À Universidade Estadual de Maringá através do Departamento de Agronomia pela formação adquirida.

ÍNDICE

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Generalidades.....	15
2.2. A cultura da estévia.....	19
2.3. Utilização da estévia	20
2.4. Mercado atual de edulcorantes naturais	21
2.5. Irrigação por gotejamento	22
2.6. Irrigação por gotejamento em subsuperfície	23
2.7. Forma e dimensão do bulbo úmido.....	24
2.8. Determinação da umidade do solo.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Local.....	31
3.2 Características do solo.....	31
3.3 Calibração das sondas.....	31
3.4 Sistema de irrigação	36
3.5 Medida da área molhada na superfície	37
3.6 Monitoramento da umidade do solo	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 – Dimensões da área molhada na superfície	40
5. CONCLUSÕES.....	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

RESUMO

ALVES, Daniel Soares. Universidade Estadual de Maringá, maio de 2010. **DIMENSÕES DO BULBO ÚMIDO EM SOLO ARENOSO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES VAZÕES E TEMPOS DE APLICAÇÃO DE ÁGUA.** Professor Orientador: Antônio Carlos Andrade Gonçalves. Professor Co-orientador: Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

A irrigação por gotejamento torna possível a obtenção de níveis muito elevados de eficiência do uso da água, desde que seja adequadamente dimensionado. Diferentes fatores interferem nas dimensões que o bulbo úmido assume, alguns são próprios do solo enquanto outros estão relacionados à engenharia do sistema, como vazão dos emissores, posicionamento dos mesmos em relação à superfície do solo, tempo e volume de aplicação da água. A estévia é uma cultura que tem ganhado, ao longo dos anos, mercados promissores em função dos açúcares, não calóricos, extraídos industrialmente de suas folhas, para adição em produtos alimentícios e bebidas principalmente. Com o propósito de se buscar elementos para o correto dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento para o cultivo da estévia em solo arenoso da região noroeste do estado do Paraná, conduziu-se este trabalho na Universidade Estadual de Maringá (UEM). Para tanto, o solo foi acondicionado em recipientes, nos quais foram instaladas sondas de TDR. Estas caixas foram submetidas a irrigações freqüentes durante um período de 8,0 horas consecutivas, com emissores de diferentes vazões (1, 2, 4, 6, 8 Lh⁻¹) dispostos em superfície e subsuperfície (0,15 m de profundidade). Os resultados apresentados permitiram avaliar as dimensões do bulbo úmido no solo. Nos tratamentos em que o emissor se encontrava na superfície, o disco saturado ideal, para atendimento das necessidades da cultura, de 0,13m², foi formado em 4,5; 3,0; 2,5 e 0,5 horas para as vazões de 1, 2, 4, 6, 8 Lh⁻¹, respectivamente, após início da aplicação de água. Quando o emissor utilizado encontrava-se em subsuperfície, estes valores poucos diferiram para as vazões de 1, 2 e 4, Lh⁻¹, porém, para as vazões de 6 e 8 Lh⁻¹ esta condição foi atendida 3,0 horas após o início da irrigação, sendo caracterizada por grandes perdas da água em profundidade. Os resultados obtidos permitiram concluir

que as combinações estudadas, entre vazão aplicada e posição do emissor, permitem a identificação de uma combinação que seja adequada para se projetar o sistema de irrigação por gotejamento para a cultura da estévia, respeitadas as características da cultura, em termos de espaçamentos e de demanda hídrica. Conclui-se também que vazões de até 4 Lh⁻¹ são mais adequadas, particularmente com emissor posicionado na superfície. Utilização de maiores vazões, particularmente com emissores enterrados, tem grande potencial para promover inaceitáveis perdas por percolação, devendo ser evitadas.

Palavras chave: TDR, irrigação por gotejamento, solo arenoso

ABSTRACT

ALVES, Daniel Soares. Maringá State University, May 2010. **WET BULB DIMENSION IN SAND SOIL IN FUNCTION OF DIFFERENTS RATES AND TIMES OF WATER APPLICATION.** Advisor: Antônio Carlos Andrade Gonçalves. Co-Advisor: Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

The drip irrigation prompt application of water makes it possible to obtain a very high efficiency of water use, provided it is properly scaled. There are several factors that directly interfere in the movement of soil water, some factors influence the way that the wet bulb takes. Some are from the soil itself, such as soil texture, soil density and structure, among others. Others are related to the system itself, such as flow rate of emitters, positioning them in relation to the soil surface, time and volume of water application. Stevia is a culture that has gained over the years, promising markets in terms of non-caloric sugars, industrially extracted from its leaves, to be added in food and beverage products mainly. This work was conducted at the State University of Maringá (UEM) aiming to seek evidence for the correct sizing of drip irrigation systems for stevia cultivation in sandy soil in the region of northwest in Paraná state. Thus, the soil was packed in containers, in which TDR probes were installed. These cases were subjected to frequent irrigations during a period of 8.0 consecutive hours, with emitters of different flow rates (1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 Lh^{-1}) arranged on the surface and subsurface (0.15 m depth). The presented results allowed evaluating the dimensions of wet bulb in the soil. In treatments in which the transmitter was on the surface, the ideal saturated disk for meeting the needs of the culture was formed at 4.5, 3.0, 2.5 and 0.5 hours for the flow rates of 1.0, 2, 0, 4.0, 6.0, 8.0 Lh^{-1} , respectively, after the beginning of water application. When the used emitter was in the subsurface, these little values differed for the flow rates of 1.0, 2.0, 4.0 Lh^{-1} , but for the flow rates of 6.0 and 8.0 Lh^{-1} this condition was met 3.0 hours after the beginning of the irrigation, being characterized by large losses of water mainly in depth. The obtained results showed that the studied combinations between flow application and the position of the emitters, allow the identification of a combination that is suitable for designing the system of drip irrigation for the stevia cultivation, respecting

the culture characteristics, in terms of spacing and water demand. It is also concluded that flows up to 4.0 Lh^{-1} are more appropriate, particularly with located transmitter on the surface. Use of higher flow rates, particularly with buried transmitters, has great potential to promote unacceptable percolation losses and therefore should be avoided.

Keywords: TDR, drip irrigation, sand soil

1. INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados ao manejo de água em sistemas agrícolas, particularmente aqueles que envolvem a aplicação de técnicas de irrigação, têm tido relevância crescente, tanto para o meio científico quanto para técnicos e produtores em geral. Dentre as razões para isto, destaca-se a importância destinada à preservação da água na natureza, em condições compatíveis com a utilização pelo ser humano, para os diversos fins.

A irrigação localizada caracteriza-se como um método de irrigação cuja aplicação é mais recente que a dos demais métodos e tem sua fundamentação na perspectiva de se aplicar água apenas na região explorada pelo sistema radicular de cada planta, em pequenas taxas, porém com grande frequência, de forma a minimizar perdas e otimizar a oferta de água para a planta. Para isto, a água precisa ser conduzida em sistemas complexos de condutos, aplicadores, filtros, dosadores, os quais, inicialmente, implicavam em custos elevados o bastante para sinalizar a inviabilidade econômica do método.

Vários são os fatores que interferem diretamente no movimento da água no solo, o que torna a dinâmica de água neste sistema algo complexo, dificultando a sua descrição. Quando se trata de distribuição de água em um solo inicialmente seco, a partir de uma fonte pontual de aplicação, tem-se a formação de um corpo tridimensional de solo úmido, denominado bulbo molhado ou úmido. Esta denominação decorre do fato de que a água parte do ponto de aplicação de água e se distribui horizontalmente, em função do gradiente de potencial matricial e, principalmente, no sentido vertical, em função do gradiente de potencial gravitacional somado ao de potencial matricial. Isto faz com que o volume de solo molhado adquira um formato de um bulbo.

Alguns fatores interferem na forma que o bulbo úmido assume. Alguns são próprios do solo, como a textura, a densidade do solo e a estrutura, dentre outros. Outros são relacionados com o sistema em si, como vazão dos emissores, posicionamento dos mesmos em relação à superfície do solo, tempo e volume de aplicação da água. Para se definir as dimensões adequadas do volume de solo úmido, fatores inerentes à cultura, como

profundidade do sistema radicular, arranjo espacial e valor agregado do produto, devem ser considerados. Todas as variáveis em questão devem ser observadas em conjunto para se dimensionar corretamente o sistema de irrigação localizada.

A estévia é uma cultura que tem ganhado, ao longo dos anos, mercados promissores em função dos açúcares não calóricos extraídos industrialmente de suas folhas para adição em produtos alimentícios e bebidas, principalmente. Apesar da grande expansão global da demanda por estévia, o maior problema é a garantia do fornecimento de matéria-prima com fluxo e qualidade para as empresas, uma vez que as informações técnicas relacionadas ao cultivo são escassas e limitam a produção em pequenas áreas, sem condições de rastreabilidade do produto final.

Para o crescimento dos cultivos em larga escala é necessário tecnologia adequada, sobretudo em irrigação, que possa garantir incrementos de produtividade e qualidade das lavouras comerciais. Neste contexto, vários são os trabalhos que buscam identificar as dimensões dos bulbos úmidos, em solos de diferentes classes de textura, criando referências e tabelas como ferramentas auxiliares para o correto dimensionamento de projetos de irrigação por gotejamento. Não obstante, as áreas para expansão dos cultivos necessitam apresentar algumas características essenciais ao sucesso dos arranjos produtivos como topografia favorável, disponibilidade de energia elétrica e, principalmente, água em quantidade e qualidade para atender os projetos de irrigação e as necessidades hídricas da cultura.

A região noroeste do estado do Paraná, particularmente nas áreas dotadas de solos arenosos, oriundos do chamado arenito Caiuá, apresenta condições favoráveis à implantação desta cultura, em escala comercial, mas demonstra que a irrigação é essencial. No entanto, resultados preliminares obtidos para o cultivo da estévia irrigado por gotejamento, nestes solos arenosos, não foram satisfatórios, em termos de fornecimento de água e nutrientes. A inadequação do sistema refletiu em alta mortalidade nos estádios iniciais da lavoura e em baixas produtividades, ao longo do ano agrícola. Estes resultados evidenciaram a necessidade de se levar em conta as características da planta e do solo, para o adequado dimensionamento do sistema de aplicação de água e nutrientes.

Em geral, os resultados desfavoráveis obtidos com irrigação localizada, nestas circunstâncias, decorrem do dimensionamento inadequado, o que leva a aplicação de água estar em desconformidade com os aspectos inerentes à cultura. Dentre estes aspectos pode-se citar, em especial, o arranjo espacial e a profundidade do sistema radicular. Em decorrência deste desconhecimento, é freqüente a utilização inadequada do sistema, em termos de vazão do emissor, do posicionamento deste em relação à planta, bem como do tempo de aplicação de água. Sendo assim, aumentar a eficiência do sistema de irrigação consiste em identificar os fatores que, associados à cultura em questão e à engenharia do sistema, podem ser mais bem manejados. Este manejo deve buscar a melhoria das condições de fornecimento de água e nutrientes para as plantas, na região onde se concentra a maior parte do sistema radicular, sem perdas excessivas desta água, lateral e verticalmente.

Uma das grandes limitações associadas ao estudo das dimensões do bulbo úmido em sistemas agrícolas irrigados consiste na identificação da distribuição da umidade no solo, no espaço, ao longo do tempo, a partir de uma fonte de aplicação. A técnica de TDR (Time Domain Reflectometry) é revolucionária neste sentido, por permitir o monitoramento preciso do conteúdo de água no solo, de forma não destrutiva, com a possibilidade de se replicar intensamente as medidas, no espaço e no tempo. Para isto, basta que sejam utilizadas sondas em quantidade suficiente e que o sistema, utilizado em modo automático, repita as leituras com a freqüência necessária ao longo do tempo.

Assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de se estudar a dimensão do bulbo úmido em solo arenoso em função de diferentes vazões e tempos de aplicação de água neste solo arenoso da região noroeste do estado do Paraná, a partir de fonte pontual de aplicação de água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

A crescente demanda por alimentos e por produtos de origem vegetal tem levado cientistas, técnicos e produtores agrícolas à busca incessante por métodos de produção mais elaborados. Dentre as diversas tecnologias desenvolvidas com o propósito de se incrementar produção e produtividade, pode-se destacar a irrigação. Tendo como propósito manejar água em quantidade adequada e no momento oportuno, esta técnica faz parte dos recursos utilizados pelo ser humano há milênios. Com o avanço do conhecimento, notadamente a partir da segunda metade do século XX, esta técnica experimentou excepcional evolução, tendo sido desenvolvidos métodos e estratégias de ação mais eficazes.

A irrigação, tendo experimentado considerável avanço em seus procedimentos, contou também com enorme avanço em termos de utilização do recurso natural de importância fundamental para o ser humano, a água. Assim, o crescimento da demanda consolidada pela irrigação, em relação a este recurso, tem promovido intensa busca pelo incremento da eficiência, uma vez que a preservação e a utilização racional deste recurso é um dos paradigmas essenciais da humanidade, no momento atual.

Neste sentido, o desenvolvimento do método de irrigação localizada ganhou grande relevância, pois, em princípio, neste método pode-se atender integralmente a demanda de água pela cultura, utilizando-se da forma mais racional o recurso água. Ou seja, este método pode promover a utilização da água com os mais elevados níveis de eficiência. Apesar do seu potencial de qualidade, no entanto, suas limitações estiveram e ainda estão associadas aos altos custos geralmente envolvidos na instalação dos sistemas.

As principais pesquisas em relação a este método de irrigação tiveram início em meados de 1960. Neste período, um dos sistemas de irrigação utilizados era combinado com um sistema de drenagem, utilizando tubos porosos, construídos com argila.

Segundo Robey (1934), em 1920 as técnicas de irrigação localizada obtiveram grandes avanços. Na Alemanha, foi introduzido o conceito de uso de

tubos perfurados, enquanto nos EUA tubos porosos foram utilizados para os primeiros testes de irrigação em subsuperfície na Universidade do Estado de Michigan.

As pesquisas foram centralizadas na utilização de tubos porosos provenientes de distintos materiais objetivando o controle da taxa de aplicação de água nos diferentes sistemas pedológicos. Paralelamente a estas pesquisas, experimentos foram também desenvolvidos na Alemanha, antiga União Soviética e França.

Na busca pelo contínuo aprimoramento da técnica de micro irrigação, grandes avanços ocorreram, também, após a segunda Guerra Mundial. A partir de 1940, foram desenvolvidos sistemas utilizando tubos plásticos como base para irrigação, inicialmente, com objetivo de uso em casas de vegetação. Nos anos de 1963 e 1964, o avanço científico foi marcado pelo início de publicações especializadas referentes às técnicas de micro irrigação em Israel e EUA, respectivamente (LAMM, 2007).

Geralmente, a irrigação localizada necessita, para sua operação, de mão-de-obra especializada, em função da maior tecnologia utilizada neste sistema. Neste caso, em função da automação, a aplicação da água de irrigação, assim como a aplicação de nutrientes e de agroquímicos pode ser realizada com maior eficiência. Esta automação compreende desde a abertura e fechamento das válvulas de irrigação, conforme programação prévia, até a regulação, monitoramento e manutenção dos fertilizantes requeridos, assim como da condutividade elétrica e pH da solução nutritiva.

Conforme as técnicas foram sendo refinadas pelos pesquisadores, a irrigação localizada tornou-se mais acessível aos agricultores, viabilizando a utilização deste sistema em culturas perenes, frutíferas, hortaliças e plantas ornamentais. Atualmente, a abrangência de culturas passíveis de uso desta tecnologia se estende a espécies anuais, como milho e algodão.

Polak (1997) relata que, com a expansão e consolidação das técnicas desenvolvidas para irrigação localizada é possível alcançar redução dos custos da ordem de 90% na implantação dos projetos, redução esta, em função dos avanços tecnológicos e maior difusão do método entre os agricultores. São várias as vantagens do uso da micro irrigação. Segundo Phene et al. (1993), ocorre uso mais eficiente da água tanto na aplicação quanto na utilização pela

planta, refletindo em maiores produtividades. Neste caso, a água é fornecida no local onde o sistema radicular das plantas está mais concentrado, sendo esta água aplicada com técnicas de manejo adequadas. Pode-se também evitar perdas por percolação profunda, de água e nutrientes, principalmente. Shalhevet (1994) relatou a possibilidade do uso de água salina na micro irrigação, sem maiores danos para a produtividade das culturas, devido à estabilidade da solução garantida pela alta frequência de aplicação, tornando os sais mais diluídos. Além disso, os danos causados pelo contato entre água salina e parte aérea da cultura deixam de ocorrer.

Outra vantagem deste sistema está relacionada com o menor requerimento energético podendo, em casos específicos, ser até possível sua implantação considerando a declividade da área como fator favorável à irrigação por gravidade. (LAMM, et al., 2007).

Segundo Medeiros et al., (2007), o suprimento de água é um dos fatores que mais limita o crescimento e desenvolvimento das plantas e a forma como é fornecida via irrigação é de grande importância, pois, além de influenciar na distribuição de água, influencia também a aplicação de nutrientes essenciais ao crescimento dos vegetais.

Miller (1990) infere que a tecnologia da irrigação localizada apresenta ainda algumas dificuldades relacionadas à uniformidade de aplicação de água e manutenção da vazão. Entretanto, Bernardo (2006) afirma que o limite mínimo aceitável para o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na prática, em sistemas de irrigação por gotejamento, deve ser de 80%. Wu e Gitlin (1975) relataram que níveis de aplicação de água acima de 90% de uniformidade podem ser facilmente alcançados em irrigações localizadas.

No sentido de elucidar o movimento da água no solo, Reichardt (1990), conceitua o bulbo úmido como sendo o volume de solo molhado a partir de um ponto de referencia, no qual água é aplicada, estando o solo relativamente seco e sendo submetido a um processo de infiltração de água. A interface observada entre o solo úmido e o solo seco é o que caracteriza a frente de molhamento. Este fenômeno, porém, torna-se mais difícil de ser observado quanto mais úmido estiver o solo, apresentando-se de forma difusa. De acordo com o mesmo autor a força que regula o avanço da água no solo é tridimensional e o equilíbrio destas três forças atuantes juntamente com os

potenciais capilares e gravitacionais é responsável pelo volume de solo umedecido.

A caracterização do bulbo úmido, em função da aplicação de água por uma fonte pontual de emissão é uma ferramenta imprescindível para determinação de quando e quanto irrigar, visando o dimensionamento adequado de projetos de irrigação. A conformação assumida pelo bulbo úmido no solo apresenta também, relação direta com a distribuição de nutrientes, o que torna ainda mais relevante sua caracterização e dimensionamento, principalmente para o manejo da fertirrigação. Esta informação é confirmada pelos estudos de Li e Zhang (2004). Estes autores avaliaram, além da dinâmica da água em solo de diferentes texturas, arenoso e argiloso, a distribuição do íon nitrato no bulbo úmido e concluíram que independente do volume e taxas de aplicação da água, o íon tende a apresentar maior concentração nas extremidades do bulbo.

A caracterização das dimensões do bulbo úmido pode ser realizada a partir do emprego de diferentes metodologias. Em quaisquer circunstâncias, no entanto, faz-se necessária a identificação criteriosa dos valores de umidade do solo, em diferentes posições no espaço e ao longo do tempo. Estas medidas podem ser realizadas de forma direta, sendo exigidos cuidados na tomada de dados para se evitar erros de avaliação. Podem ser também realizadas por meio de métodos indiretos, quando então estes devem ser calibrados, de forma a se assegurar estimativas adequadas do conteúdo de água do solo. Dentre as opções para a medida indireta da umidade do solo, destaca-se a técnica de TDR (Time Domain Reflectometry) ou Reflectometria no Domínio do Tempo. Baseada no tempo de percurso de uma onda eletromagnética em sondas inseridas no solo, este método não destrutivo permite leituras de umidade de forma automatizada e em pequenos intervalos de tempo, favorecendo um estudo mais preciso do movimento da água no perfil do solo, ao longo do tempo (TOMMASELLI, 1997).

Fellner & Feldegg (1969) foram os pesquisadores responsáveis pelos primeiros estudos utilizando a técnica de TDR para obter, através de uma única medida, a velocidade de propagação de um pulso eletromagnético e o tempo gasto para este percurso. Esta medida garante a informação necessária para

estimativa da umidade do solo com base na sonda guia instalada diretamente no mesmo.

Esta técnica apresenta vantagens como precisão, método não destrutivo, não utilização de energia ionizante, possibilidade de acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras, pouca influencia dos aspectos texturais do solo, da densidade e salinidade. (TOPP; DAVIS; ANNAN, 1980; COELHO; OR; 1996).

A adoção do sistema de irrigação por gotejamento na maioria das vezes é limitado pelos altos custos do investimento inicial. De acordo com Camp (1998), além do custo inicial, é necessário avaliar a disponibilidade e a qualidade da água na propriedade, o valor agregado representado pela matéria-prima que será produzida e características físicas do solo. Estas são informações necessárias para se realizar, no curto prazo, uma análise de viabilidade econômica para a seleção de um sistema de irrigação apropriado.

Outros fatores relacionados à implantação de projetos de irrigação por gotejamento que se destacam como desvantagens, não propriamente ligados aos custos, são aqueles relativos à ausência de conhecimentos dos processos envolvidos na infiltração, distribuição e redistribuição da água no solo (SHIRIVASTAVA, et al., 1994).

2.2. A cultura da estévia

De acordo com Gentry (1996) existem cerca de cento e cinquenta a duzentas espécies de estévia. Trata-se de uma planta herbácea perene, semi-ereta, com altura variando entre 0,40 a 0,80m e com grande número de ramificações e folhas simples. As flores são de coloração esbranquiçada, compondo pequenos capítulos terminais.

Os primeiros estudos sobre estévia tiveram início por volta do ano de 1900. Em 1931 foram identificados os constituintes químicos responsáveis pelas propriedades adoçantes existentes nas folhas, sendo estes pertencentes à classe dos glicosídeos. Análises fitoquímicas identificaram em média 5 a 10% de esteviosídeo e 2 a 4% de rebaudiosídeo e dulcosídeo (LIMA FILHO et. al, 2004).

A planta apresenta raízes fibrosas, com elevado grau de ramificação, dispostas nas camadas superficiais do solo, geralmente não ultrapassando 0,20m de profundidade. Este é o único órgão da planta a não apresentar esteviosídeo (DE VARGAS, 1980).

O desenvolvimento do sistema radicular apresenta dois padrões distintos. Inicialmente a raiz é pivotante e, posterior ao primeiro corte, a mesma apresenta-se fasciculada, distribuindo-se sobre camadas mais superficiais do solo (SUMIDA 1980). Segundo o mesmo autor, as raízes finas são abundantes nas proximidades da superfície do solo, enquanto raízes mais grossas tendem a aprofundar um pouco mais.

A planta é considerada perene sendo que, a longevidade dos cultivos e o vigor da rebrota, após cada colheita, ocorre em função da manutenção adequada do sistema radicular ao longo do período produtivo (FUNCFOS, 2008).

Em função do seu comportamento fisiológico, dependente da quantidade de luz que recebe, é considerada uma planta de dia curto com fotoperíodo crítico de 13 horas, ou seja, com fornecimento de luz acima de 13 horas a planta apresenta crescimento vegetativo, abaixo deste valor ocorre desenvolvimento reprodutivo mais rapidamente (LIMA FILHO et. al, 2004).

2.3. Utilização da estévia

O Japão se destaca pelo uso do esteviosídeo como edulcorante alimentício desde 1970, em bebidas, estando presente atualmente em cerca de 41% deste mercado, com um consumo de mais de 85 toneladas ao ano. Em meados de 1987 foi aprovado no Brasil a utilização do esteviosídeo como agente flavorizante e edulcorante em várias classes de alimento. Nos Estados Unidos houve sua aprovação para uso em suplementos dietéticos a partir de 1996 (CÂNDIDO, 1996).

De acordo com Lima Filho et. al (2004), a planta além de servir como adoçante não calórico é considerada hipoglicemiante, hipo-tensora, diurética e cardiotônica. Vários estudos validaram cientificamente o uso da estévia para tais finalidades inclusive pelos EUA.

Segundo Casaccia (2006), as folhas são utilizadas na medicina popular na forma de infusão ou em estado natural, além disso, são a base para extração dos cristais de esteviosídeo pela indústria. Os talos apresentam funções agrícolas na alimentação animal e fertilização respondendo por menores teores do açúcar.

Dados experimentais concluíram que em média a produção de folha seca por plantas de estévia é de 4.000 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ para Katayama (1976) a biomassa total é distribuída na planta considerando 26% raízes, 35% talos, 39% folhas.

2.4. Mercado atual de edulcorantes naturais

Dentre as várias espécies de hortaliças, o cultivo da estévia apresenta-se como alternativa produtiva, visando o mercado de adoçantes naturais, emergente no contexto global.

A crescente demanda, imposta pelos consumidores, por produtos mais saudáveis forçou, nos últimos anos, grandes empresas multinacionais à diversificação de seus produtos, visando atender os consumidores mais exigentes.

Neste contexto algumas alianças entre Cargill e Coca-Cola, Pepsico e Merisant, em busca da diversificação dos produtos oferecidos, iniciaram uma procura por matéria-prima da qual as plantas de estévia formam a base do processo produtivo. Estas empresas também foram as primeiras a obterem aprovação do órgão regulador americano, FDA (Food Drug Administration).

Outras companhias americanas de grande porte que estão buscando consolidar parte de seus produtos com o uso da estévia são: Pure Circle em parceria com PepsiCo e Whole Earth Sweetener, todas elas, visando a expansão do portfólio dos produtos alimentícios e de bebidas, principalmente.

Atualmente, 32.000 hectares são cultivados com estévia no mundo sendo que a China representa 75% desta área cultivada. Acredita-se que nos próximos 3 anos produtores indianos também tenham cultivos em maior escala, para atendimento da demanda criada por mercados emergentes.

Pesquisas apontam um valor de mercado mundial potencial para consumo de edulcorantes em torno de 2,5 a 3 bilhões de dólares, com uma taxa de

crescimento médio anual de 4%. Acredita-se que o consumo de edulcorantes naturais represente, em média, 5% deste consumo global.

Neste contexto, a estévia figura como uma cultura em potencial para abastecer as demandas do mercado atual. Nos EUA o mercado destinado ao uso de produtos à base de estévia está estimado em US\$ 60 milhões, podendo este valor ser até três vezes maior, após a aprovação de uso por órgãos específicos do ministério da agricultura americano (FDA).

Estima-se que a produção mundial de folhas de estévia esteja em torno de 40.000 toneladas, sendo 80% deste valor proveniente da China, seguido por Paraguai e outros países como Índia, Tailândia, Kênia, Brasil, Colômbia e Argentina. Por outro lado, os principais mercados consumidores são representados por Japão, Coréia e EUA.

2.5. Irrigação por gotejamento

Alguns autores classificam este tipo de irrigação como micro irrigação. A implantação do sistema no campo pode ser feita de forma a se ter o emissor posicionado na superfície ou na subsuperfície do solo. A instalação do emissor na superfície é, geralmente, a forma mais comum.

Os avanços experimentados na utilização desta técnica, aliados aos resultados obtidos em trabalhos de pesquisa, têm demonstrado que a irrigação por gotejamento, utilizando emissor em subsuperfície, tem se apresentado como uma alternativa dentre os métodos de irrigação localizada avançada, em aplicações que exigem pequenas taxas aplicação de água em um regime de alta frequência (PATEL, 2006).

Neste contexto, a irrigação localizada constitui uma estratégia de relevância, por aplicar água no solo diretamente na região de maior concentração do sistema radicular das culturas e em pequenas quantidades, variáveis de 1 a 10 litros por hora, sob regime de alta frequência, possibilitando que o solo fique com seu status hídrico próximo à capacidade de campo. Neste cenário, torna-se possível que a cultura se desenvolva, segundo seus estádios fenológicos, com fornecimento de água em quantidades adequadas (DASBERG E BRESLER 1985).

O conceito de irrigação localizada como técnica deve ser considerada dentro de um amplo espectro agrônômico que se estende desde o suprimento de água para a cultura considerando adubação, salinidade, doenças, variedades selecionadas e estágio fenológico. Somente assim, torna-se possível maximizar a produção agrícola obtendo efeitos significativos por área e por água consumida, com produto final de melhor qualidade (BERNARDO, 2006).

A água apresenta-se em constante movimento no perfil do solo, sendo este movimento dependente de diversas variáveis intervenientes no processo, tais como a sua taxa de aplicação, a densidade e a textura do solo, a profundidade do sistema radicular e os padrões de absorção de água pelas plantas. A combinação destes efeitos resultam na dinâmica de água e sua distribuição no solo (WARRICK, et al., 2007).

O movimento de água define uma frente de molhamento no solo, formando um bulbo úmido. Nesta região do perfil do solo, a umidade apresenta-se adequada para o desenvolvimento radicular da cultura, em sistemas bem planejados e manejados.

2.6. Irrigação por gotejamento em subsuperfície

A irrigação em subsuperfície tem se consolidado como uma das técnicas de irrigação localizada mais avançadas no meio agrícola. Nesta forma de aplicação de água, os emissores estão localizados abaixo da superfície do solo. Assim como na irrigação por gotejamento em superfície, esta técnica é adequada para projetos que exigem pequenas quantidade de água e alta frequência de aplicação. No entanto, por algumas razões, opta-se por enterrar o sistema.

Este sistema quando comparado ao gotejamento superficial apresenta, segundo Camp (1998), a vantagem de reduzir as perdas por evaporação da água, a partir da superfície do solo, bem como a possibilidade de evitar o escoamento superficial. ORON et al., (1991) apresentam também a possível flexibilidade do uso de máquinas agrícolas e maior disponibilidade de nutrientes, principalmente os poucos móveis no solo, para a planta, em função do fato de que o ponto de emissão se encontra mais próximo do sistema

radicular. Para PHENE (1993), a transmissão de doenças, principalmente causadas por fungos e bactérias, torna-se reduzida e, além disso, viabiliza-se o uso de águas residuárias.

De acordo com Lazarovith (2001), um sistema de gotejamento pode ser adequadamente projetado e manejado desde que se conheçam as variáveis intervenientes no processo de aplicação, armazenamento e movimento de água no solo. Dentre estas variáveis pode-se destacar o tipo de emissor, a sua vazão, a característica do solo e demais variáveis relacionadas com o movimento de água do solo para a planta e atmosfera. Para a definição de um ambiente adequado ao desenvolvimento das plantas, é fundamental a escolha de emissores e valores adequados de vazão dos mesmos, o que pode ser entendido como uma etapa básica da elaboração de um projeto de irrigação por gotejamento.

Um dos maiores desafios, considerando a irrigação localizada em subsuperfície, está na fase de estabelecimento das culturas, principalmente para culturas implantadas no campo a partir de sementes. Neste caso, é necessário que se considere a distância entre fonte de água e a semente, a demanda evaporativa e a condutividade hidráulica do solo, aspectos totalmente dependentes da estrutura e da umidade inicial do solo. Outro fator a ser considerado está associado ao tamanho do sistema radicular apresentado pela cultura (BURT et al., 1994). No Brasil, a irrigação localizada em subsuperfície tem ganhado força nos últimos quinze anos, tendo sido utilizada, principalmente, para culturas como milho e algodão (LAMM et al., 2007). Outra opção de uso deste sistema na agricultura tem sido em culturas de elevado retorno econômico, como hortaliças e algumas espécies frutíferas. Neste caso, são ainda escassas as informações científicas e os coeficientes técnicos que confirmam a maior ou menor vantagem da adoção desta técnica para estas culturas. (COELHO; OR; SOUZA, 1999).

2.7. Forma e dimensão do bulbo úmido

A dinâmica de água no solo, a partir de uma fonte pontual de aplicação de água, é complexa e depende de um grande número de variáveis, por vezes de difícil mensuração. Assim, as dimensões de um bulbo úmido formado a

partir de uma fonte pontual de água dependem das características do solo, notadamente da sua textura. Desta forma, antes de se projetar um sistema de irrigação por gotejamento, é essencial que se avalie, experimentalmente, a formação do bulbo úmido neste solo, a partir de diferentes emissores, com diferentes vazões, com diferentes tempos de aplicação de água. A partir das informações obtidas em campo, identificar-se-á características mais adequadas do sistema, tais como o espaçamento entre emissores e as características destes, de forma a compatibilizar o sistema com as características da cultura a ser irrigada. Caso esta adequação do sistema às características da cultura e do seu arranjo espacial no campo não seja feita, pode-se ter eficiências muito baixas de utilização de água. LAMM et al. (2007) discutem estes aspectos de forma elaborada.

Para o cálculo de um projeto de irrigação por gotejamento é necessário conhecer o volume ou superfície do solo que deve ser umedecida para melhor desenvolvimento da cultura e atendimento ao perfil radicular existente com água e nutrientes.

De acordo com Keller e Bliesner (1990), pode ser considerado ideal uma percentagem mínima de molhamento inferior a 67% em regiões de clima árido e superior a 33% para regiões menos dependentes de irrigação. Estes valores, porém, não estão bem estabelecidos e são dependentes, além das condições físicas do solo, da cultura a ser implantada.

Estudos conduzidos por Phene (1993), evidenciaram que ao utilizar emissores na subsuperfície é possível que o solo apresente até 46% de volume e 62% da área de interface de umedecimento superior em relação ao emissor disposto na superfície.

De acordo com estudos de Earl e Juri (1997), uma frequência de irrigação semanal apresentou distribuição de água no solo melhor em comparação com irrigações diárias. Neste mesmo estudo, os autores relataram movimento de água lateralmente de 0,60m e 1,00m para irrigações diárias e semanais e profundidade média da frente de molhamento de 0,60 e 0,75m respectivamente.

Entretanto, estudos realizados na Califórnia evidenciaram um melhor aproveitamento da irrigação realizada em alta frequência para pequenos

projetos, haja vista, que em projetos maiores poderia acarretar uma menor uniformidade de aplicação de água (LAMM, et al., 2007).

Segundo Reichardt (2004), a água no estado líquido apresenta sempre movimento quando existirem diferentes potenciais hidráulicos nos distintos pontos do sistema. A consequência deste movimento passa a ser uma considerável diminuição no potencial hidráulico, ou seja, movimento da água de pontos de maior potencial para locais de menor potencial.

O mesmo autor relata ainda que o fluxo de água no início do processo de infiltração é grande porque a condutividade hidráulica é alta e o solo próximo à fonte de emissão de água fica próximo à saturação e o gradiente formado na área de transição solo úmido e seco cria um elevado gradiente de potencial. Com o tempo, as camadas mais profundas do solo ficam úmidas, também próximas ao limite de saturação. Desta forma, próximo à superfície a condutividade hidráulica é alta, mas o gradiente muito pequeno, porque, estando o solo quase saturado, o potencial de pressão (ψ_p) torna-se desprezível e o Potencial (ψ) total é semelhante ao potencial gravitacional (ψ_g). Assim, as relações entre os gradientes de potencial total em função do gradiente de direção ($\delta\psi / \delta\psi_z$) é igual ao potencial gravitacional em relação ao mesmo gradiente de direção ($\delta\psi_g / \delta\psi_z$) e como o ψ_g é igual a z (em carga hidráulica) este valor torna-se matematicamente unitário. Em função destas considerações, pode-se inferir que o movimento de água, a partir do ponto de aplicação na superfície, deve ocorrer predominantemente na vertical, no início da aplicação de água, desenvolvendo uma dimensão lateral mais evidente, depois de algum tempo desde o início da aplicação.

Numerosos estudos destinados a avaliar o movimento da água no solo foram realizados considerando diferentes taxas de aplicação de água.

Bresler et al.(1971) apresentaram modelos da distribuição de água em um perfil de solo arenoso e relataram maior alongamento vertical da frente de umedecimento em detrimento do avanço horizontal. Porém, Bar-Yosef e Sheikholami (1976), considerando um solo de textura argilosa descreveram o movimento da água no solo maior no sentido horizontal e menor verticalmente. Estes autores consideram que solos com textura média podem apresentar avanço da umidade após irrigação, por uma fonte pontual, crescimento horizontal menor que vertical e consideram ainda que, em solos com maior

conteúdo de silte, a distribuição da água no perfil pode assumir configuração mais uniforme, avançando em todas direções, de forma equivalente e concluem que em solos de textura mais grossa a frente de molhamento vertical é mais expressiva em comparação aos solos que apresentam textura mais fina.

Mostaghimi et al., (1982), relataram que, com a utilização de emissores de vazão equivalente a 1 Lh^{-1} , em solo de textura média, houve maior avanço da água na direção horizontal em comparação com a vazão de 4 Lh^{-1} . A maior vazão proporciona maior percolação da água dependendo da característica do solo e tempo de irrigação e ainda acrescenta a ocorrência de uma considerável redistribuição de água em média 48 horas, depois de finalizado o evento de irrigação.

Rosa et al. (2004), demonstraram, em solo arenoso, que a água assumiu maior avanço horizontal quando utilizada uma vazão de $3,4 \text{ Lh}^{-1}$ comparado às vazões de $1,8$ e 1 Lh^{-1} os valores observados foram de $0,88$; $0,56\text{m}$ e $0,56\text{m}$ para a primeira, segunda e terceira vazões respectivamente, considerando o emissor disposto na superfície do solo. Entretanto, os autores identificaram maior avanço vertical, acima de $0,60\text{m}$, quando foi utilizado a vazão de $3,4 \text{ Lh}^{-1}$, por um período de 8 horas de irrigação contínua. Para as demais vazões, 1 e $1,8 \text{ Lh}^{-1}$, o avanço vertical foi de $0,40$ e $0,50\text{m}$ respectivamente.

Hachum et al., (1976), apresentaram resultados nos quais foram observados uma melhor distribuição lateral de água em solos com textura fina quando comparados com de textura média e solos arenosos. Observações de campo permitiram concluir, ainda, que, em solos de textura fina, o movimento lateral da água pode promover a disponibilidade de água para plantas por mais tempo.

De acordo com Ramos et al., (1992), o monitoramento de bulbos úmidos realizados com TDR para gotejadores de vazões de 2 , 4 , 6 e 8 l.h^{-1} em Latossolo Vermelho Escuro álico, textura arenosa, permitiu constatar que as maiores vazões promoveram bulbos com maior avanço horizontal e menor verticalmente para um mesmo volume de aplicação de água.

Dessa forma, a referência geral para o dimensionamento de projetos de irrigação baseados na textura do solo vai dando lugar a estudos mais específicos, criteriosos e precisos, evitando que sejam adotadas práticas de irrigação inadequadas ao melhor desenvolvimento das culturas. Segundo

Thorburn (2003), não é seguro adotar critérios como textura do solo para dimensionamento da irrigação por gotejamento, pelo fato de que, em alguns casos, existe pouca correlação entre os aspectos texturais do solo e o volume umedecido.

As propriedades hidráulicas do solo não são dependentes somente das classes texturais sofrendo grande influencia da estrutura do solo (HAVERKAMP et al., 1999).

Keller (1984) ressalta que a escolha do emissor adequado para um projeto de irrigação é fundamental no controle da quantidade de água aplicada e identificação da conformação que este volume de água irá assumir no solo, porém este conhecimento necessita ser evidenciado previamente à implantação do projeto de irrigação definitivamente no campo, sendo, portanto, necessário recorrer à técnicas experimentais eficientes para estudo do bulbo úmido.

Fica evidente a partir dos relatos apresentados em literatura, que a irrigação por gotejamento tem enorme potencial de aplicação, em função das suas características, conforme comentado. Mesmo que demande estudos preliminares em campo, para a identificação de formato de bulbo, mesmo que a sua implantação seja associada a custos relativamente elevados, sua utilização tem crescido em todo o mundo.

2.8. Determinação da umidade do solo

Alguns métodos são utilizados constantemente para monitoramento da umidade no solo e outros são também aperfeiçoados ao longo do tempo.

O método gravimétrico reconhecido como método padrão consiste na coleta de amostras de solo no campo na profundidade na qual se deseja aferir a medida de umidade, posteriormente, esta amostra é encaminhada para uma estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 105 - 110°C por no mínimo 24 horas tempo suficiente para estimativa da umidade do solo amostrado, a diferença de umidade antes e depois da secagem representa a umidade do solo no momento da coleta (BERNARDO, 2006).

Outros métodos para medição da umidade denominados eletrométricos como de Bouyoucos que se utiliza de blocos de gesso enterrados no solo, ao

absorver ou perder umidade permitem que sejam medidos a resistência elétrica por um medidor específico devidamente calibrado para leituras diretas de “percentagem d’água no solo”. O método de Colman apresenta o princípio semelhante, a diferença está no processo de calibração que exige uma especificidade maior para cada tipo de solo, os resistores utilizados pelo equipamento são confeccionados com placas de fibra de vidro diferentemente das placas de gesso do método anterior.

O uso de tensiômetros tem também destaque dentre os métodos de determinação da umidade, estes equipamentos consistem em um tubo de PVC preenchido em seu interior com água, uma das extremidades é composta por uma cápsula porosa que fica em contato íntimo com o solo na profundidade que se deseja avaliar a umidade, na outra extremidade, encontra-se um manômetro que vai aferir o potencial matricial com que a água está retida no solo (KIRKHAM, 2005).

A sonda de nêutrons tem sido utilizada como método de referência na aferição da umidade nos diversos tipos de solo desde o ano de 1960, esta técnica, consiste em leituras da energia proveniente do choque dos átomos de nêutrons com as partículas de massa que estão à sua volta, este choque entre átomos, são analisados por um sistema eletrônico de contagem e quando devidamente calibrados geram como resposta a umidade em que se encontra o solo (REICHARDT, 2004).

Time Domain Reflectometry é abreviado com a sigla TDR e atualmente é uma das técnicas de aferição de umidade no solo que vem ganhando espaço. Esta consiste no uso da constante dielétrica para determinar o conteúdo de água na amostra de solo. Para que seja medida esta constante dielétrica são instaladas sondas no perfil do solo a ser amostrado e a leitura das sondas é capturada por uma central eletrônica.

Trintinalha (2000) considera que o solo é um material dielétrico, cuja constante dielétrica pode ser medida, mas deve-se lembrar que ele é constituído de três componentes: as partículas sólidas com constante (k) de 3 a 5, o ar dos poros ($k = 1$) e o conteúdo de água ($k = 81$).

Portanto, segundo o mesmo autor, a velocidade do pulso aplicado será função de uma proporção entre três constituintes e, neste caso, define-se uma

única permissividade relativa global ou aparente $K=(c/v)$ onde c é a velocidade da luz e v é a velocidade do pulso eletromagnético.

Mas, na prática, a reflectometria de microondas é efetuada no domínio temporal, ou seja, mede-se apenas o tempo t de tráfego do pulso ao longo das hastes de metal de comprimento L inseridas no solo, e, assim, a equação toma a seguinte forma:

$$K_a = \left(\frac{c t}{2 L} \right)^2$$

k_a = Constante dielétrica aparente

c = Velocidade da luz (30 cm/ns)

t = Tempo de deslocamento (ns)

L = Comprimento da haste (cm)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido em condições de laboratório no Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá – PR. Localizado no norte do estado do Paraná, com latitude de 23°25' sul e longitude 51°57' oeste.

3.2 Características do solo

O solo utilizado no experimento é representativo da região do “arenito Caiuá” classificado segundo Embrapa 1999 como Latossolo Vermelho Distrófico psamítico. A coleta do material foi realizada em uma área onde futuramente serão implantados projetos de irrigação por gotejamento para o cultivo da estévia, pertencente ao perímetro rural do município de Terra Rica, noroeste do estado do Paraná.

Após a coleta, todo material foi peneirado em peneira com malha de 2 mm e transportado em sacos plásticos para o laboratório, posteriormente, espalhado e seco ao ar.

Depois de seco ao ar o solo foi subdividido em amostras para análise granulométrica, cujo resultado é apresentado no Quadro 1, para a calibração das sondas do TDR e para o preenchimento das caixas plásticas. Na Figura 2 é apresentada a curva característica de retenção de água no solo, obtida a partir de amostras indeformadas do solo. Para os potenciais de até -100hPa, as amostras tiveram a sua umidade equilibrada em mesa de tensão. A partir daí, foram submetidas aos valores de potenciais seguintes, em câmaras de Richards.

3.3 Calibração das sondas

O processo utilizado para calibração das sondas de TDR utilizou metodologia proposta por Trintinalha (2000) e os resultados obtidos da relação K_a e umidade do solo base volume estão representados na Figura 4.

Com base na metodologia a calibração das sondas iniciou-se com o preenchimento de doze recipientes plásticos (cilindros de tubo de PVC, com diâmetro nominal de 100 mm, aos quais colou-se uma base circular plana, também de PVC), de aproximadamente 0,25 m de altura por 0,10m e diâmetro (2000 cm³ de volume, aproximadamente).

A massa de solo colocada em cada recipiente variou entre 2 e 4 kg, segundo a maior ou menor densidade estabelecida no interior de cada recipiente.

Para estabelecer densidade diferente em cada recipiente, foi utilizada uma ferramenta que consiste de um tubo metálico com seu interior preenchido por concreto e com a base de metal de diâmetro um pouco menor do que o diâmetro interno do recipiente, ao qual deu-se o nome de “martelo”. Para se estabelecer um determinado valor de densidade, com um determinado número de impactos, foi utilizado um tubo graduado de 0 até 0,45 m, o qual permitiu estabelecer a altura das impactos sobre a superfície do solo. O primeiro recipiente foi preenchido sem o processo de compactação, como forma de se obter o menor valor da densidade. O solo foi apenas acondicionado no recipiente. A partir do segundo, foram adicionadas camadas de 0,05 m de solo de cada vez, as quais foram compactadas com um determinado número de impactos, sendo primeiro colocado uma carga máxima, ou seja, o martelo foi liberado para cair sobre o solo a partir de uma altura de 0,45 m. Este processo foi repetido por dez vezes para se obter a compactação máxima, os demais frascos foram preenchidos de modo semelhante, porém, variando a altura e o número de impactos, de modo a se obter valores o mais adequadamente distribuído entre o valor máximo e o mínimo.

Quadro 1 - Caracterização física do Latossolo Vermelho Distrófico psamítico utilizado para o experimento - LAGRO, 2009

Profundidade (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe textural
0,00 – 0,20	85,80	3,20	11,00	ARENOSA
0,20 – 0,40	84,70	3,30	12,00	ARENOSA
0,40 – 0,60	80,20	5,60	14,20	ARENOSA
Densidade média (g/dm ⁻³)				1,53
Porosidade total (%)				43

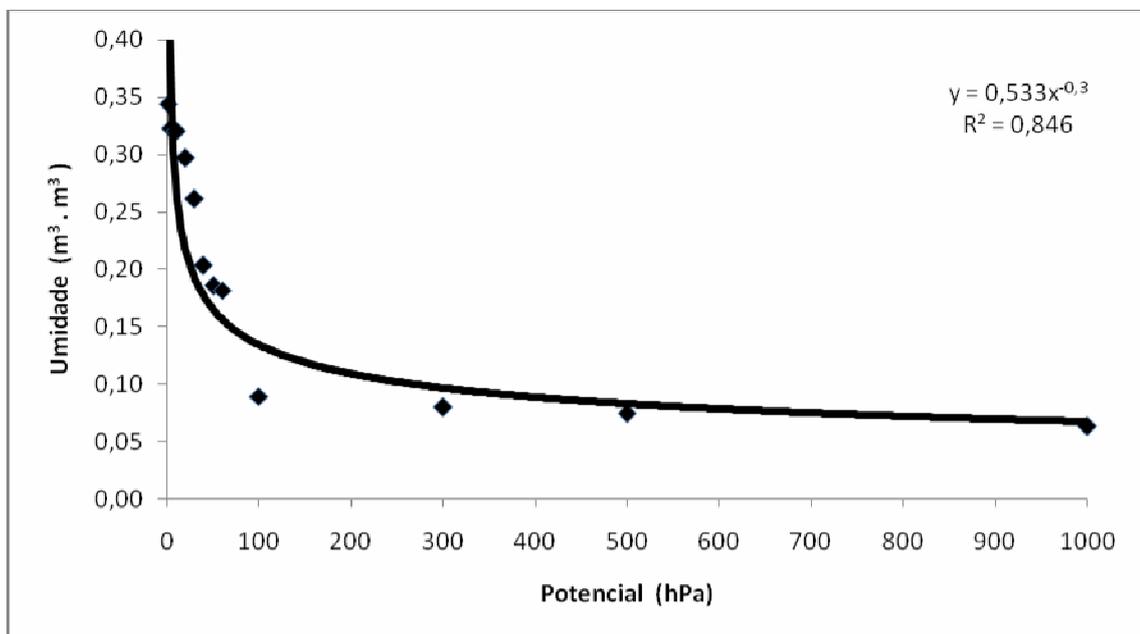


Figura 1 - Curva característica de retenção de água no solo para o Latossolo Vermelho Distrófico psamítico – UEM 2009.

Tendo sido cada recipiente preenchido com material compactado, todos eles foram colocados dentro de baldes contendo água a uma altura de cerca de 90% da altura dos mesmos, para que o solo pudesse ser saturado. Para tanto, as paredes e o fundo de cada recipiente foram perfurados, com dezenas de furos de aproximadamente 2,0 mm de diâmetro, por meio dos quais a água pode se mover em direção ao seu interior. Posteriormente, estes orifícios facilitaram a evaporação da água, de maneira uniforme em todo o

cilindro. Após um tempo mínimo de 24 horas para a saturação, foi introduzida no interior de cada recipiente, uma sonda do tipo “buriable waveguide” dotada de duas hastes com 0,20 m de comprimento, a partir da superfície. Em seguida, permitiu-se a drenagem rápida da água a partir de cada recipiente e, após a drenagem deste excesso, iniciou-se o processo de medida da massa total e do valor de K_a , utilizando-se uma balança de precisão e o equipamento de TDR, respectivamente conforme apresentado na Figura 3.

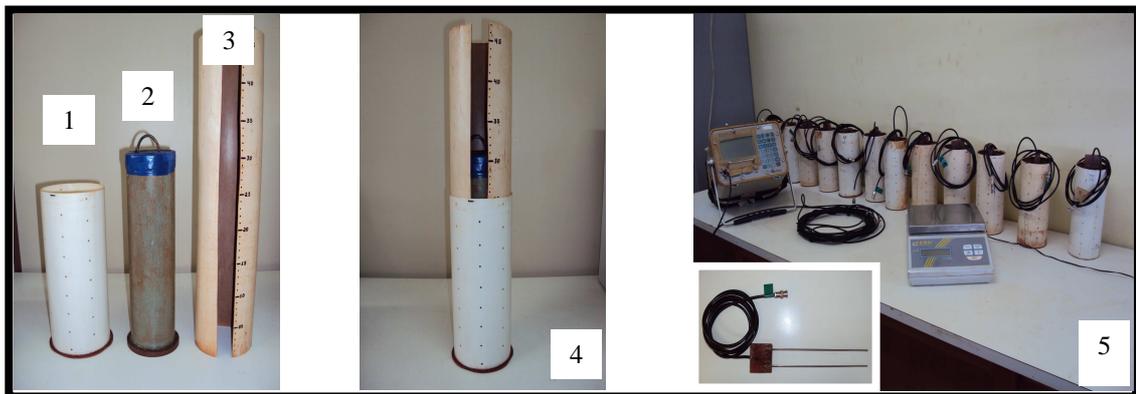


Figura 2 - Equipamentos utilizados para calibração das sondas. 1 – Frasco a ser preenchido com solo; 2 – “Martelo”; 3 – Cilindro com graduação em cm; 4 – Sistema frasco, martelo e cilindro graduado, montados; 5 – Frascos e sondas instalados para leitura com TDR com detalhe da sonda utilizada para o experimento.

Os recipientes permaneceram expostos ao ambiente interno do laboratório e, diariamente, foram feitas entre duas e três leituras das variáveis medidas. Conhecendo-se a massa de solo seco no interior do recipiente, a massa da sonda e a massa do frasco, pode-se determinar, a cada leitura, a massa de água presente na amostra de solo e a sua umidade com base em massa. Sendo o volume conhecido, determinou-se a densidade do solo, o que tornou possível a determinação da umidade com base em volume, em cada momento.

A partir dos valores de umidade com base em massa e em volume, assim como dos valores de K_a , foram ajustadas as curvas de umidade em função da constante dielétrica, por meio de análise de regressão. Os resultados destes procedimentos estão apresentados na Figura 4.

Paralelamente a esta atividade foram preparadas duas caixas de polietileno com capacidade de $0,7\text{m}^3$, cada uma. O preparo consistiu inicialmente na construção de uma expansão metálica de $0,50\text{ m}$ que circundou toda porção superior da caixa possibilitando ganho em volume na caixa, conseqüentemente, obtendo um perfil de solo para estudo com uma profundidade máxima de $0,80\text{m}$.

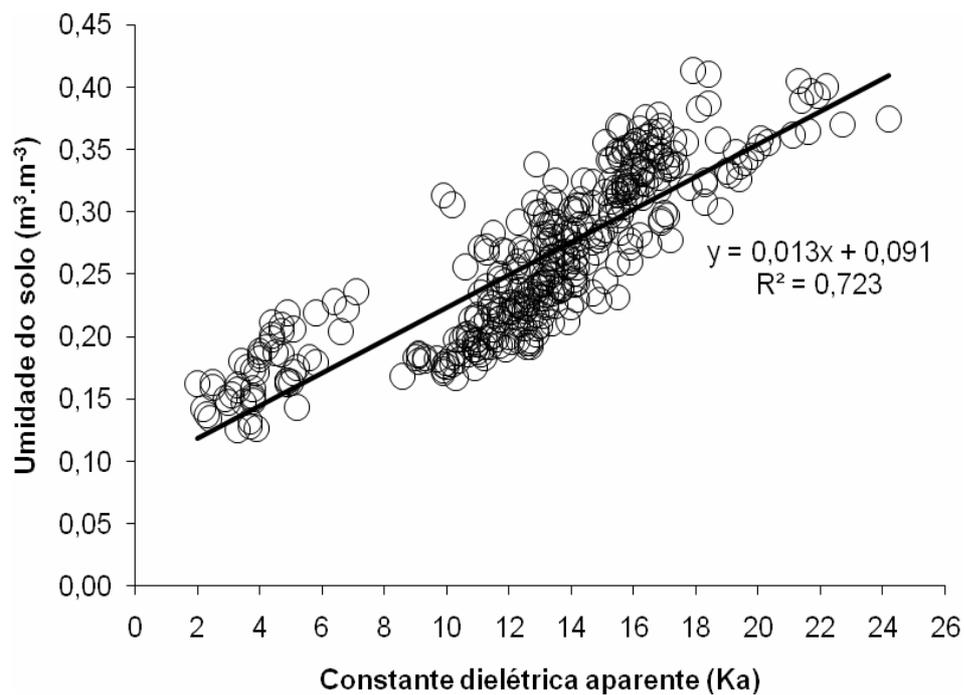


Figura 4 - Constante dielétrica aparente (K_a) em função da umidade do solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

Na sequência foi construído o sistema de drenagem das caixas composto por um tubo PVC de 50mm perfurado em toda sua extensão, com furos de aproximadamente 2mm colocado na base inferior e interna de cada caixa, após a instalação do dreno toda base da caixa foi coberta por uma camada de brita de aproximadamente $0,10\text{m}$ essencial para auxiliar na drenagem da água após o término de cada tratamento.

Finalizado a montagem do sistema de drenagem procedeu-se ao enchimento das caixas com o solo seco ao ar, para tanto, o solo foi colocado

no interior da caixa, em camadas de 0,05m, e submetido a uma leve compactação, imitando a condição natural. Em cada intervalo era colocada uma sonda de TDR para o monitoramento da água em profundidade. Assim, foram utilizadas 16 sondas, distanciadas de 0,05m. O monitoramento da água lateralmente foi realizado por duas faixas de sondas, a primeira colocada a 0,05m de profundidade e uma segunda faixa a 0,40m de profundidade ambas formando um raio de 0,35m, dessa forma, para realização do ensaio foram utilizadas 30 sondas de acordo com o esquema descrito na Figura 5.

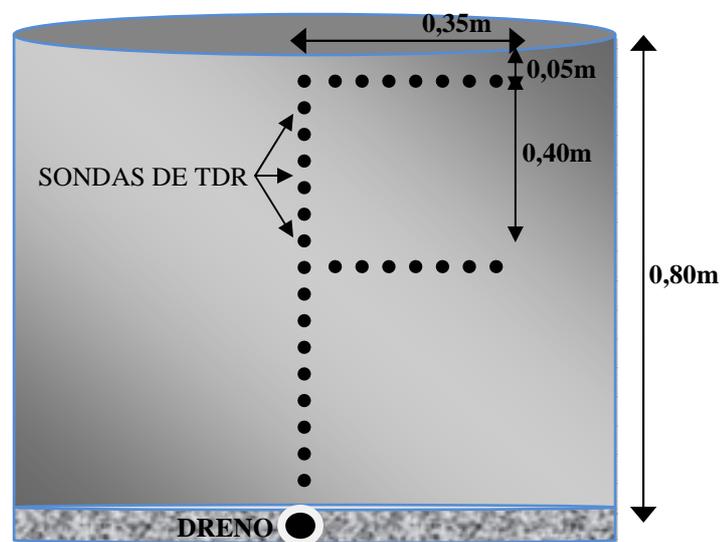


Figura 5 - Esquema de uma unidade experimental para estudo da dinâmica de água no solo representando a caixa de polietileno e as sondas de TDR conforme instalação no interior da caixa.

Foram realizados cinco tratamentos, considerando diferentes vazões de 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 Lh^{-1} com emissor disposto na superfície e enterrado a 0,15 m de profundidade para caracterização do movimento da água no perfil do solo foi utilizado o programa Surfer® versão 7.0.

3.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento em superfície e subsuperfície. Para garantir uma precisão na aplicação da água, nos diversos tratamentos, o gotejador foi construído com um tubo de PVC de 0,30m de comprimento e diâmetro de 20mm. Neste tubo foram adaptadas conexões

específicas de 1/2", para o acoplamento de um registro de esfera e um microtubo, de menor diâmetro, o registro tem a função de regular a vazão do sistema e a descarga de água para o meio externo de acordo com cada tratamento proposto.

Com a finalidade de garantir uniformidade na aplicação de água foi deixado na extremidade do emissor, oposta a entrada de água, uma saída que permitiu acoplar um manômetro, periodicamente, visando o monitoramento da pressão do sistema, mantida em 2mca, todo detalhe do emissor pode ser observado na Figura 6.

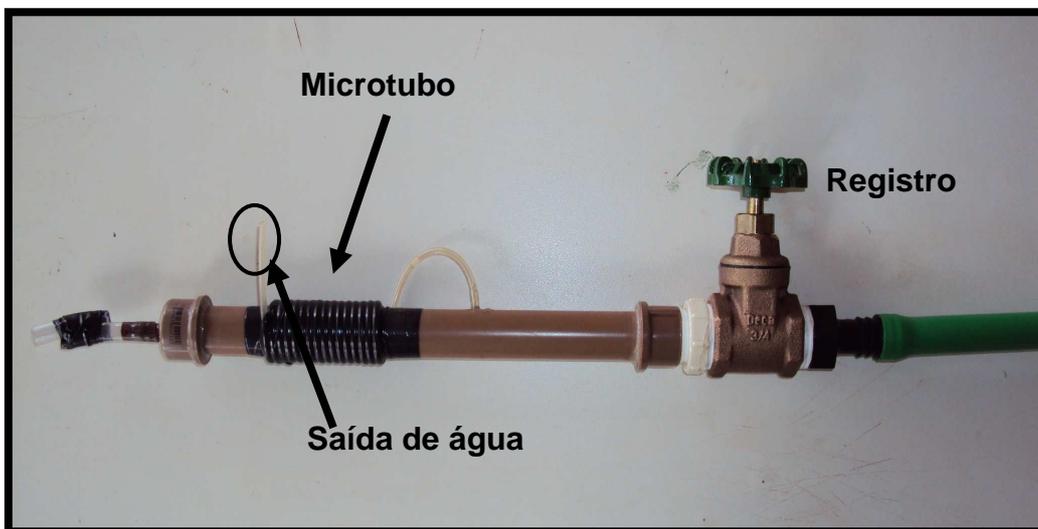


Figura 6 - Detalhe do emissor utilizado para o experimento.

Antes de iniciar cada tratamento o emissor era regulado na vazão pertinente e deixado em funcionamento sendo monitorado por cerca de 30 minutos para avaliação do seu perfeito funcionamento através da vazão e conferência da pressão. Finalizada toda verificação do sistema, o mesmo funcionou irrigando durante 8 horas consecutivas segundo os tratamentos propostos.

3.5 Medida da área molhada na superfície

A relação entre a área umedecida, em função dos emissores utilizados, e a área total considerada como a área que o emissor teria potencial de efetuar

umedecimento, durante o procedimento de irrigação, foi estimado pelo raio onde estavam presentes as sondas, 0,35m. Este valor pode representar a área mínima ideal para o dimensionamento do sistema de irrigação. Para tanto, foram realizadas medições a cada 30 minutos do diâmetro no sentido horizontal e vertical do círculo formado na superfície do solo durante o procedimento de irrigação nas diferentes vazões.

3.6 Monitoramento da umidade do solo

O monitoramento da umidade do bulbo úmido em função do tempo foi realizado através do equipamento de TDR, para que as leituras fossem realizadas de forma mais eficiente foi instalado um multiplexador que permitiu leituras das 30 sondas simultaneamente a cada 30 minutos por um período de 8 horas totalizando 16 ciclos e 480 leituras para cada tratamento.

Inicialmente, o solo foi avaliado na sua condição atual, solo seco ao ar, depois foi realizado um pré teste nas vazões de 2 e 4 Lh⁻¹ somente após o pré teste o solo foi totalmente saturado para acomodação de suas partículas, fato essencial, para que todos os tratamentos fossem iniciados com solo em condições de umidade semelhantes. A saturação do solo, com água, foi realizada através de um tubo acoplado na base da caixa onde se encontrava a saída do dreno, em seguida, foi fornecida água até que a mesma aflorasse na camada intermediária entre a expansão metálica e a caixa de polietileno, a partir deste momento, a saturação era realizada aplicando-se água na superfície do solo.

Todo este procedimento foi monitorado por leituras do TDR a fim de garantir a completa saturação do solo e sua secagem até o momento adequado ao início do próximo tratamento.

Durante o processo de irrigação além do monitoramento da água no perfil do solo, pelas sondas, a cada 30 minutos foram realizadas medidas do diâmetro da superfície molhada em dois sentidos estes valores foram utilizados para calcular a área superficial molhada e a porcentagem molhada, esta medida realizada em função da relação entre a área molhada pelo emissor e a área de alcance em potencial estimado em 0,35m, ou seja, a extremidade onde se encontrava a última sonda. Cabe ressaltar, que a maioria dos testes foram

conduzidos durante o período noturno, este fato auxilia nas menores perdas por evaporação da água superficialmente aumentando o controle local durante a experimentação.

Finalizada cada operação, o solo foi seco com uso de uma bomba de sucção acoplada ao dreno na base da caixa, esta bomba, quando acionada promoveu a sucção da água presente nos poros do solo, auxiliando no processo de secagem. Durante este procedimento, a umidade do solo foi monitorada em todo seu perfil e um novo tratamento era iniciado quando a média entre as leituras das sondas correspondessem a aproximadamente $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, ou 60 hPa, com base na curva de retenção de água no solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios conduzidos nas duas estruturas montadas em laboratório permitiram a obtenção dos valores de umidade do solo, de acordo com a malha de pontos definidos a partir da instalação das sondas. De posse destes valores, identificou-se a posição da frente de molhamento durante os ensaios realizados, assim como se obteve a dimensão do círculo molhado na superfície.

4.1 – Dimensões da área molhada na superfície

Durante a realização de cada ensaio, em cada momento no qual as leituras das sondas eram feitas, automaticamente, com a utilização do multiplexador, mediu-se o diâmetro médio do círculo molhado na superfície do solo.

Através do diâmetro foi possível calcular a área molhada ou o círculo molhado para cada vazão avaliada.

Para o presente estudo os emissores dispostos na superfície apresentaram maior percentagem de área molhada final, em comparação com os tratamentos com emissores enterrados, como pode ser avaliado nas figuras 7 e 8.

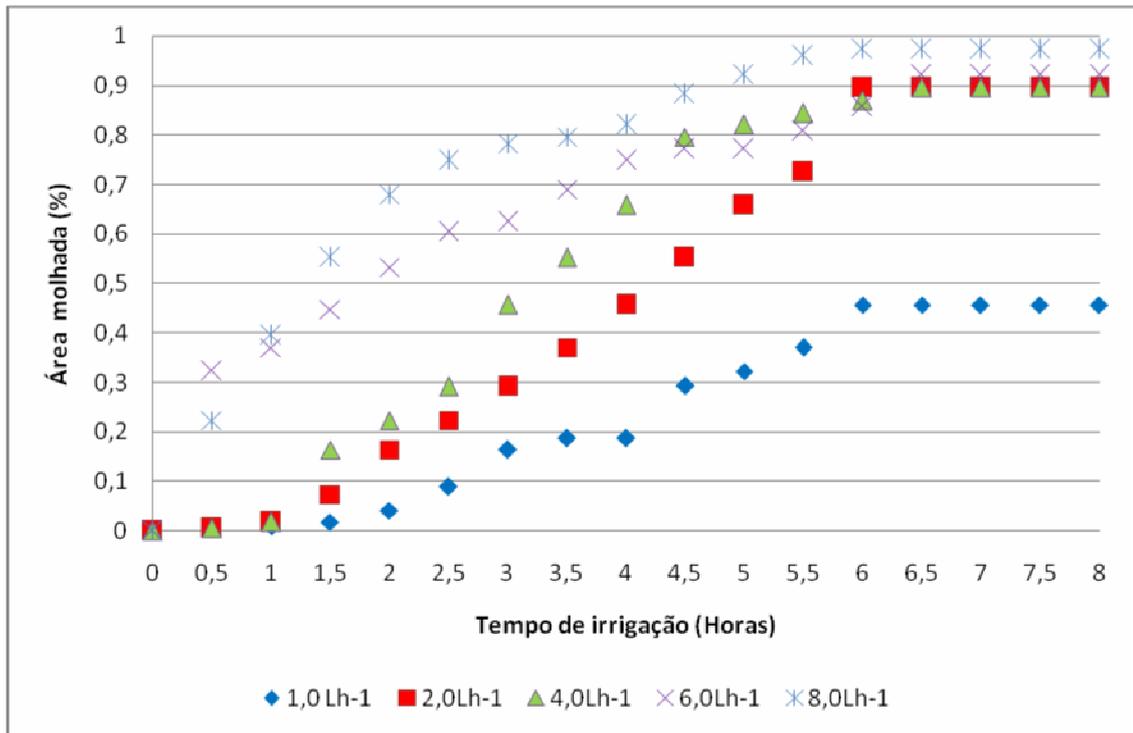


Figura 7 - Área molhada em função do tempo de irrigação para emissores em superfície.

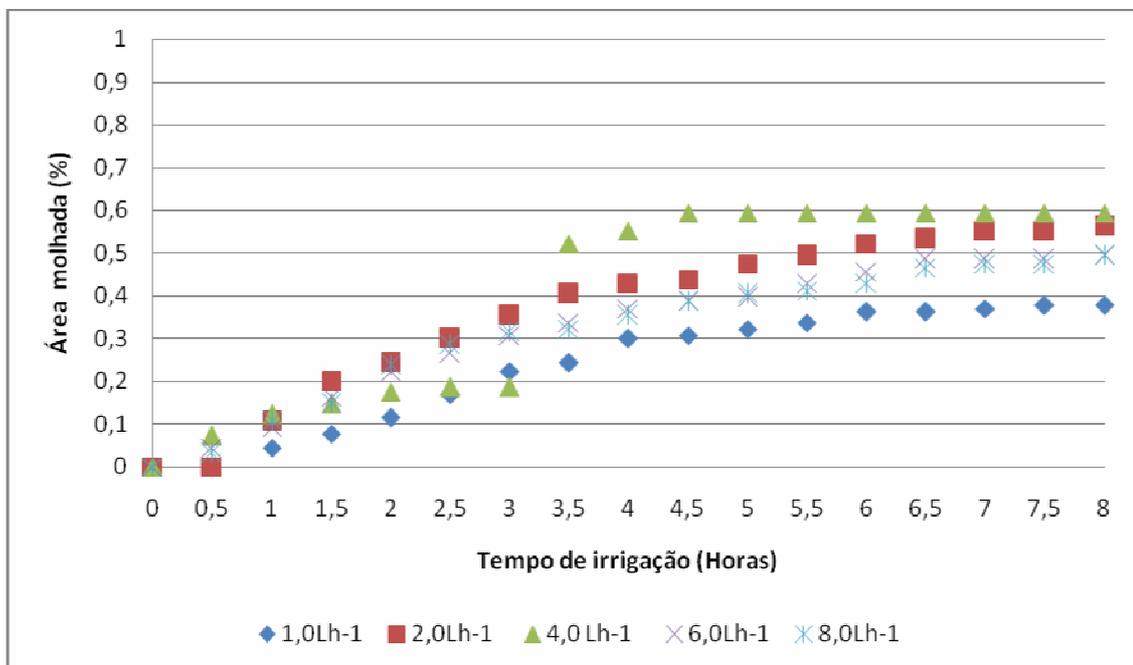


Figura 8 – Área molhada em função do tempo de irrigação para emissores em subsuperfície.

Os resultados apresentados indicam que o aumento da vazão dos emissores em superfície proporcionou avanço mais rápido da frente de molhamento horizontalmente. Para os ensaios com maiores vazões, ou seja, de 6 e 8 Lh⁻¹, verifica-se que o crescimento da área molhada na superfície foi rápido, o que pode ser visualizado também na Figura 9. Provavelmente a oferta de água, com estas vazões elevadas, acarretou uma condição na superfície do solo segundo a qual o avanço vertical, em decorrência do gradiente de potencial total (gravitacional mais matricial) não era rápido o bastante para escoar a água apenas verticalmente. Assim, o gradiente de potencial matricial, responsável pelo movimento horizontal da água, atuou no sentido de promover maior avanço lateral. Esta ação pode ter tido a contribuição de alguma carga hidráulica gerada pelo acúmulo de água nos macroporos do solo, em uma região imediatamente abaixo do ponto de aplicação de água.

Verifica-se na Figura 9 que a utilização da vazão de 1 Lh⁻¹ promoveu a estabilização da área molhada em superfície no valor de 0,20 m², aproximadamente igual à metade da área molhada em superfície para as demais vazões. Isto evidencia que a aplicação de água nesta vazão mais baixa permite que, durante todo o ensaio, a ação do gradiente de potencial total, associada à condutividade hidráulica não saturada deste solo, promova condições para o escoamento na vertical, em uma taxa suficiente para que não haja acúmulo de água em uma região do perfil próxima à superfície, em torno do ponto de aplicação. Para as demais vazões, este fato deve ocorrer, resultando em uma área molhada, ao final dos ensaios, de um valor semelhante, da ordem de 0,40 m². Para as duas maiores vazões, pode-se observar na Figura 9 que entre o início do ensaio e o tempo de cerca de 5 horas, a curvatura da linha de tendência associada aos valores medidos é oposta àquela identificada para as menores vazões. Esta característica pode estar relacionada com o fato de que, para estas vazões, ocorre acúmulo de água na região do perfil abaixo do ponto de aplicação, como descrito, o que promove avanço lateral mais intenso e em menor tempo que nas pequenas vazões. Após 5 horas, entretanto, o sistema se estabiliza em relação ao avanço horizontal, atingindo o equilíbrio em relação à área molhada. Isto contraria a expectativa inicialmente estabelecida de que as maiores vazões

promoveriam maior avanço lateral da água, o que comumente se identifica em ensaios desta natureza.

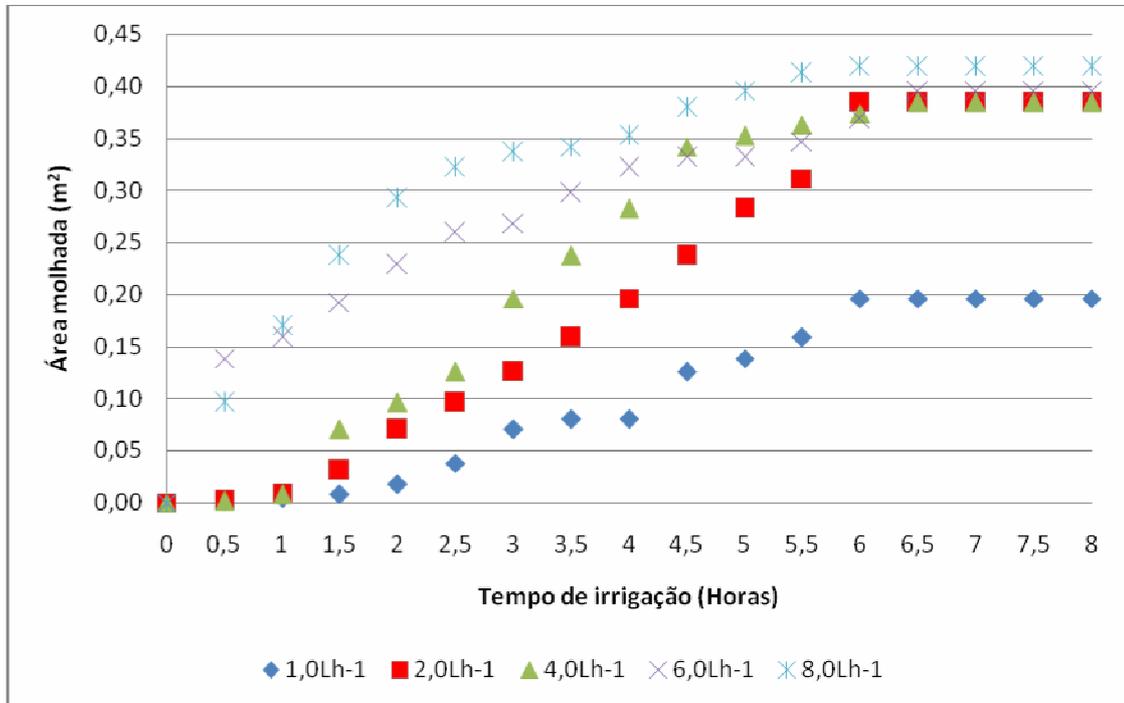


Figura 9 - Área molhada na superfície do solo pelo emissor disposto na superfície, para as diferentes vazões adotadas nos ensaios.

A análise dos resultados obtidos, em termos de área molhada na superfície, para os emissores enterrados, apresentados na Figura 10, revela que o resultado final, para todas as vazões empregadas, ficou consideravelmente inferior ao obtido para os emissores dispostos em superfície. O maior valor identificado foi de 0,25 m², destacando-se o fato de que a vazão de 1,0 Lh⁻¹ promoveu, também para esta configuração de instalação de emissor, uma área molhada substancialmente menor que para as demais vazões. Entretanto, pode-se destacar que, neste caso, a amplitude de variação dos resultados, em função da vazão aplicada, foi menor que para os emissores em superfície. A comparação entre as Figuras 9 e 10 permite a comprovação deste fato. Entre o início do ensaio e o tempo de 5 horas, ao contrário do ocorrido para os emissores em superfície, para os emissores enterrados os resultados obtidos para as diferentes vazões, acima de 1,0 Lh⁻¹

foram semelhantes. Aqui, as maiores vazões não promoveram avanço mais rápido da água na direção horizontal. Possivelmente, o avanço vertical para cima, levando a água a se mover por ação da capilaridade, até à superfície, fez com que não ocorresse um acúmulo de água nos macroporos do solo, na região imediatamente abaixo do emissor. Assim, mesmo para as duas vazões mais elevadas, não houve uma carga hidráulica suficiente para acentuar o movimento lateral, como ocorreu a partir do emissor instalado na superfície.

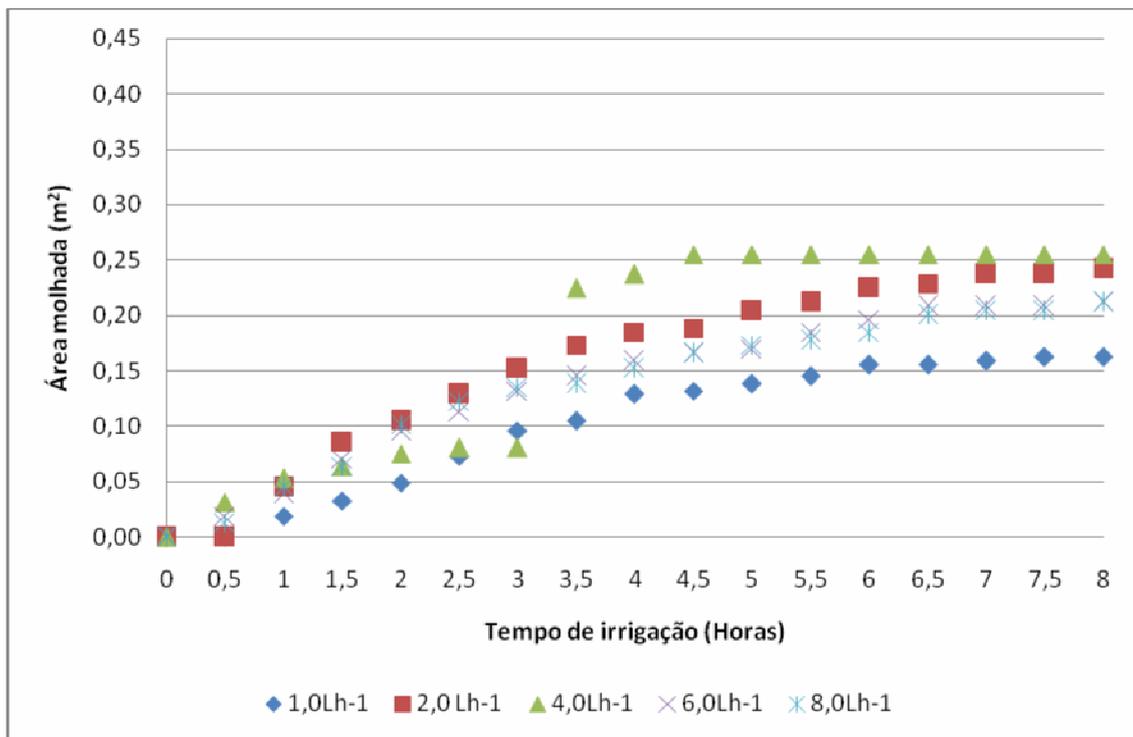


Figura 10 - Área molhada na superfície do solo pelo emissor disposto em subsuperfície, para as diferentes vazões adotadas nos ensaios.

Para a cultura da estévia, diversos trabalhos demonstram a adequação de uma área molhada na superfície de $0,13 \text{ m}^2$, ou seja, de um diâmetro de círculo molhado na superfície em torno de $0,40 \text{ m}$. Esta dimensão é suficiente, segundo alguns autores, para atender o arranjo espacial preconizado para plantios em larga escala. Este valor é muito próximo do obtido com a menor vazão, com emissor enterrado. Para todas as demais combinações de posição do emissor e vazão, este valor é superado. Assim, em princípio, pode-se

adotar qualquer combinação estudada para a configuração dos emissores em um sistema de irrigação por gotejamento para a cultura da estévia, neste solo. Destaca-se, contudo, que o tempo de irrigação precisa ser compatibilizado com o volume de água a ser aplicado, levando-se em conta a vazão do emissor. Deve-se observar se um tempo de irrigação muito longo e uma pequena vazão, não promoverá percolação profunda muito intensa e pouco avanço lateralmente, reduzindo a eficiência de aplicação de água pelo sistema.

Pode-se observar na Figura 10 que, ao contrário do verificado para as demais vazões, as quais apresentaram uma evolução harmoniosa da dimensão do círculo molhado na superfície, para a vazão de 4Lh^{-1} , entre 3 e 3,5 horas de aplicação da água, existe uma descontinuidade. Isto pode estar associado a alguma falha no sistema de coleta de dados, uma vez que não se identifica uma explicação para o fato, a partir da análise do fenômeno de escoamento de água no solo, nas condições estudadas.

Pode-se verificar, comparando-se as Figuras 9 e 10, que o tempo decorrido para a formação de um disco saturado suficientemente adequado às necessidades hídricas da cultura foi nove vezes superior, comparando o emissor de menor vazão, 1Lh^{-1} , com o de maior vazão, 8Lh^{-1} , para o sistema utilizando o emissor em superfície. No caso dos emissores em subsuperfície, esta relação foi 1,3 vezes superior, caracterizada pela maior perda de água por percolação profunda, principalmente para os emissores de 6 e 8Lh^{-1} . Cabe ressaltar que esta diferença se acentua a partir da vazão de 4Lh^{-1} , o que evidencia uma tendência de sobreposição do potencial gravitacional sobre forças do potencial matricial nas maiores vazões e uma maior ascensão capilar para menores vazões, ou seja, de 1 e 2Lh^{-1} .

Para o emissor em superfície, a estabilização das dimensões do círculo molhado, para todas as vazões, ocorreu após um tempo médio da ordem de 6 a 6,5 horas, como pode ser observado na Figura 9. Após este tempo, observa-se pelos gráficos que os valores de área molhada se tornam constantes com o tempo. Isto ocorre também para a menor vazão, porém com um valor cerca de 50% menor. Para o emissor em subsuperfície, a estabilização das dimensões do círculo molhado também tende a ocorrer em tempo muito semelhante a este, da ordem de 6 a 6,5 horas, como pode ser visto na Figura 10. Neste

caso, no entanto, as dimensões são consideravelmente inferiores às aquelas obtidas com o emissor em superfície, exceto para a menor vazão.

As dimensões horizontal e vertical do bulbo molhado permitem a adequação da aplicação de água às características da cultura, de forma a se buscar a eficiência da irrigação. Para tanto, deve-se ter uma combinação de vazão do emissor e espaçamentos no sistema, de forma a que se possa aplicar o volume de água compatível com a demanda hídrica da cultura, em uma região do perfil do solo na qual esta água seja efetivamente utilizada. Assim, buscou-se avaliar também o avanço vertical da água nos ensaios realizados. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

O solo em questão apresenta conteúdo de areia e porosidade total muito elevado, conforme apresentado no Quadro 1. Em função disto, pode-se inferir que o mesmo apresenta uma porosidade total concentrada principalmente na faixa dos macroporos, o que torna possível taxas de infiltração elevada, ou seja, movimento vertical da água deve se processar sem restrições, sobretudo a partir de uma fonte pontual de aplicação de água, com baixas vazões. Souza et al., (2004) relataram que as duas principais forças que regulam o avanço da frente de molhamento são os potenciais matricial e gravitacional. Dependendo da vazão aplicada, ocorre inicialmente atuação do potencial gravitacional em detrimento do potencial matricial, forçando o fluxo de água na direção vertical, em detrimento do avanço horizontal.

O sistema radicular da cultura da estévia concentra-se na profundidade máxima de 0,20 m, conforme discutido em literatura. Isto torna importante que a aplicação de água não promova avanços verticais muito maiores que esta dimensão, para que não ocorra a perda da água aplicada.

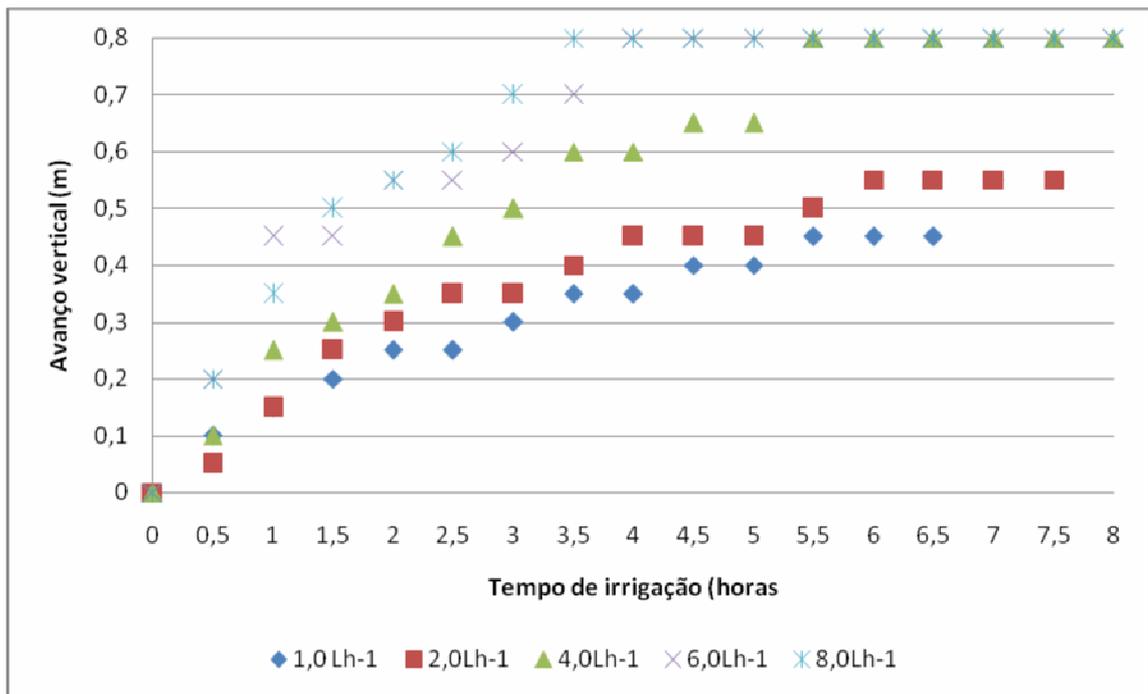


Figura 11 – Avanço vertical da frente de molhamento em função do tempo de irrigação e diferentes vazões dos emissores em superfície, em solo arenoso

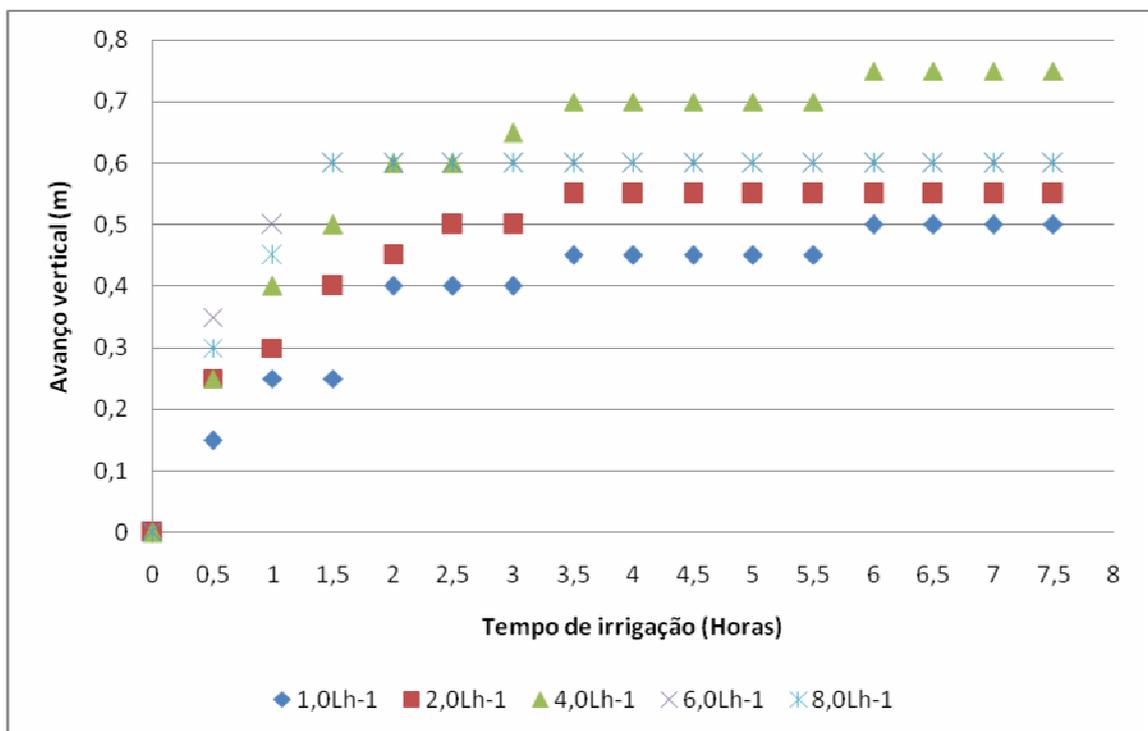


Figura 12 – Avanço vertical da frente de molhamento em função do tempo de irrigação e diferentes vazões dos emissores em subsuperfície, em solo arenoso.

No entanto, deve-se considerar que uma parte da água que esteja no perfil deste solo, até cerca de 0,40m de profundidade, pode ser conveniente para a cultura, em termos de favorecer o equilíbrio térmico do sistema, além de possibilitar alguma ascensão capilar, para a região das raízes. Com base nesta perspectiva, optou-se por adotar a profundidade de 0,40m, como sendo a faixa do perfil na qual a água ainda se encontra disponível para a cultura. Abaixo desta profundidade, no entanto, a água não mais se encontra disponível, caracterizando perda por percolação profunda.

A observação dos resultados apresentados nas Figuras 11 e 12 permite constatar que o movimento vertical da água neste solo é por demais intenso, levando a água a atingir profundidades elevadas em um curto espaço de tempo, a partir do início da aplicação. Para o emissor enterrado, isto é ainda mais intenso que para o emissor em superfície, o que está compatível com o avanço horizontal da água, conforme discutido anteriormente. Observa-se que, para as maiores vazões, em ambos os sistemas, a água atinge a profundidade de 0,40m com apenas uma hora de aplicação, aproximadamente. Estes resultados demonstram que a perspectiva de se aumentar a vazão de forma a se promover maior avanço lateral da água, configurando-se um bulbo molhado mais conveniente, em termos de utilização de água, não se sustenta para o solo em questão.

Os resultados obtidos demonstram que, de um modo geral, a água atinge a profundidade limite em um tempo muito curto. Para as vazões de 1,0 e 2,0 Lh⁻¹, tem-se aproximadamente 4,5 horas, para se atingir a profundidade de 0,40m. Para as demais vazões, com emissor na superfície e para todas as vazões, com emissor enterrado, o tempo é inferior. Assim, fica evidente que o volume de água aplicado, durante o tempo que antecede o momento em que a frente de molhamento atinge a profundidade limite, tende a ser muito reduzido. Compatibilizar isto com a demanda por água pela cultura exigirá um planejamento cuidadoso do sistema de irrigação.

Com o propósito de se avaliar a posição vertical da frente de molhamento no momento em que o círculo molhado na superfície atingiu a dimensão mínima sugerida para a cultura, avaliou-se cada combinação de vazão e posição do emissor adotada neste trabalho. Os resultados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Tempo ideal de irrigação para cultura da estévia, avanço vertical da água e volume de água aplicado considerando diferentes vazões e posicionamento do emissor em relação à superfície do solo

VAZÃO (Lh⁻¹)	TEMPO (horas)	AVANÇO VERTICAL (m)	VOLUME (L)
SUPERFÍCIE			
1	4,5	0,40	4,5
2	3,0	0,35	6
4	2,5	0,45	10
6	0,5	0,20	3
8	0,5	0,20	4
ENTERRADO			
1	4,0	0,45	4
2	2,5	0,50	5
4	3,5	0,60	14
6	3,0	0,80	18
8	3,0	0,80	24

Pode-se observar no Quadro 2 que o sistema com emissor enterrado está associado a uma condição de maior perda por percolação profunda de água que o sistema com emissor na superfície. De um modo geral, para o sistema com emissor enterrado, o círculo mínimo desejado na superfície é atingido apenas quando a água já se movimentou no perfil de forma a atingir camadas muito profundas. Todos os valores para este sistema são maiores que 0,45m, como pode ser visto no Quadro 2, revelando o potencial de perdas de água.

Para o sistema com emissor na superfície, o cenário é um pouco mais favorável. Nas duas maiores vazões, o círculo mínimo é obtido em um momento no qual a água atingiu apenas 0,20m de profundidade. Para as demais vazões, isto ocorre com a água entre 0,35 e 0,45m de profundidade, o que ainda é razoável, dentro das possibilidades, para este solo. Assim, embora o sistema enterrado, com o emissor posicionado a 0,15m de

profundidade, seja conveniente para o emprego na cultura da estévia, particularmente por favorecer o manejo e tratamentos culturais, sua aplicação de água neste solo pode acarretar uma forte inadequação em termos de eficiência, uma vez que a água aplicada pode estar, em grande parte, sendo perdida por percolação profunda. Esta constatação tende a explicar os resultados desfavoráveis identificados no campo, em ensaios preliminares com a cultura, irrigada por meio de um sistema com estas características.

Considerando a cultura da estévia a ser implantada no sistema de gotejamento em subsuperfície, pode-se optar pelas vazões de 1; 2 e 4 Lh⁻¹. Com estas vazões, será possível o fornecimento de água e nutrientes na zona de maior concentração do sistema radicular das plantas, em quantidades mais adequadas do que aquelas obtidas com a utilização das vazões de 6 e 8 Lh⁻¹. Considerando estas últimas, foram obtidos círculos molhados adequados após 3 horas de irrigação, mas os bulbos úmidos formados foram mais profundos, gerando maiores perdas por percolação profunda da água aplicada. Desta forma, pode-se considerar inviável a utilização destas vazões para irrigação desta cultura neste solo, com emissor em subsuperfície.

Destaca-se ainda que o emissor em subsuperfície apresentou valor máximo da área superficial molhada de 0,26 m², aproximadamente 53% menor que o definido nos tratamentos realizados com emissor em superfície, para todas as vazões avaliadas. Além disto, para se alcançar este valor, foi necessário um tempo de aplicação suficiente para a água atingir profundidades superiores a 0,60m, corroborando a inadequação do sistema com estas características, para a realização da irrigação na cultura da estévia, neste solo. Para as vazões de 1,0; 2 e 4Lh⁻¹, com emissores em subsuperfície, a área molhada alcançou valores suficientes em tamanho com o tempo de 4; 2,5 e 2 horas respectivamente. Nota-se que a vazão de 4Lh⁻¹ apresentou tendência a um melhor equilíbrio de distribuição de água no perfil do solo, quando considerada as relações de formação da área molhada e tempo, ou seja, atende o espaçamento da cultura disponibilizando água em menor tempo.

Os bulbos formados apresentaram tendência de expansão maior em profundidade que horizontalmente. Hachum et al.,(1976), relatam que a força da gravidade é limitada pelo tipo de solo, principalmente quando estes

apresentam elevados teores de argila. Para solos argilosos, as forças capilares predominam e influenciam a distribuição da água no solo formando bulbos com avanço em profundidade e na direção radial semelhantes. Para solos arenosos ocorre fenômeno diferente, com avanço vertical da água mais pronunciado. De fato, os resultados obtidos no presente trabalho corroboram esta perspectiva.

Tendo como base as dimensões horizontais e verticais obtidas no presente estudo, para as combinações de vazão e posição do emissor, assim como a identificação do tempo necessário para se atingir um círculo molhado na superfície de dimensões mínimas adequadas à cultura, determinou-se o volume de água possível de ser aplicado em cada combinação. Os resultados estão apresentados nas Figuras 13 e 14.

Pode-se verificar nas Figuras 13 e 14 que a amplitude de valores de volume de água aplicado, para as diferentes combinações de posição do emissor e vazão empregada é grande. Os menores valores estão em torno de 0,5 L e os maiores valores acima de 20 L. Como existem muitos valores entre estes extremos, isto revela que uma combinação adequada de vazão, posição do emissor e tempo de aplicação pode ser encontrada, de forma a se ter um sistema de irrigação por gotejamento que seja adequado para realizar a irrigação na cultura da estévia, para solos com estas características e com o espaçamento entre as linhas de plantas de 0,35 citado anteriormente, além de se estimar o consumo máximo de água por estas plantas, de forma a se definir a demanda a ser atendida.

Paralelamente, será necessária a avaliação dos aspectos de ordem econômica, associados às diferentes combinações de vazão e posição do emissor, empregados neste trabalho. De um modo geral, os resultados obtidos evidenciam que a utilização de maiores valores de vazão não promoveu substancial avanço lateral da água, principalmente no contexto do sistema com emissor enterrado. Para este solo, então, o emprego de vazões de até $4,0 \text{ Lh}^{-1}$ mostra-se mais adequado. Além disto, embora o sistema com emissor enterrado seja muito conveniente em termos operacionais, a sua utilização neste solo é cercada de restrições, uma vez que o avanço vertical da água se torna ainda mais pronunciado, em detrimento do avanço lateral. Em função

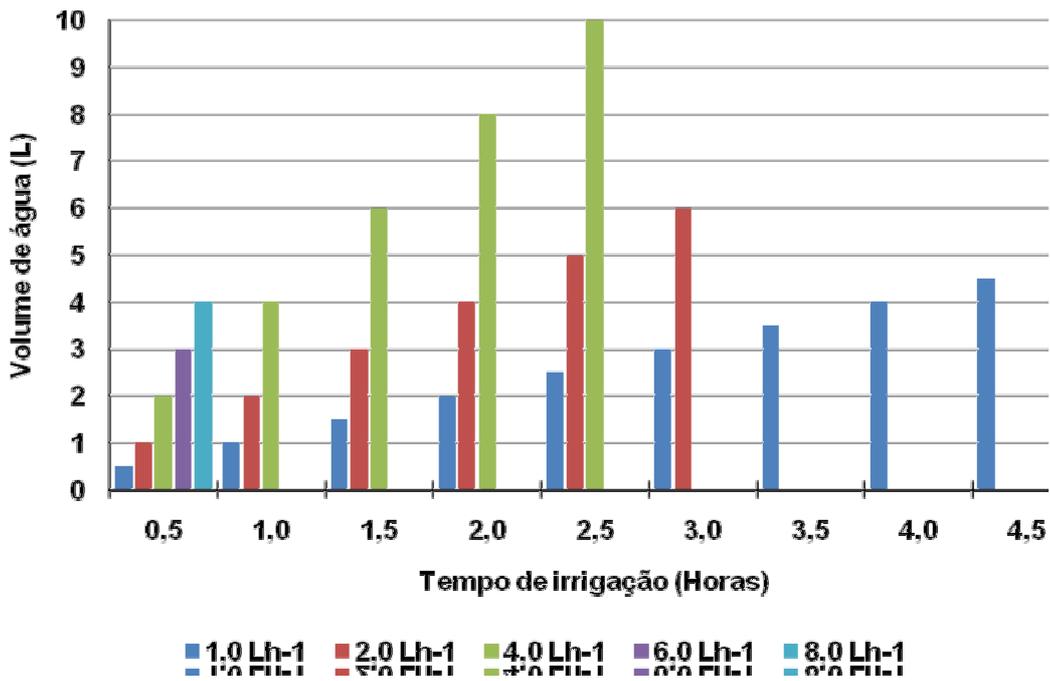


Figura 13 - Volume de água aplicado para formação de área molhada de 0,13m² com emissor em superfície.

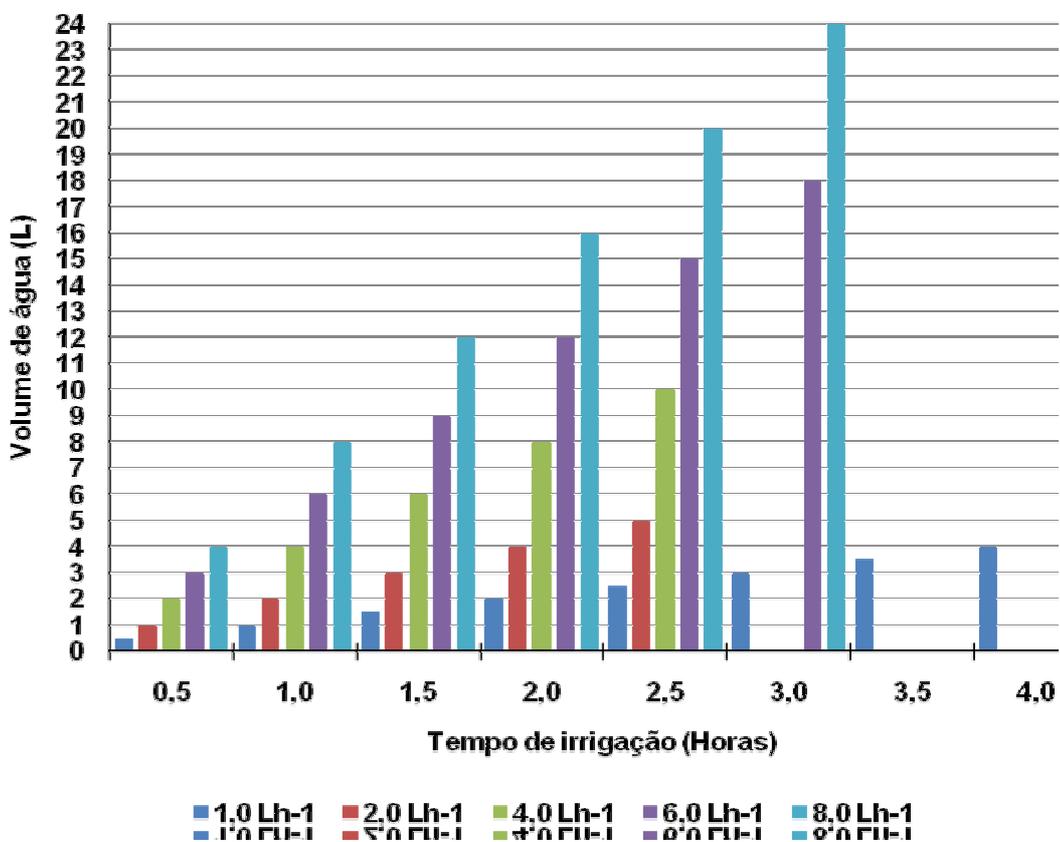


Figura 14 - Volume de água aplicado para formação de área molhada de 0,13m² com emissor em subsuperfície.

disto, a utilização do emissor enterrado sinaliza para uma probabilidade muito grande de que o sistema de irrigação apresente grandes perdas por percolação, comprometendo a sua eficiência, a ponto de até mesmo, tornar inadequada a sua utilização.

Contudo, visando uma melhor representação dos resultados as Figuras 15 e 16 indicam a formação da área molhada superficial e subsuperficial anteriormente discutido e as Figuras 17 a 26 o perfil de umidade apresentado no solo em função dos diferentes tratamentos.

EMISSOR EM SUPERFÍCIE

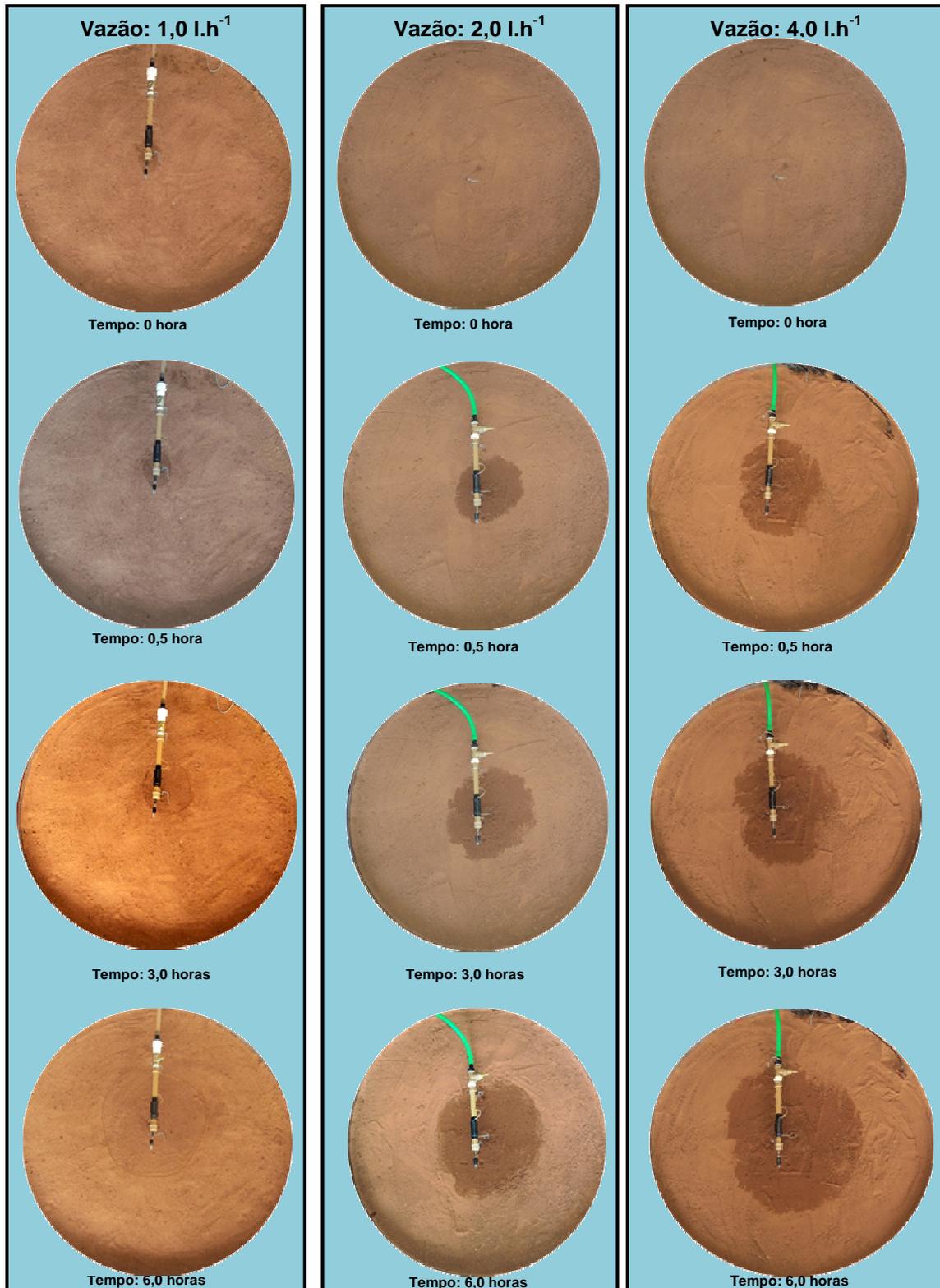
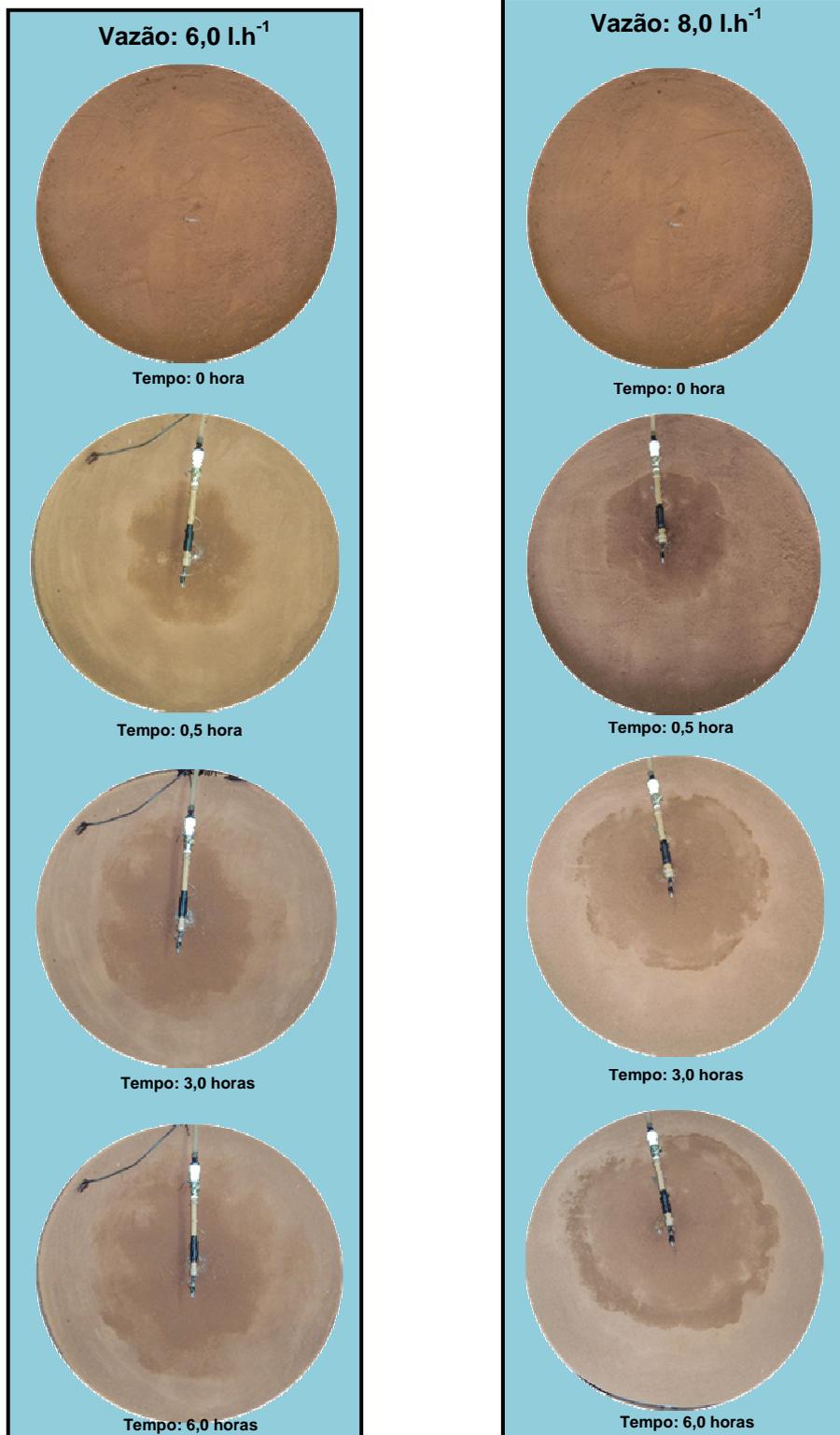


Figura 15 – Formação de círculo de molhamento com emissor em superfície e diferentes vazões em Lh⁻¹.

Figura 15, Cont..

EMISSOR EM SUPERFÍCIE



EMISSOR EM SUBSUPERFÍCIE

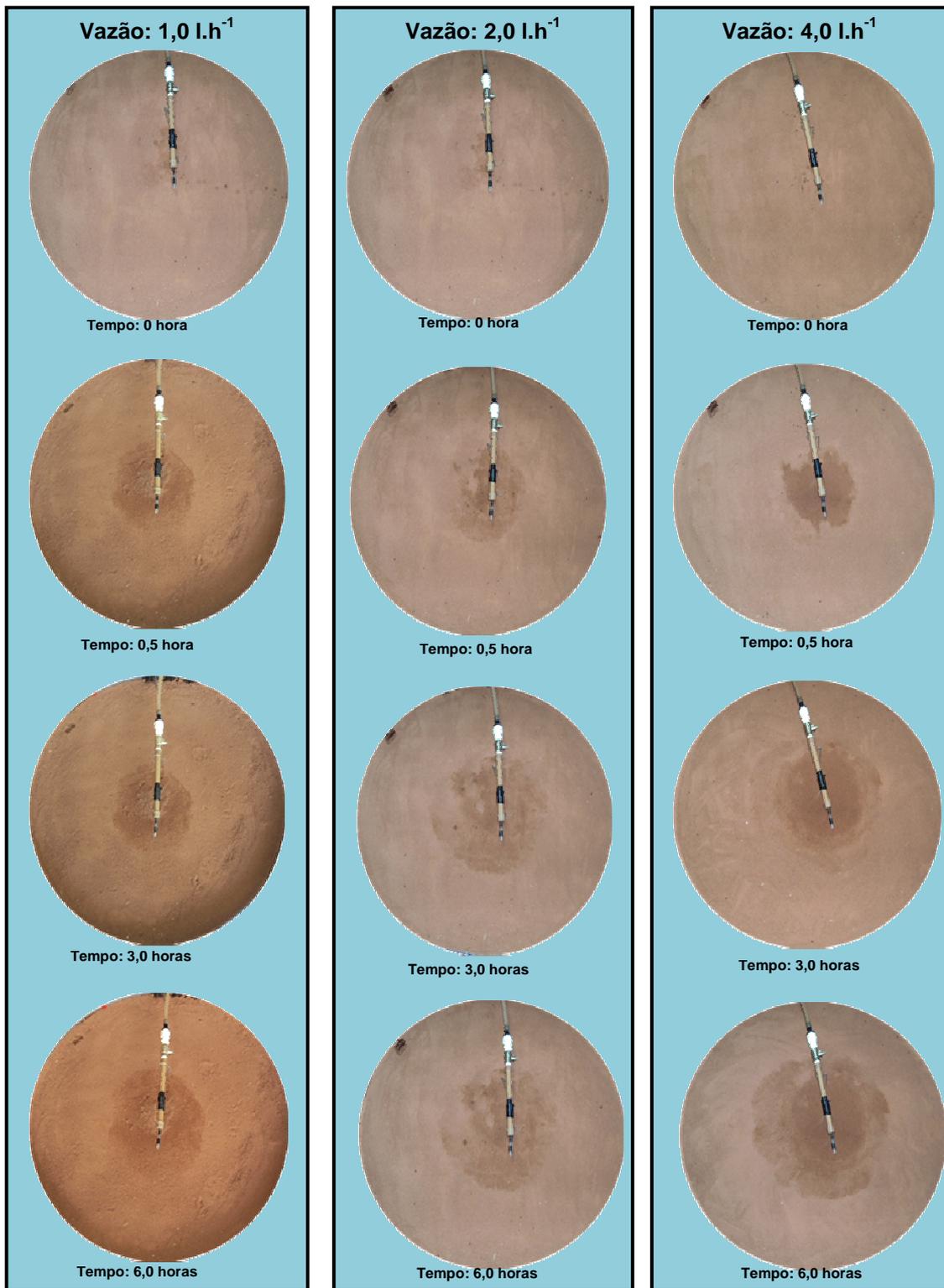
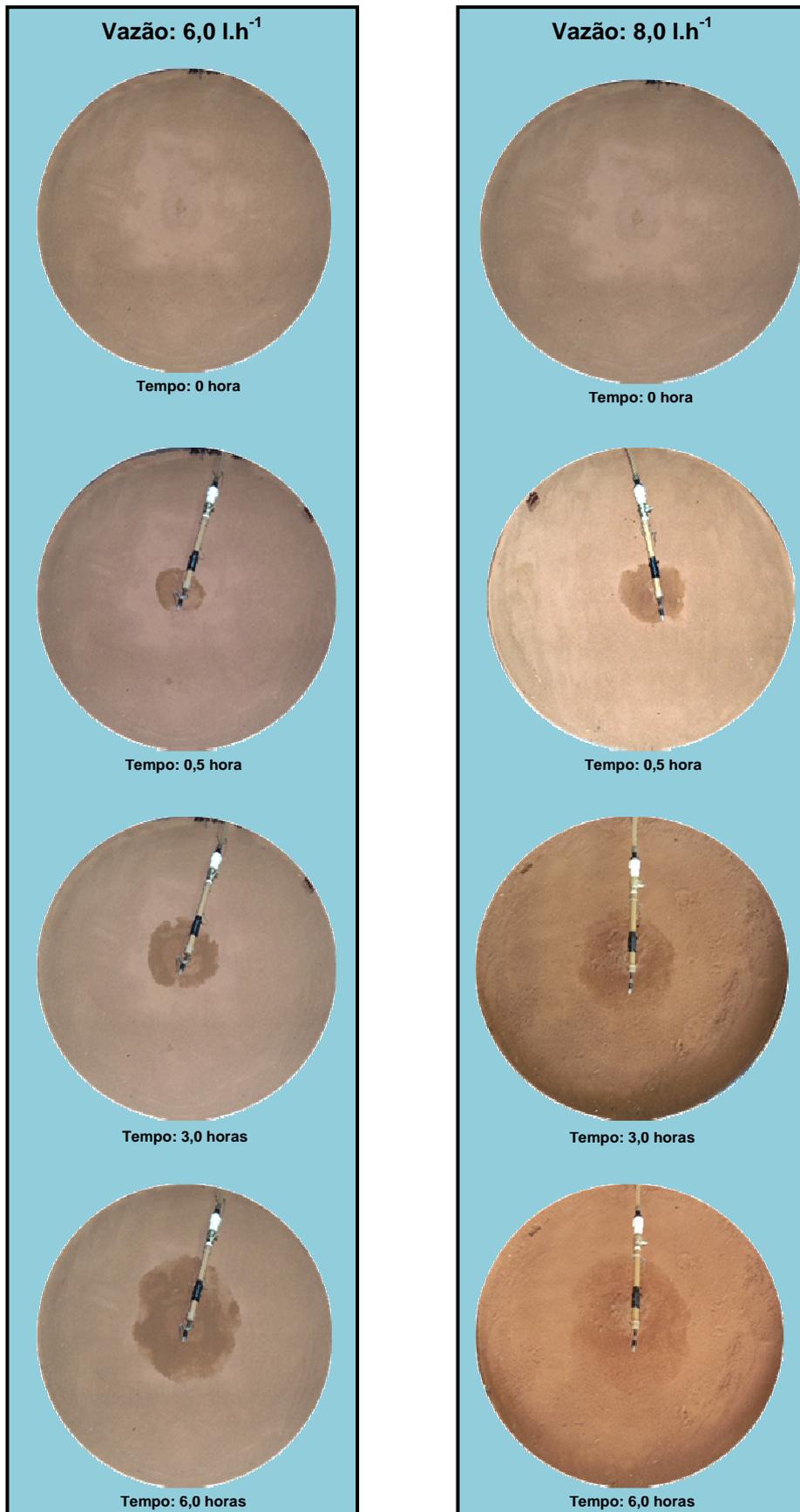


Figura 16 – Formação da área molhada com emissor em subsuperfície e diferentes vazões em Lh⁻¹.

Figura 16, Cont..

EMISSOR EM SUBSUPERFÍCIE



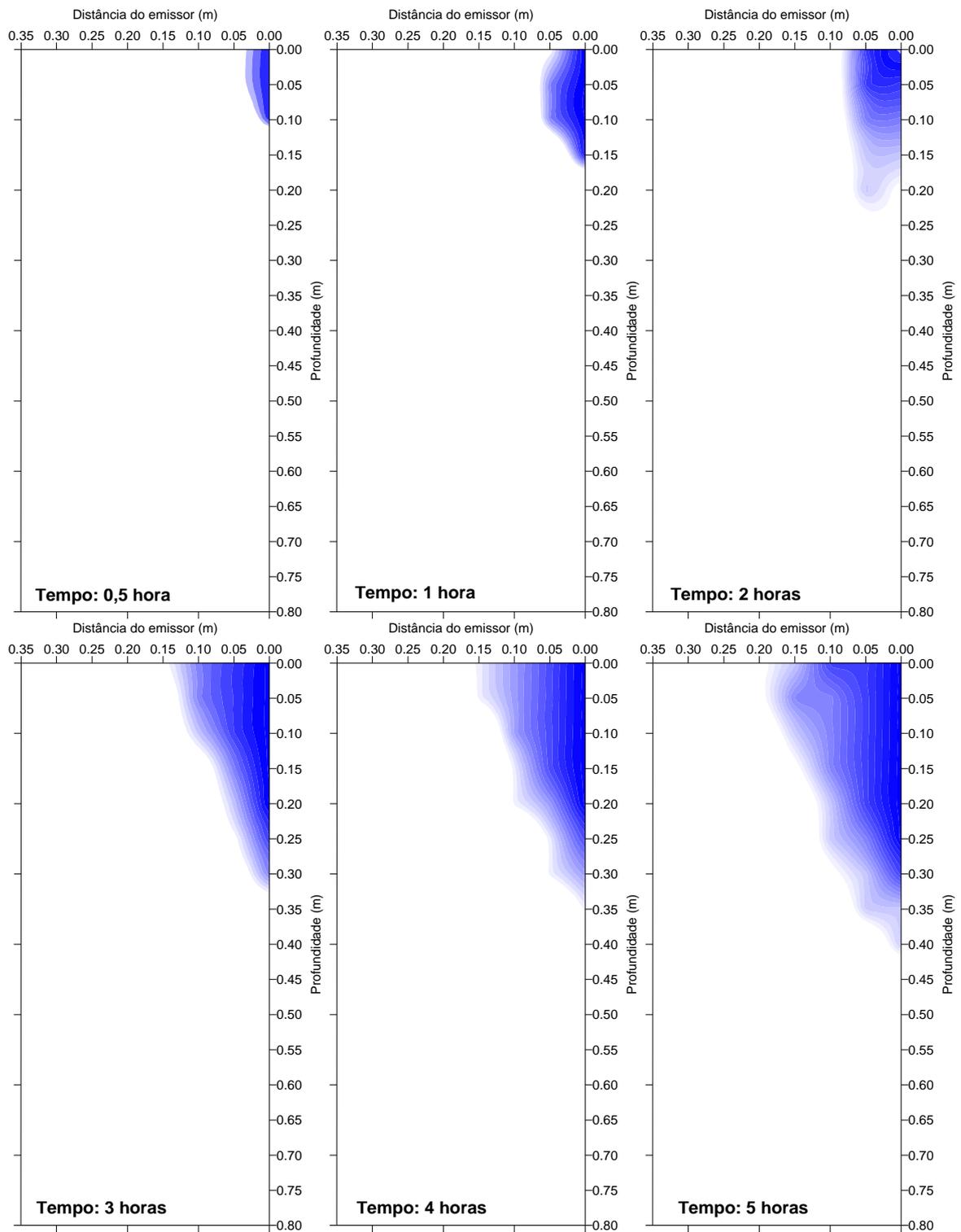
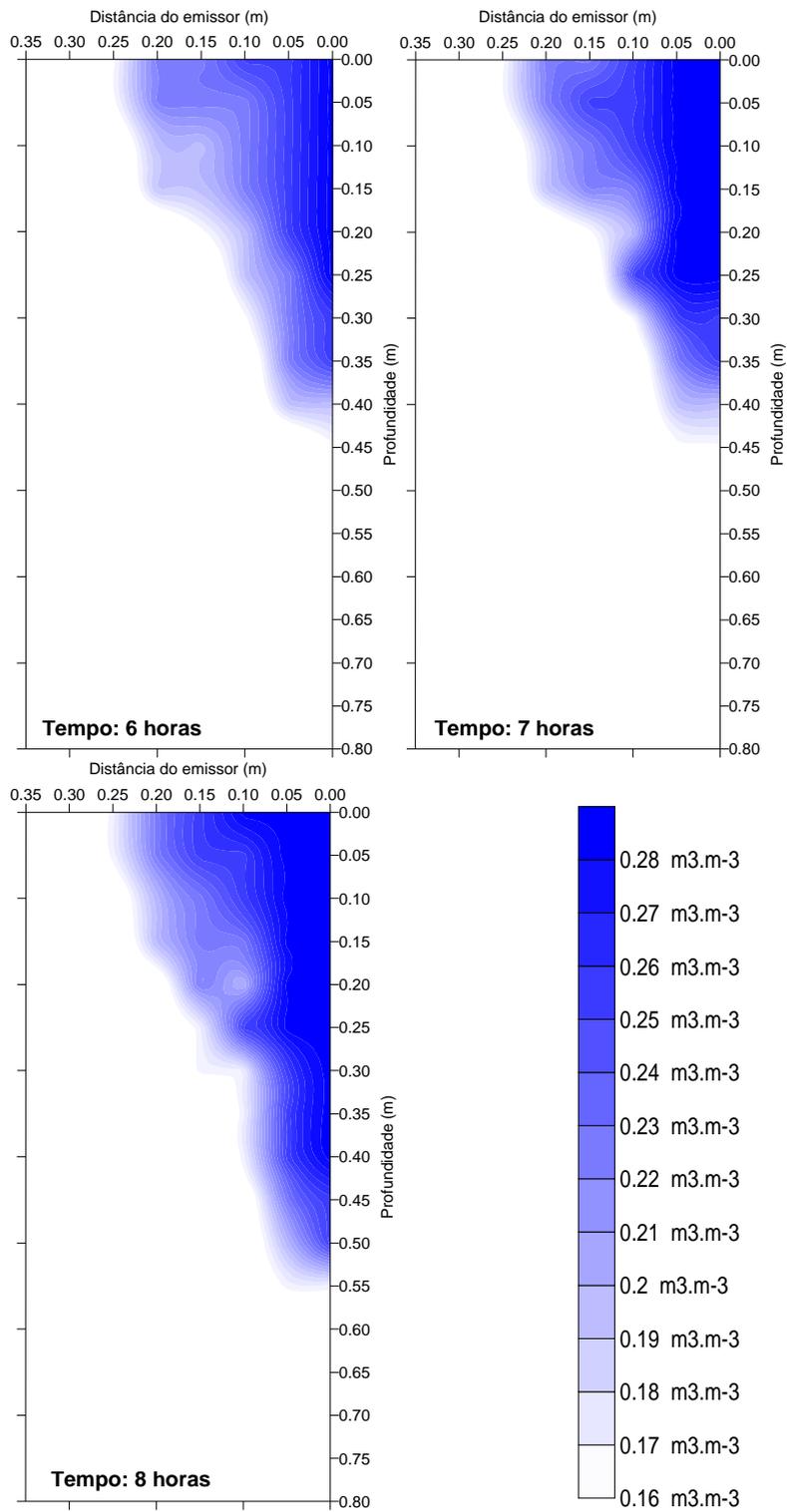


Figura 17 – Distribuição espacial da água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 1Lh^{-1} com emissor na superfície.

Figura 17 Cont..



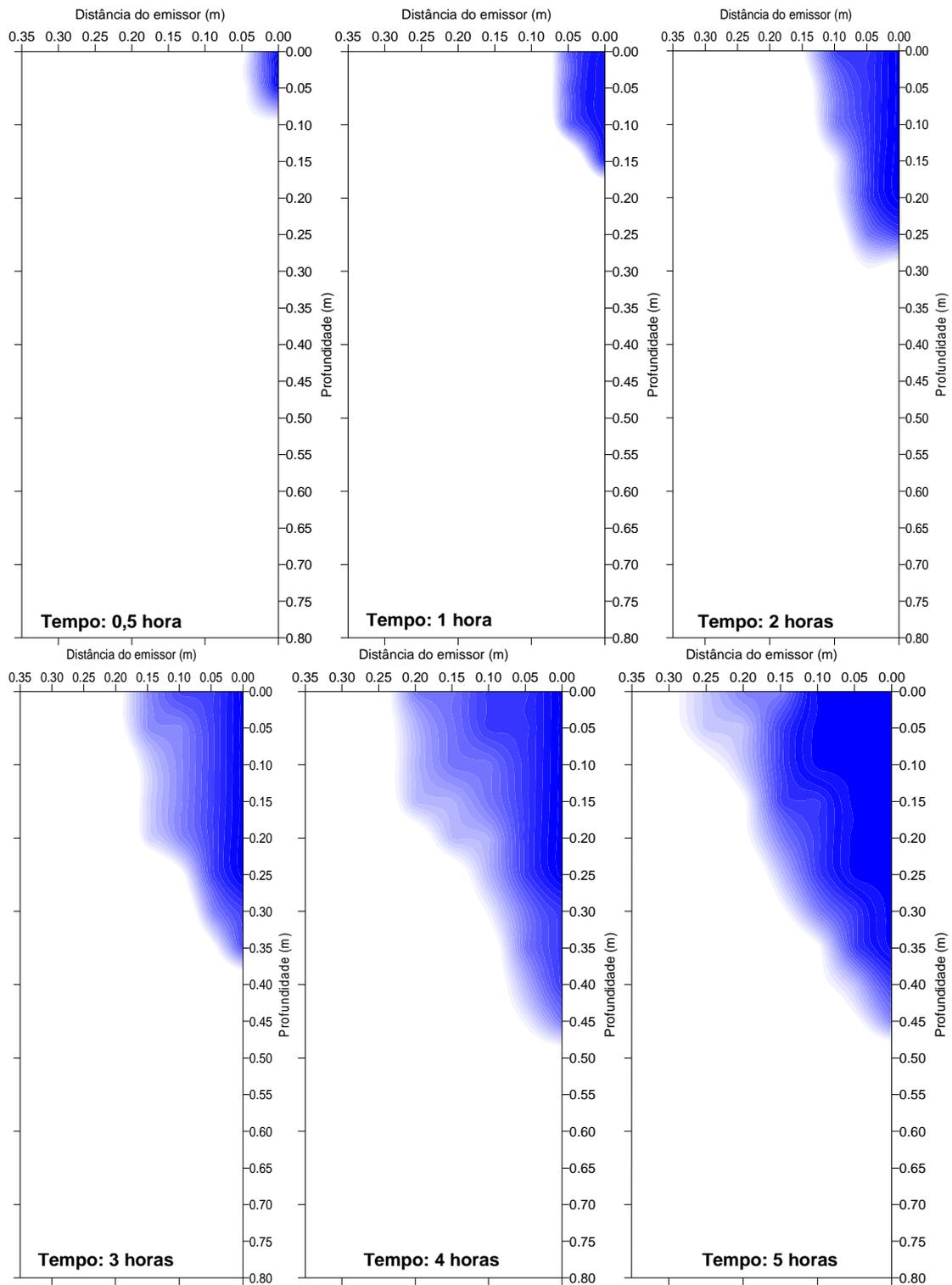
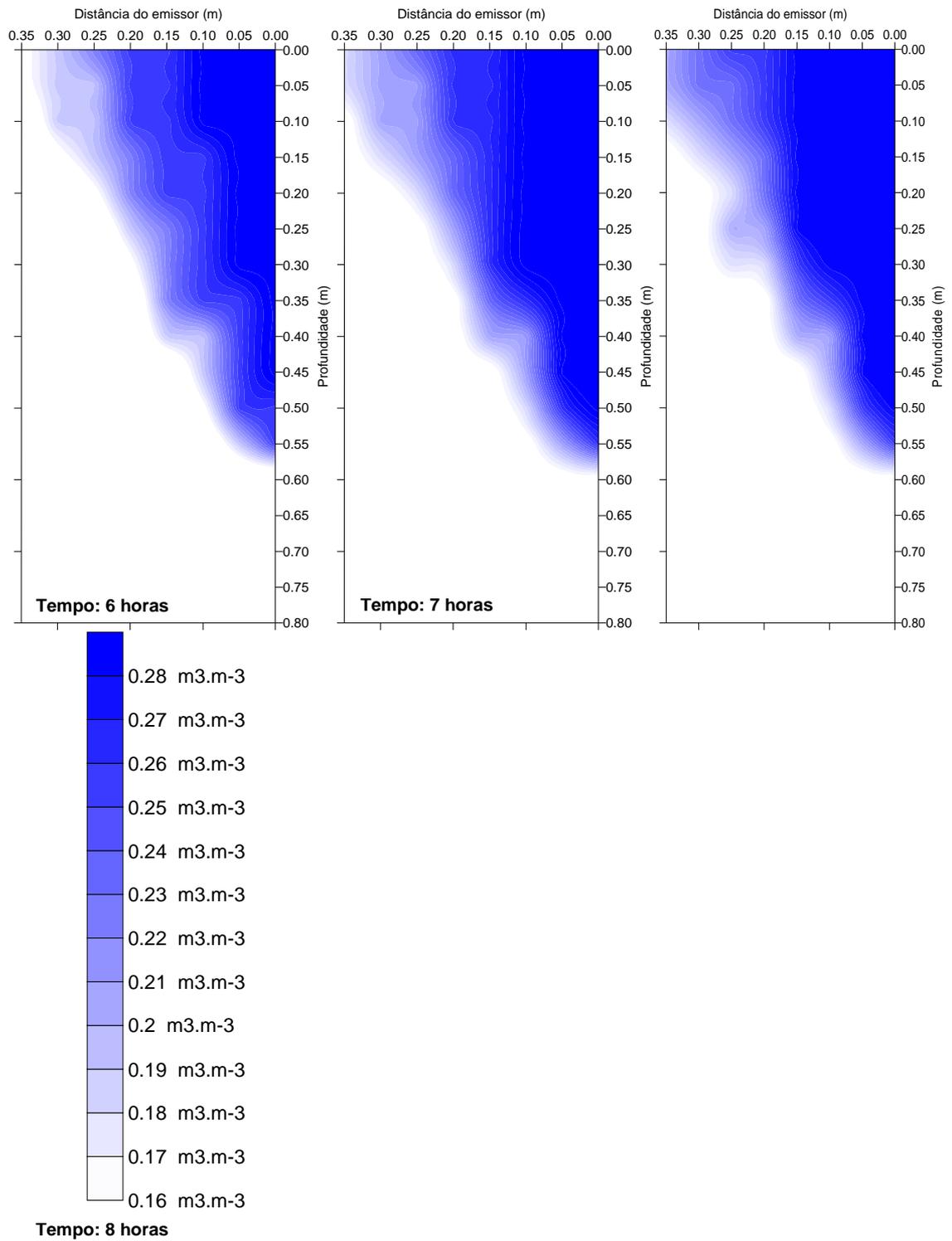


Figura 18 - Distribuição espacial da água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 2Lh^{-1} com emissor na superfície.

Figura 18 Cont..



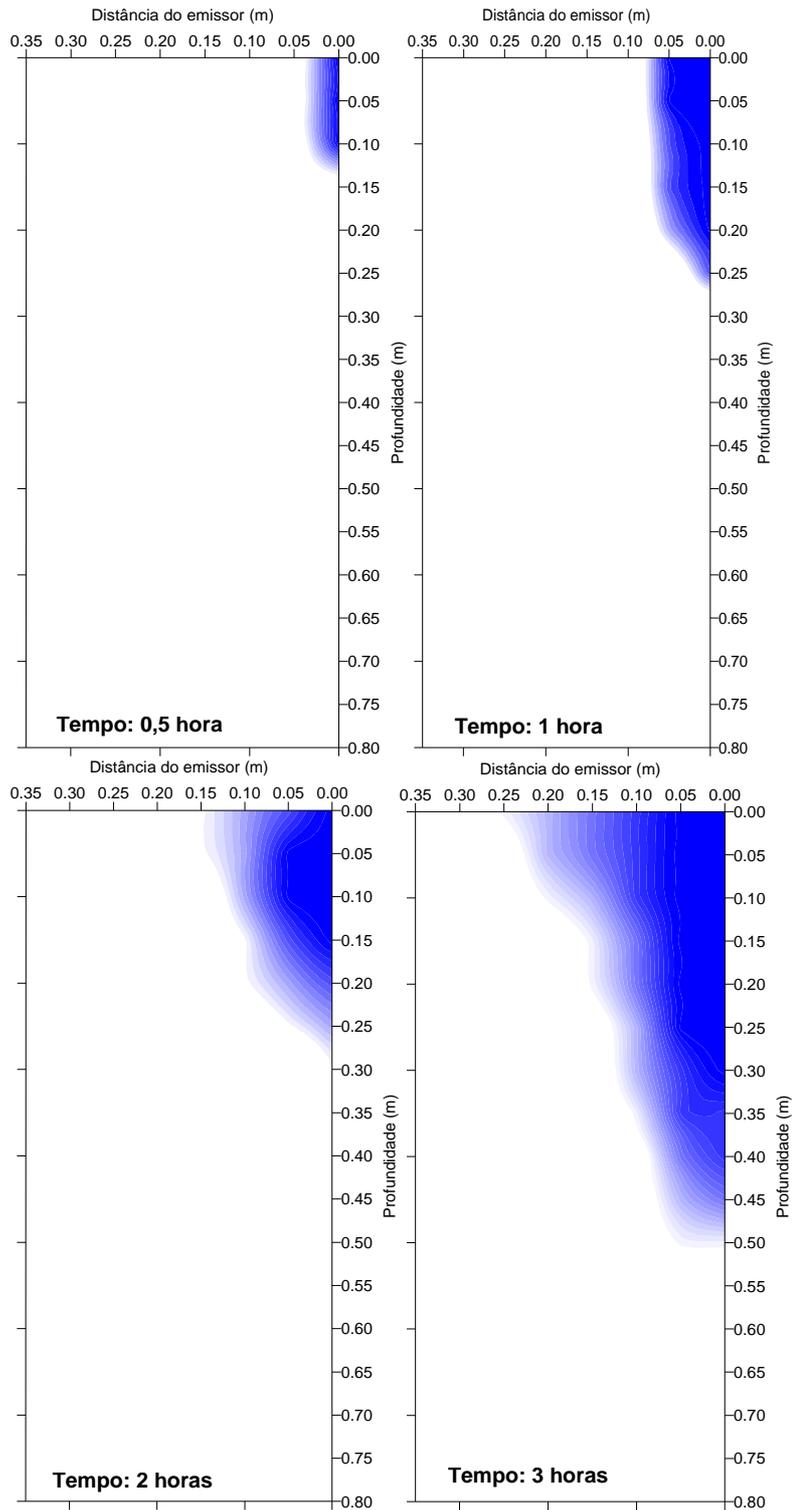
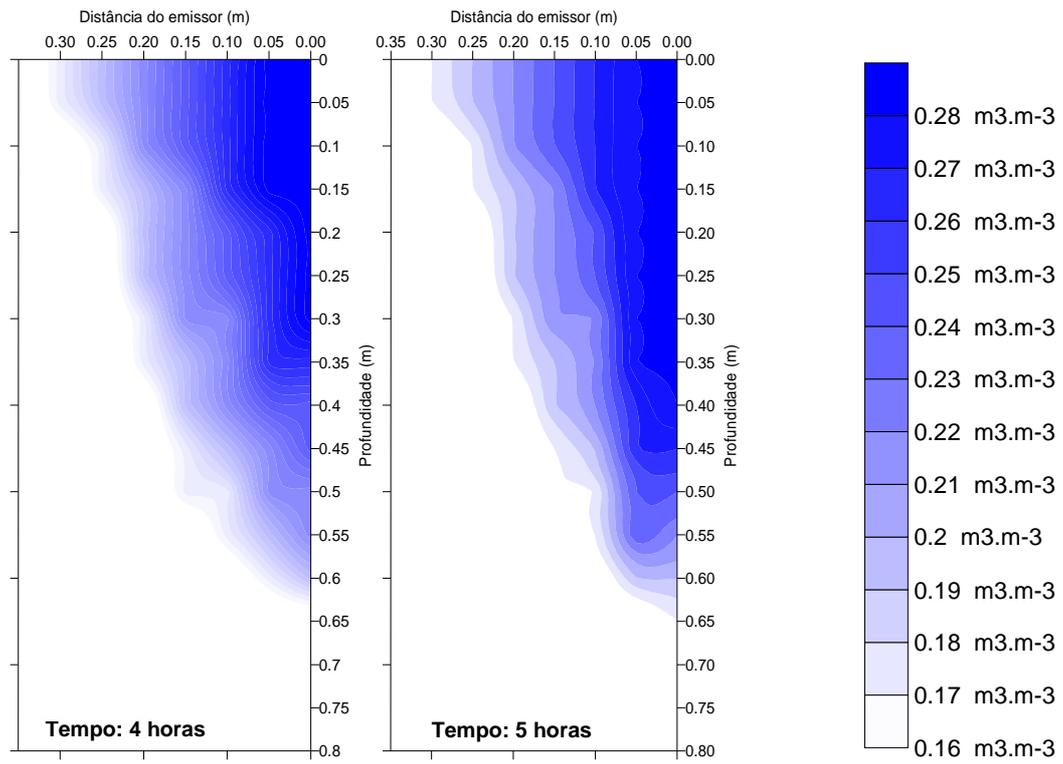


Figura 19 - Distribuição espacial da água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 4Lh^{-1} com emissor na superfície.

Figura 19 Cont..



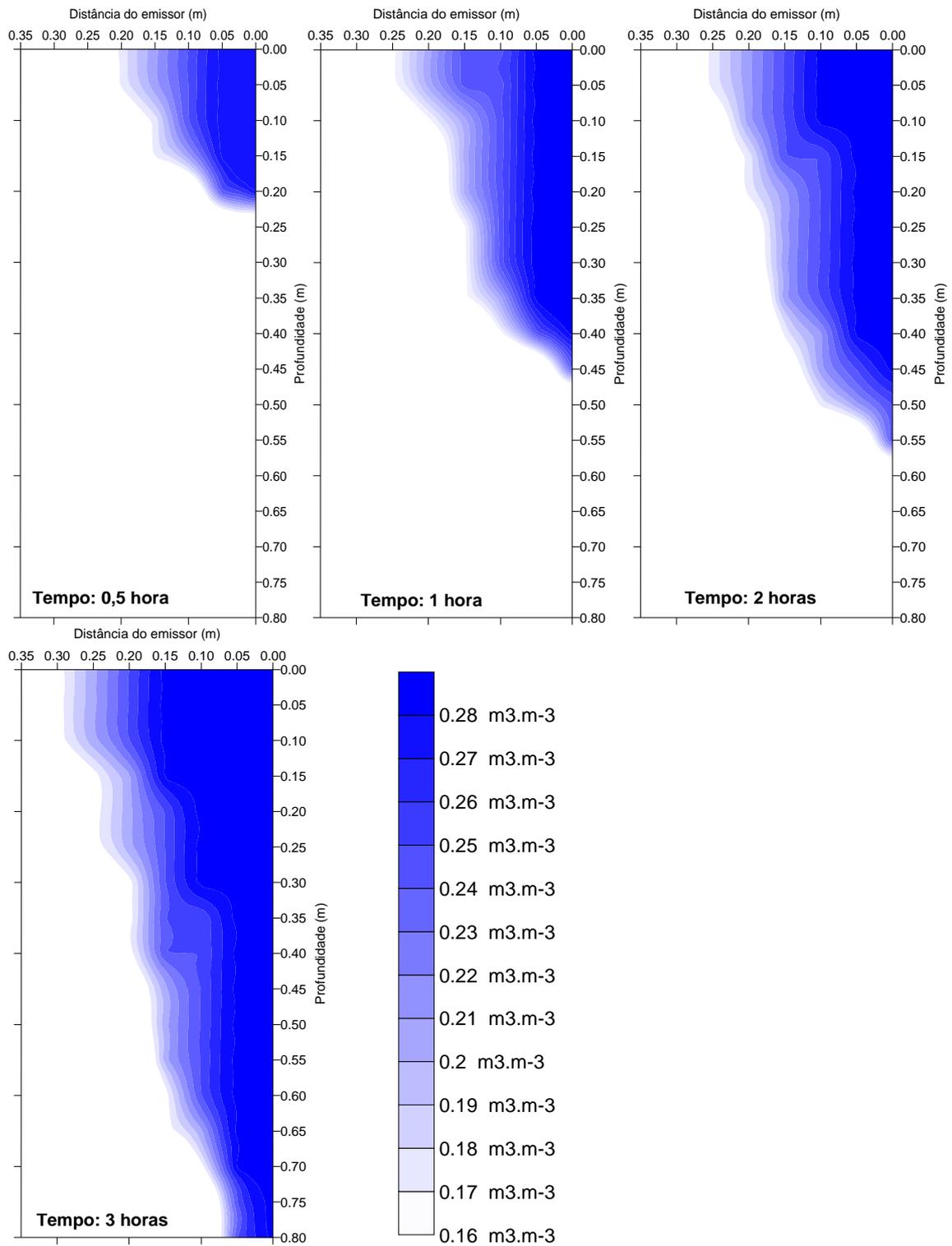


Figura 20 - Distribuição espacial da água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 6Lh^{-1} com emissor na superfície.

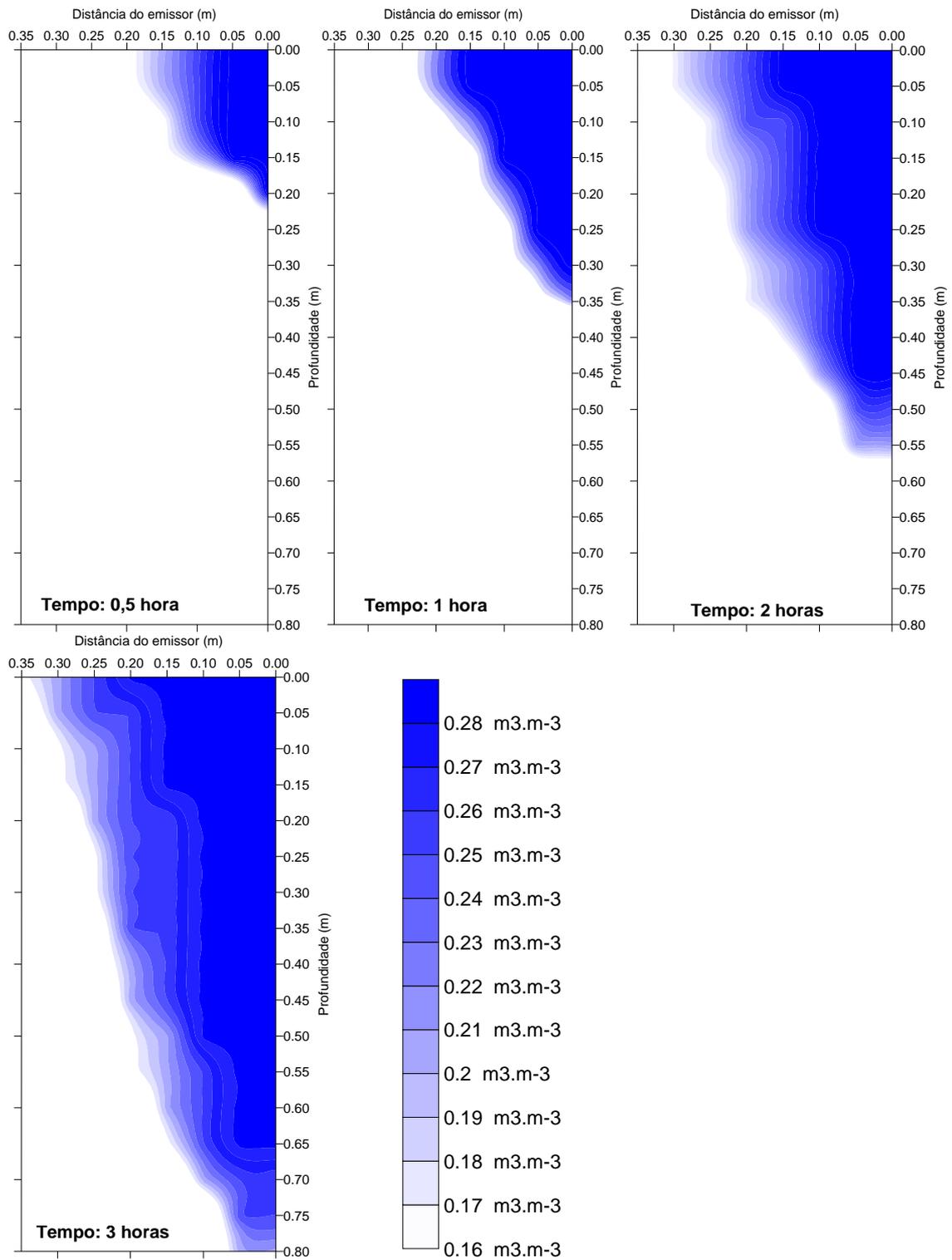


Figura 21 - Distribuição espacial da água ($m^3.m^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de $8Lh^{-1}$ com emissor na superfície.

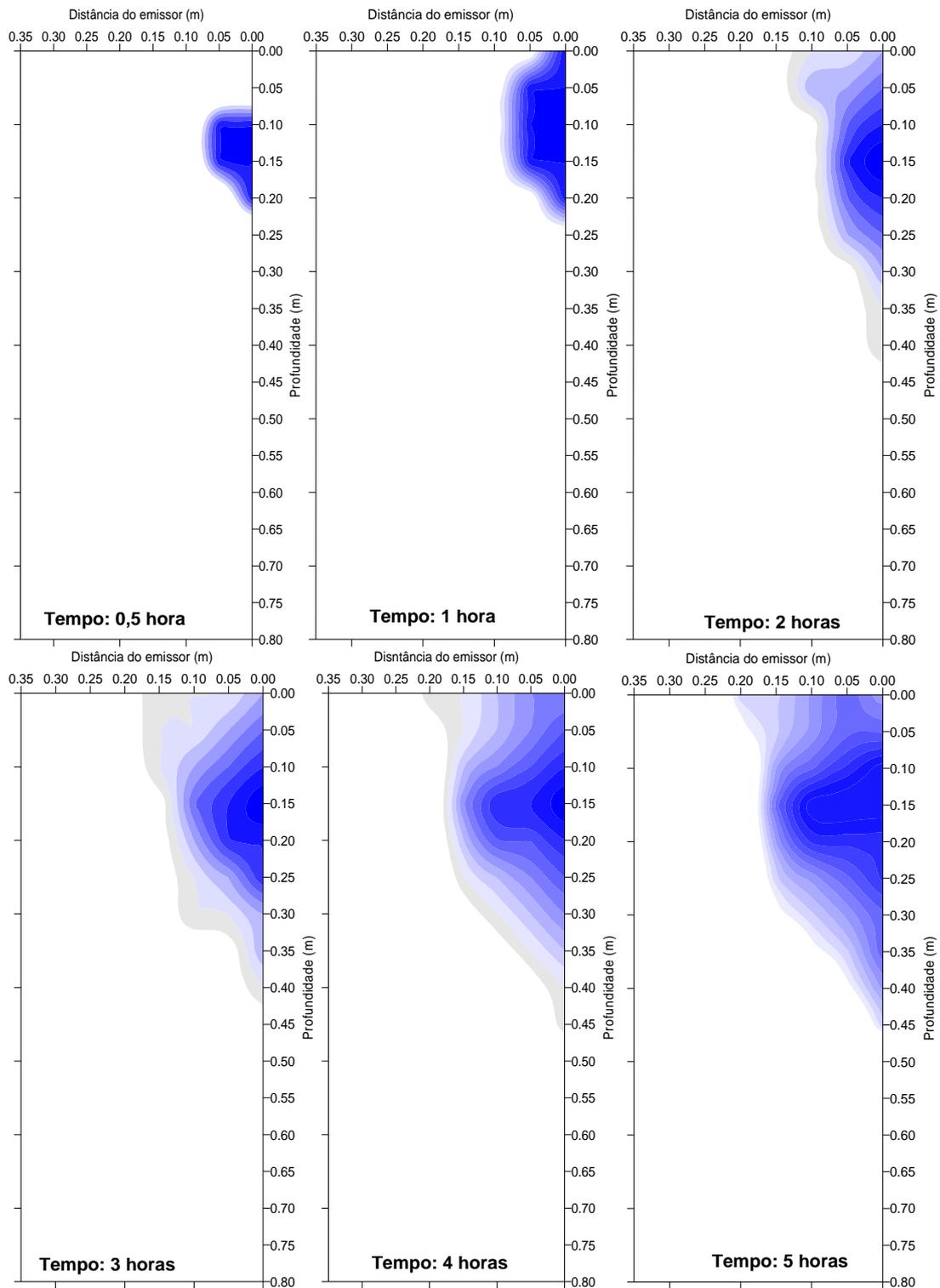
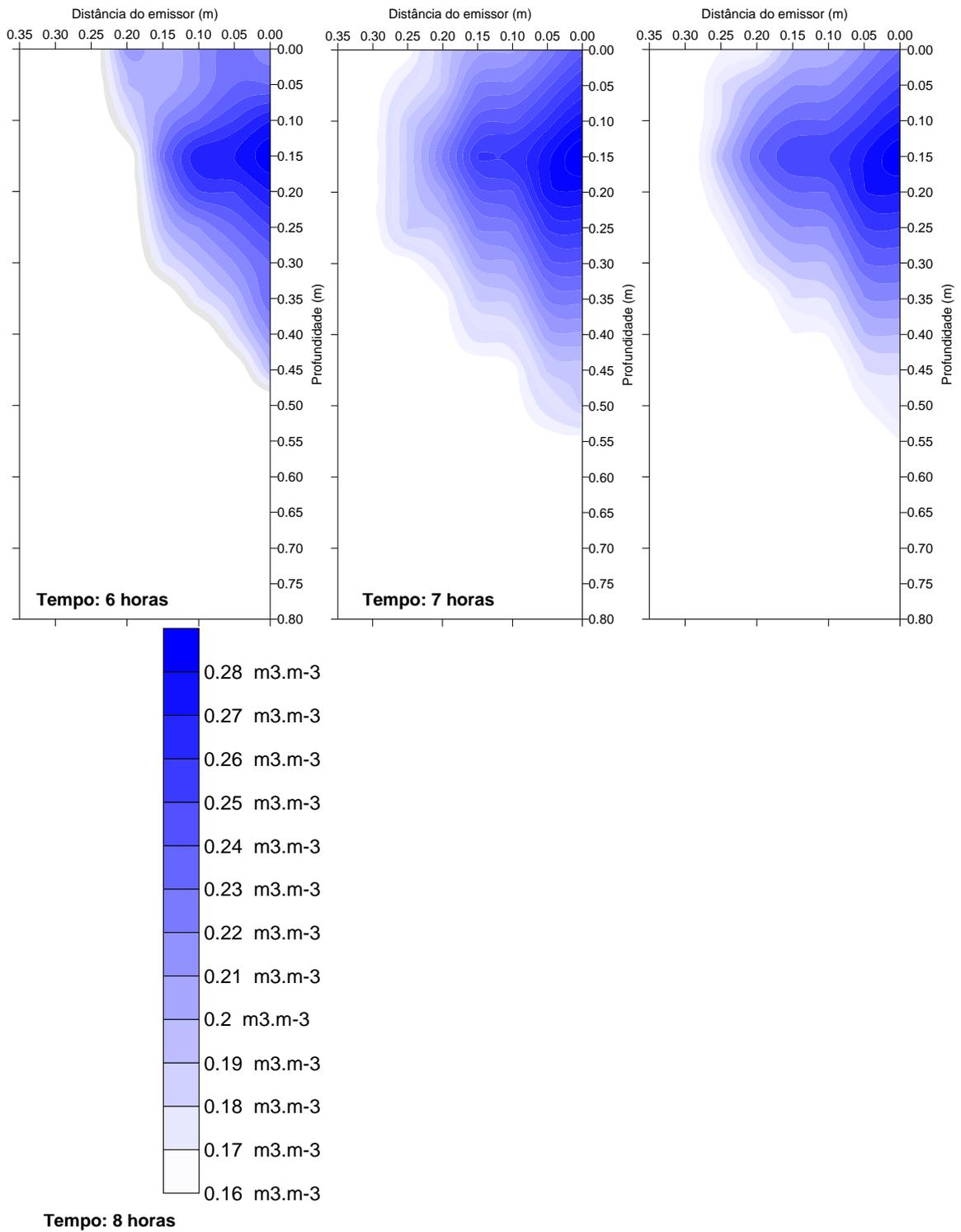


Figura 22 - Distribuição espacial da água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 1Lh^{-1} com emissor na subsuperfície.

Figura 22 Cont..



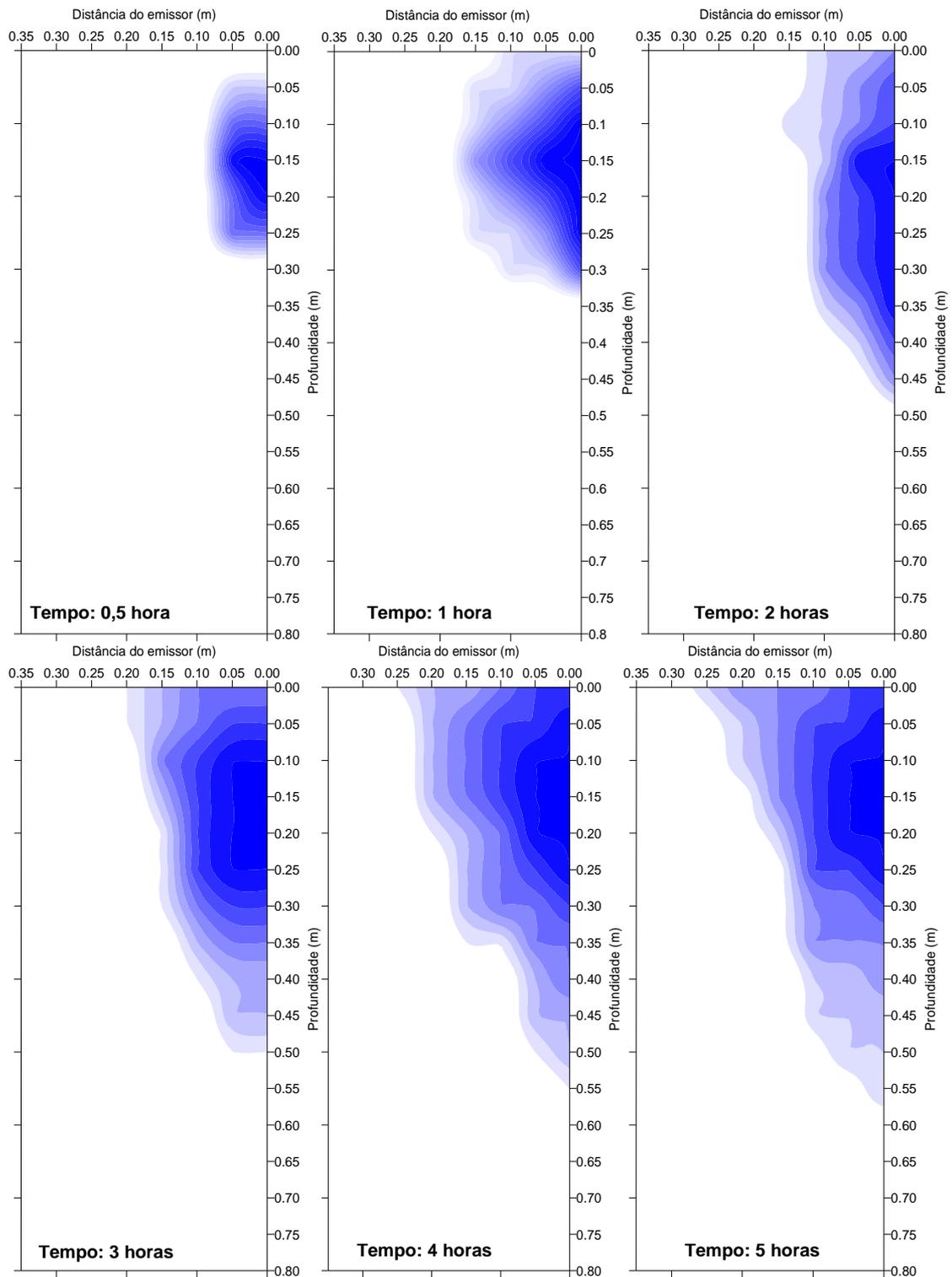
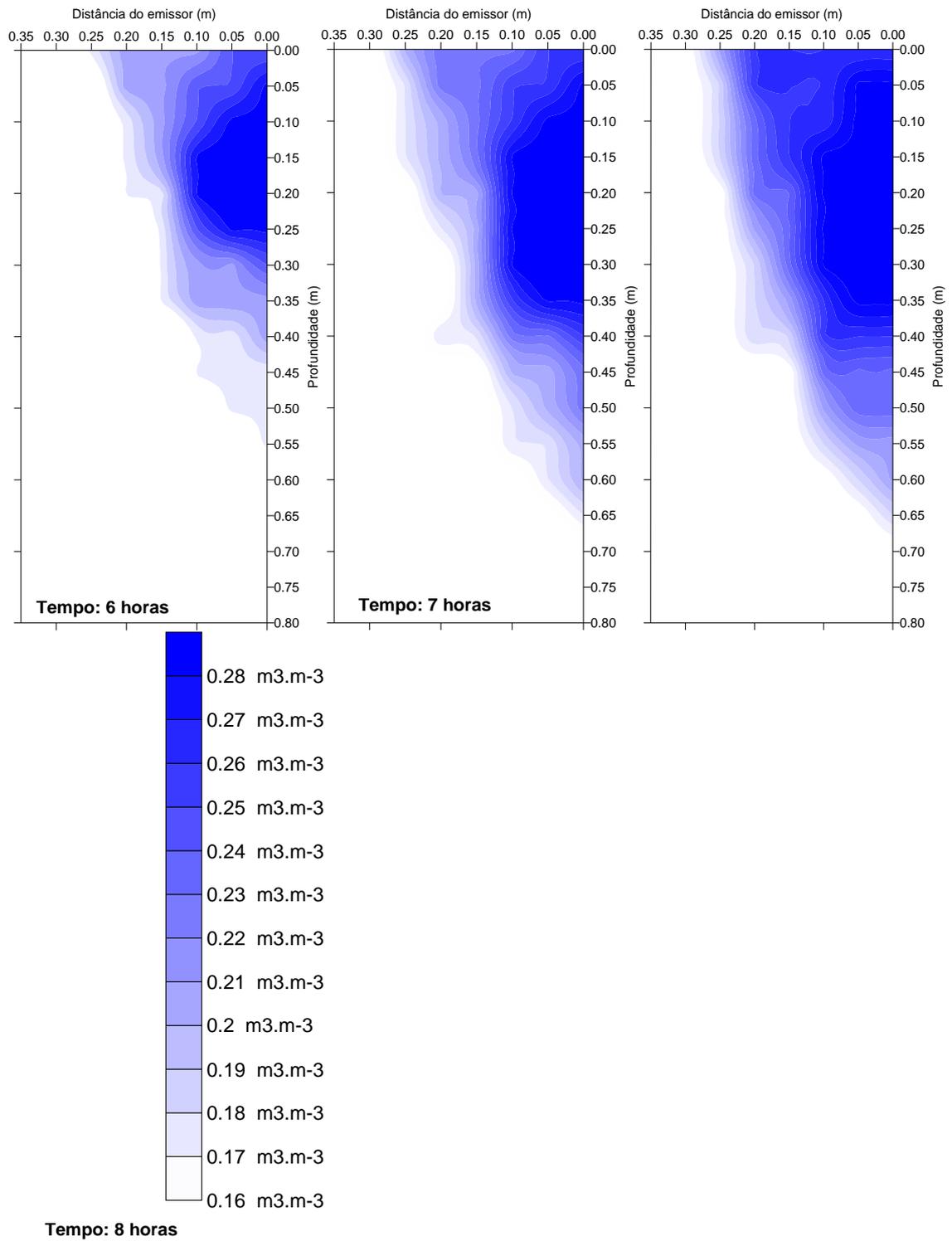


Figura 23 - Distribuição espacial da água ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de 2Lh^{-1} com emissor na subsuperfície.

Figura 23 Cont..



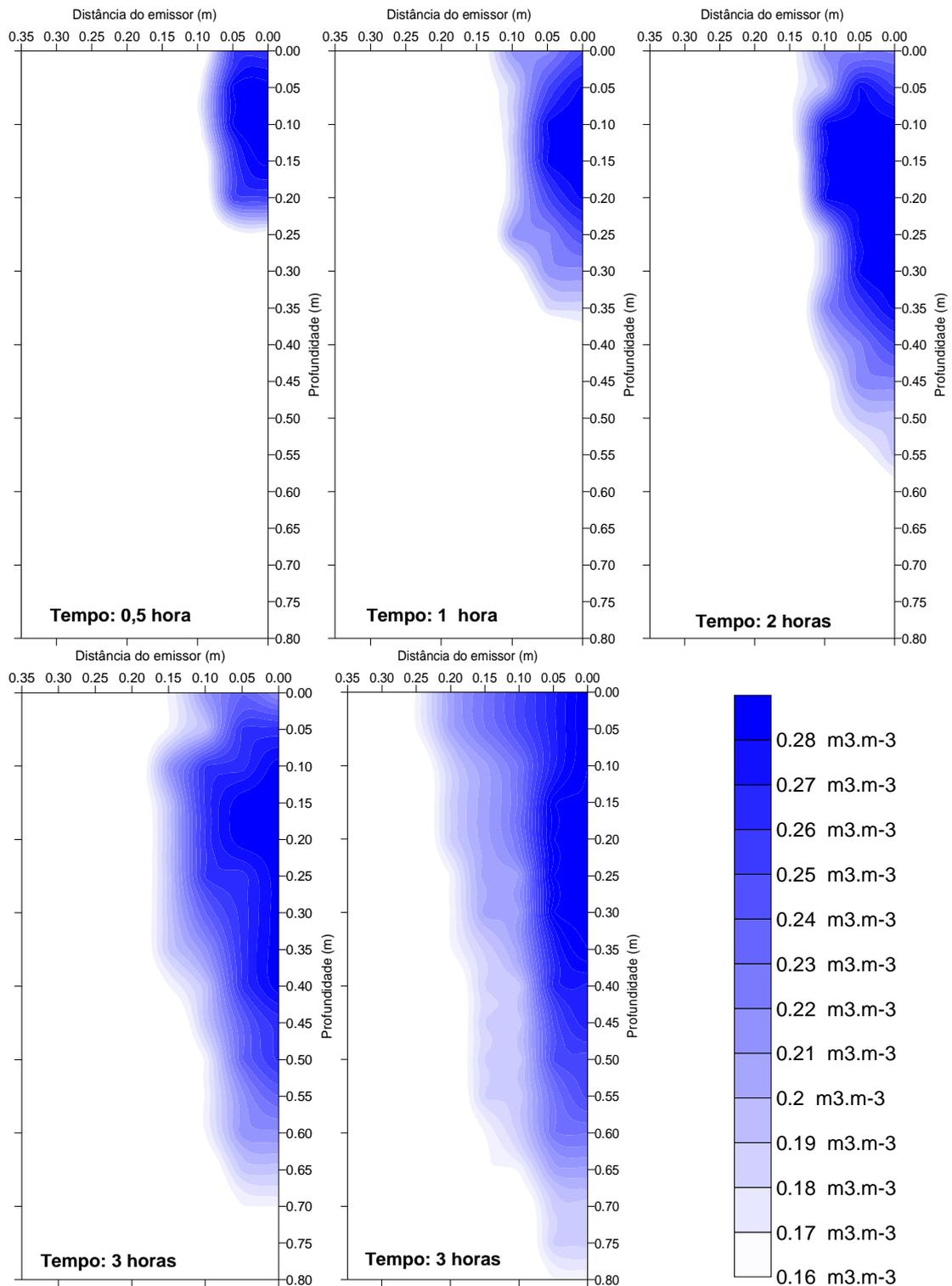


Figura 24 - Distribuição espacial da água ($m^3.m^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de $4Lh^{-1}$ com emissor na subsuperfície.

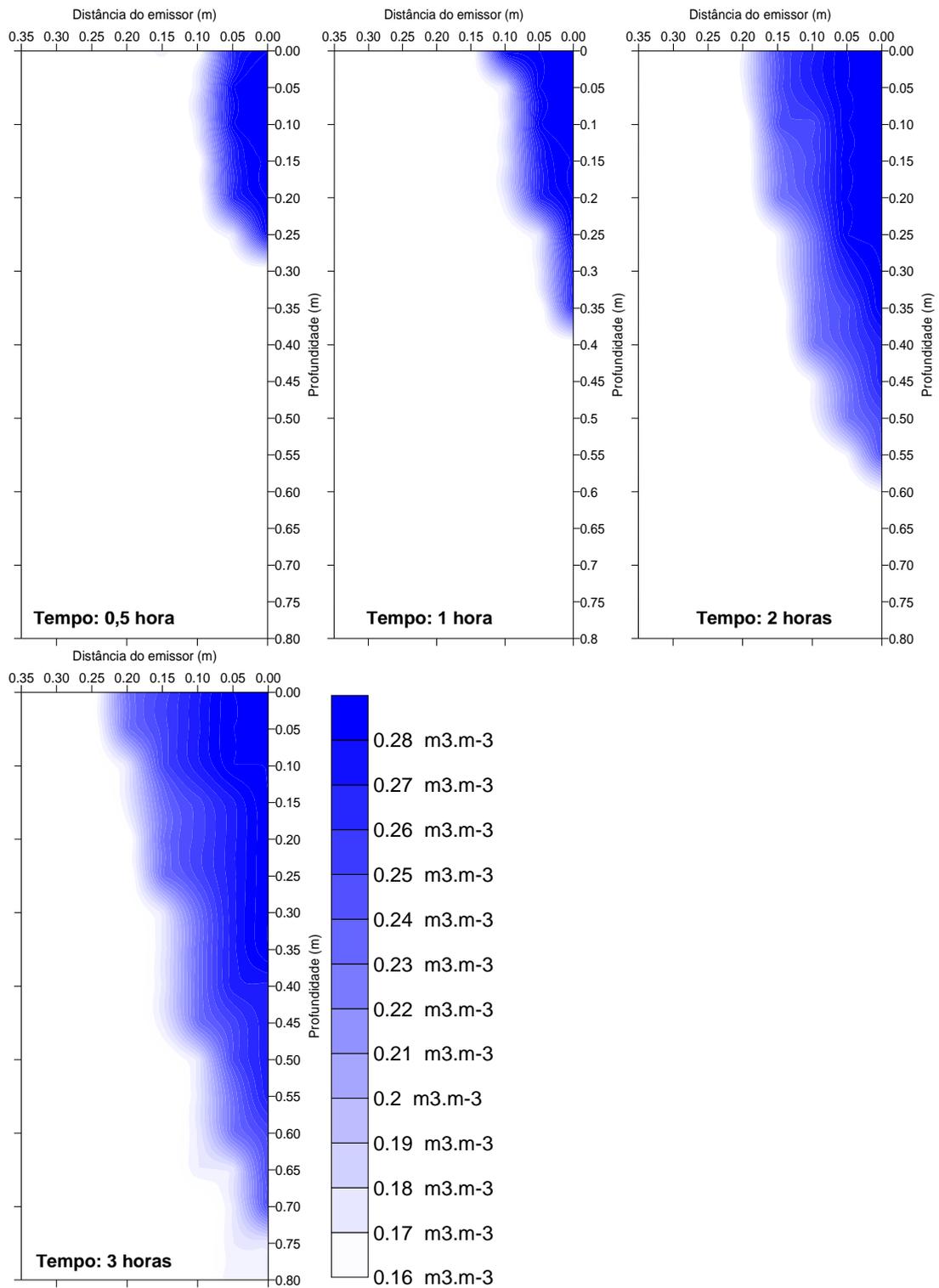


Figura 25 - Distribuição espacial da água ($m^3.m^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de $6Lh^{-1}$ com emissor na subsuperfície.

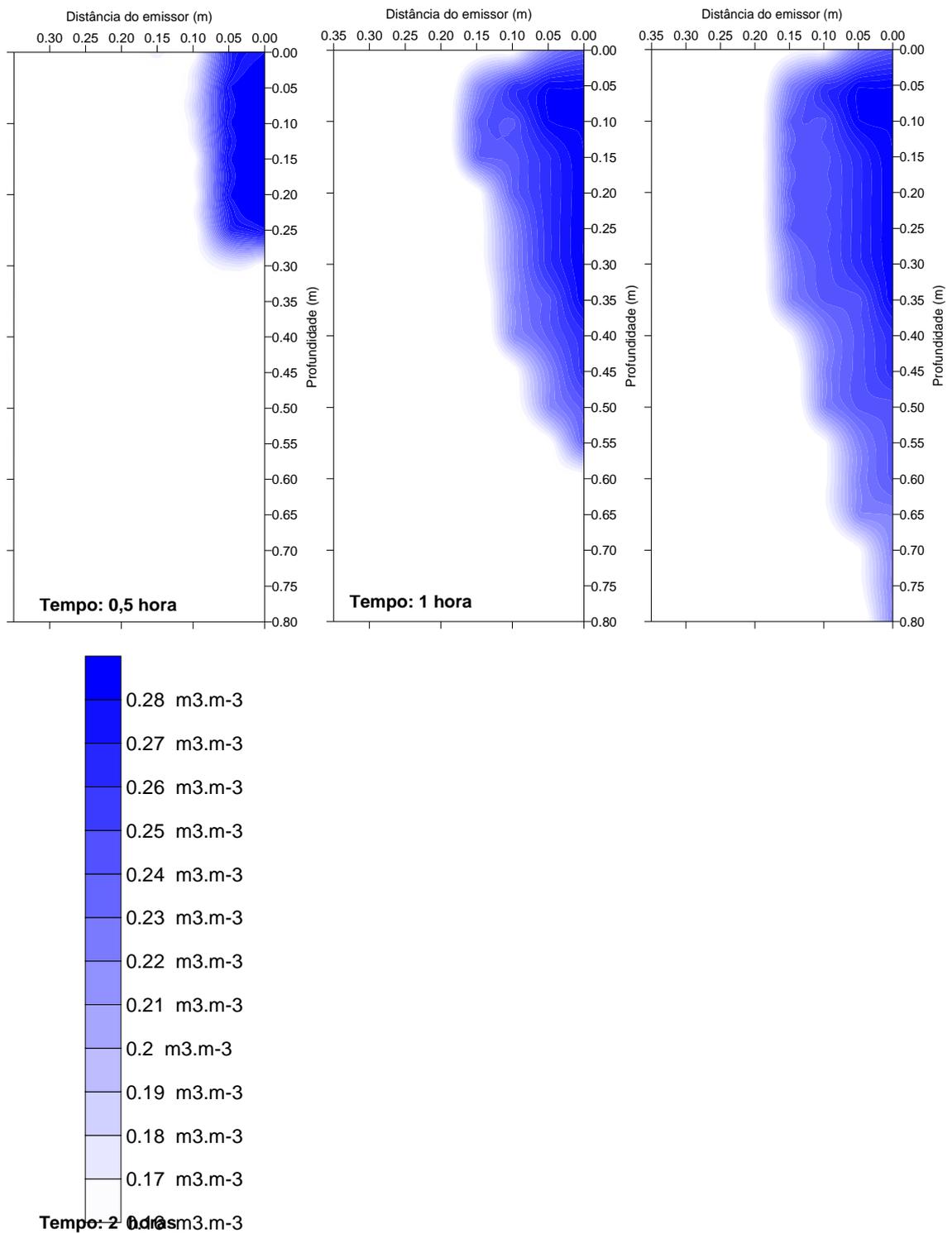


Figura 26 - Distribuição espacial da água ($m^3.m^{-3}$), em função do tempo de irrigação e vazão de $8Lh^{-1}$ com emissor na subsuperfície.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que as combinações estudadas, entre vazão aplicada e posição do emissor, permitem a identificação de um arranjo adequado para projetar o sistema de irrigação por gotejamento para a cultura da estévia, respeitadas as características da cultura, em termos de espaçamentos e de demanda hídrica. Conclui-se também que vazões de até 4 Lh^{-1} são mais adequadas, particularmente com emissor posicionado na superfície. Utilização de maiores vazões, particularmente com emissores enterrados, tem grande potencial para promover inaceitáveis perdas por percolação, devendo ser evitadas. A vazão de 1 Lh^{-1} apresenta limitação de uso considerando o tempo requerido para formação do bulbo úmido. Em relação a vazão de 2 Lh^{-1} houve tendência a um melhor equilíbrio na distribuição de água com emissor posicionado na superfície e subsuperfície do solo. A técnica do TDR mostrou-se satisfatória para estudo do movimento da água no perfil do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAR-YOSEF, B.; SHEILHOLSLAMI, M. R.. 1976. Distribution of water and ions in soils irrigated and fertilized from a trickle source. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 40:575-582.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8a ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BRESLER, I.; HELLER, J.; DINER, N.; BEN-ASHER, I.; BRANDT, A.; GOLDBERG, D.. Infiltration from a trickle sources. II. Experimental data and theoretical predictions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 1971. v. 35p. 683-689.

BURT, C. M.; STYLES, S. W. **Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops (with special sections on buried drip)**. Irrigation Training and Research Center, Cal Poly, San Luis Obispo. 1994. 261 p.

CAMP, C. R.. **Subsurface drip irrigation: A review**. Trans. ASAE 1998. 41(5): 1353–1367.

CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. **Alimentos para fins especiais – Dietéticos**. Livraria Varela, São Paulo, 1996. p. 26.

CASACCIA, J.; ÁLVAREZ, E. Recomendaciones técnicas para una producción sustentable Del ka'a he'e (Stevia rebaudiana (Bertoni) Bertoni em el Paraguay). Caacupe Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Investigación Instituto Agronómico Nacional Agrícola. **Manual técnico**, nº 8, 51p. 2006.

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUZA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.4, p. 651-657, abr. 1999.

COELHO, E. F.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. **Transactions of de ASAE**. St. Joseph, v. 39, p. 2007 – 2016, 1996.

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

DE VARGAS, R. **Informe sobre viaje al Japón para observar la producción, comercialización e industrialización de la planta Stevia rebaudiana Bertoni**. Asunción. Julio 1980.

DORTER, K. Study on Solution of Existing Problems with Underground Irrigation. **Rep. Inst. for Soil Conservation**, Martin Luther University, W. Germany. 35 pp. 1962.

EARL, K. D.; JURY, W. A. Water movement in bare and cropped soil under isolated trickle emitters: II. Analysis of crop soil experiments. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 41:856-861. 1977.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

FELLNER-FELDEGG, H. The mensurament of dielectrics in domain. **Journal of Physics Chemical**, v. 73, p. 616-623, 1969.

FUNCFOS. **FUNDACION COLOMBIANA PARA EL DESARROLLO Y EL FOMENTO SOCIAL. MANUAL DE LA STEVIA**. Disponível em: <http://funcfos.org/MANUAL%20STEVIA.pdf>. Acesso em: 16/05/2010

GENTRY, A.H. A Field Guide of the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with Supplementary Notes on Herbaceous Taxa. **The University of Chicago Press**, Chicago, 895 pp. 1996.

HACHUM, A. V.; ALFARO, J. F.; WILLARDSON, L. S. Water movement in soil from trickle source. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v.102, n.2, p. 179-192, 1976.

HAVERKAMP, R.; BOURADUI, F.; ZAMMIT, C.; ANGULO-JARAMILLO, R. Movement of moisture in the unsaturated zone. In: Delleur JW (ed). **Groundwater engineering handbook**. CRC, Boca Raton, p. 5.1 – 5.50.1999.

KATAYAMA, O; SUMIDA, T; HAYASHI, H; MITSUASHI, H. **The practical application of Stevia and research and development data (English translation)**. I.S.U. Company, Japan. 747 pp. 1976.

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

KIRKHAM, M. B. **Principles of Soil and Plant Water Relation**. Elsevier, 2005, p. 500.

LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production**. Elsevier, 2007, 608 p.

LAZAROVITCH, N. **The effect of soil water potential, hydraulic properties and source characteristic on the discharge of a subsurface source**. Thesis submitted to the Faculty of Agriculture of the Hebrew. University of Jerusalem, 2001. 110 p.

LI, J.; ZHANG, J.; RAOC, M. Wetting patterns and nitrogen distribution as affected by fertigation strategies from surface point source. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 67, p. 89-104, 2004.

LIMA FILHO, O. F.; VALOIS, A. C. C. **Estévia: Sistemas de Produção**. Embrapa Agropecuária Oeste, 55p. 2004.

MEDEIROS, PR. R. F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do pepino enxertado**. 2007. 83p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MILLER, E. A low-head irrigation system in small holdings. **Agricultural Water Management**. 17:37–47. 1990

MOSTAGHIMI, S.; MITCHELL, J. K.; LEMBKE, W. D. Effect of discharge rate on distribution of moisture in heavy soils irrigated from a trickle source. **Transactions of de ASAE**. 25(4): 975-980. 1982.

ORON, G.; DEMALACH, J.; ZAFIR, H.; CIBOTARU, R. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 1, p. 25-36, 1991.

PATEL, N.; RAJPUT, T. B. S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. **Water Technology Centre**, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, 2006. 209-223.

PHENE, C. J.; HUTMACHER, R. B.; AYARS, J. E.; BEN-ASHER, J. Subsurface drip irrigation, A BMP for controlling drainage outflow and reducing groundwater contamination. In: Industrial and Agricultural Impacts on the Hydrologic Environment, Proc. Second USA/CIS Conference on Environmental Hydrology and Hydrogeology, Y. Eckstein and A. Zaporazec (Eds.). **Water Environment Federation**, Alexandria, Virginia. pp. 51-69. 1993

POLAK, P.; NANES, B.; ADHIKARI, D. A low cost drip irrigation system for small farmers in developing countries. J. Am. **Water Resources Assoc.** 33:119-124. 1997.

RAMOS, M. M. Efeito da vazão e do volume de água aplicados por um emissor pontual em Latossolo Vermelho-Escuro álico, nas dimensões do bulbo molhado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.1, n.6, 1992.

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

REICHARDT, K. **A água produção agrícola**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1978. 119p.

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

ROBEY, O. E. **Porous Hose Irrigation**. Coop. Ext. Bull. 133. Michigan State College, East Lansing, Michigan. 6 pp. 1934.

ROSA, C. I. L. F.; LOURENÇO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; TRINTINALHA, M. A. Dimensões de bulbo molhado no solo, a partir de fonte pontual de água, para manejo de água na cultura da pupunha (*Brctris gasipaes*, Kunth). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, no. 2, p. 169-174, 2004.

SHALHEVET, J.. Using water of marginal quality for crop production: Major issues. Agric. **Water Management**. 25:233-269. 1994

SHIRIVASTAVA, P. K.; PARIKH, M. M.; SAWANI, N. G.; RAMAN, S. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.25, p.179-184, 1994.

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.

STEVIA AS AN ALTERNATIVE SWEETENER PROMISE AND CHALLENGES. Disponível em: <http://www.steviaforum.com/steviapaper/>. Acesso em: 16/05/2010.

SUMIDA, T. Studies on Stevia rebaudiana Bertoni as a new possible crop for sweetening resource in Japan. **J. Cent. Agric. Exp. Sta.** 31, 1-71. 1980.

SURFER Version 8.01, 2002. Reference Manual. **Golden Software**, Inc., Golden, Colo.

THORBURN, J. P.; 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.

TOMMASELLI, J. T. G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de uma aparelho de TDR (Time Domain Reflectometry)**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Eletromagnetic determination of soil water content: mensuarements in coaxial transmission lines. **Water Resource Research**, St. Louis, v.16, p. 574-582, 1980.

TRINTINALHA, M. A.; GONÇALVES, A. C. A. **Avaliação da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) na determinação de umidade em Nitossolo Vermelho eutroférico**. Universidade Estadual de Maringá, Dezembro de 2000. 61p. (Tese de mestrado).

WARRICK, A. W.; OR, D. **Microirrigation for Crop Production**. Elsevier, 33p. 2007.

WU, I.P.; GILTLIN, H. M. Irrigations efficiencies of surface, sprinkler and drip irrigation. In: World Congress on Water Resource Water for Human needs, 2 1975, New Delhi- India, **Proceedings**... New Delhi: CBIP, 1975.