



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Armando Bagagi Bezerra

**DINÂMICA DO BULBO MOLHADO NO SOLO POR MEIO DA  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS  
IRRIGADOS DO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

JUAZEIRO-BA  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Armando Bagagi Bezerra

**DINÂMICA DO BULBO MOLHADO NO SOLO POR MEIO DA  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS  
IRRIGADOS DO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, como requisito da obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche.

Juazeiro/BA  
2015

|       |   |
|-------|---|
|       | Bezerra, Armando B.   |
| B533d | Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do Vale do Submédio São Francisco / Armando Bagagi Bezerra.<br>-- Juazeiro, 2015. |
|       | 91f. : il. 29 cm.   |
|       | Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2015.  |
|       | Orientador: Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche.  |
|       | Inclui Referências.   |
|       | 1. Irrigação. 2. Bulbo molhado do solo. 3. Espaçamento entre emissores. I. Título. II. Campeche, Luís Fernando de Souza Magno. III Universidade Federal do Vale do São Francisco. |
|       | CDD 631.587   |

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Armando Bagagi Bezerra

**DINÂMICA DO BULBO MOLHADO DO SOLO POR MEIO DA  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM PERIMETROS  
IRRIGADOS DO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Luis Fernando de Souza Magno Campeche, Prof. D.Sc.  
IF SERTÃO PERNAMBUCANO



Luis Henrique Bassoi, Prof. D.Sc.  
Embrapa/CPGEA



José Sebastião Costa de Sousa, Prof. Dr.  
IF SERTÃO PERNAMBUCANO

Juazeiro-BA, 26 de Fevereiro de 2015.

Aos meus pais:

Antônio Bezerra Sobrinho e

Mercês Bagagi Bezerra (in memorian);

À minha irmã:

Michelle Bagagi Bezerra,

Dedico!

## AGRADECIMENTOS

- Primeiramente á Deus pela vida.
- Aos meus pais, Mercês Bagagi Bezerra (in memoriam) pelo amor á mim oferecido e pelos ensinamentos sábios, e Antônio Bezerra Sobrinho pelo amor e apoio ofertado em todos os momentos.
- Á minha Irmã, Michelle Bagagi Bezerra por toda compreensão e carinho na minha caminhada.
- Ao meu primo – irmão Leone Coelho Bagagi pelo incentivo á busca intensa pelo conhecimento e ao aprimoramento do saber na vida pessoal e profissional.
- Aos meus familiares, Leonel Bagagi, Valdete Araújo, Leodivan Araújo e Leandro Araújo, pelo apoio em diversas fases dessa caminhada.
- Aos demais familiares, pelos incentivos e conselhos ofertados.
- Ao Professor Doutor Luís Fernando de Souza Magno Campeche pelo enorme esforço e pela oportunidade da realização deste trabalho, um grande amigo com muitos ensinamentos e lições, serei eternamente grato!
- Aos amigos, Edgo Jackson Santiago, Rubem Franca, Nielton Nunes e Roseno Pereira Neto por toda a ajuda e incentivo na concretização deste trabalho.
- Á minha companheira do dia a dia, Jessica Fernandes, pelo amor, carinho e paciência nessa jornada.
- Ao Professor Pedro Robinson, pelas ideias e ajustes determinantes na condução do nosso trabalho, grato por tudo!
- Á Dr. Demócrito de Souza Faria pelos ensinamentos sobre todos os passos relativos á engenharia de irrigação, e conselhos construtivos na vida profissional.
- Aos que aqui não citei, mas que de forma direta e indireta contribuíram para conclusão deste trabalho, só tenho a agradecer de coração!

Muito obrigado!

**BEZERRA, A. B. Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do Vale do Submédio São Francisco.** 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro, BA.

## **RESUMO**

Estudos técnicos voltados ao conhecimento da relação solo/água e suas particularidades podem minimizar efeitos drásticos na confecção de projetos executivos de irrigação bem como no programa de manejo de água, solo e nutrientes pela tecnologia do gotejamento. O espaçamento entre emissores pode ser fator importante para redução de perda de água e nutrientes por percolação profunda. O objetivo do presente trabalho foi investigar a formação do bulbo molhado dos solos nos perímetros públicos irrigado de Bebedouro, no município de Petrolina-PE, e de Maniçoba, Curaçá e Tourão no município de Juazeiro-BA, a fim de conhecer o espaçamento ideal entre emissores e entre linhas de tubos gotejadores com cinco vazões ( $1,0 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $1,5 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $2,0 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $3,0 \text{ L.h}^{-1}$  e  $4,0 \text{ L.h}^{-1}$ ) e intervalo de aplicação de água entre 1,0 e 10,0 h. Abriram-se trincheiras a partir do ponto de inserção do gotejo na superfície do solo, onde foi medido o maior diâmetro ( $D_{\max}$ ) ao longo do bulbo molhado, diâmetro superficial ( $D_s$ ), profundidade máxima ( $Z_{\max}$ ) e profundidade onde se verificou o  $D_{\max}$  ( $Z_{d\max}$ ). A partir dos resultados, pode-se observar que houve um ajuste ao modelo potencial aceitável entre os parâmetros que caracterizam o bulbo molhado em função da vazão em ( $\text{L.h}^{-1}$ ) e tempo em (h), sendo observado uma maior formação do diâmetro máximo do bulbo com a vazão de  $4 \text{ L.h}^{-1}$  e no tempo de irrigação entre 6 e 8 h e sendo possível estimar o espaçamento entre gotejadores pelo modelo potencial.

Palavras-chave: semiárido, espaçamento entre emissores, infiltração de água no solo.

**BEZERRA, A. B. Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do Vale do Submédio São Francisco.** 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro, BA.

### **ABSTRACT**

Technical studies related to the knowledge of soil/water and its special relationship can minimize drastic effects in making executives irrigation projects as well as in the management of water, soil and nutrients through drip technology program. The spacing between emitters can be an important factor for reducing loss of water and nutrient deep percolation. The objective of this study was to investigate the formation of the wetted soils in the irrigated perimeters, in the municipality of Petrolina-Pe (Brazil), Maniçoba, Curaçá and Tourão in Juazeiro-Ba in order to meet the ideal emitter spacing between lines and drippers with five flow rates ( $1.0 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $1.5 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $2.0 \text{ L.h}^{-1}$ ,  $3.0 \text{ L.h}^{-1}$  and  $4.0 \text{ L.h}^{-1}$ ) and the range of application of water between 1 hour and 10 hours. Opened trenches from the point of insertion of the drip on the soil surface, which was measured diameter ( $D_{\max}$ ) over the wet bulb surface diameter ( $D_s$ ), maximum depth ( $Z_{\max}$ ) and depth where there was the  $D_{\max}$  ( $Z_{d\max}$ ). The results of the study showed that there was an acceptable fit to the potential model between the parameters that characterize the wet depending on the flow rate ( $\text{L.h}^{-1}$ ) and time (h) bulb, being observed more training the maximum diameter of the bulb with a flow of  $4 \text{ L.h}^{-1}$  and irrigation time between 6 - 8 h possible to estimate the emitter spacing potential model.

Key-words: semiarid, emitter spacing, water infiltration in soil.

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Páginas</b> |
|--|----------------|
| Figura 1. Forma do bulbo molhado para solos homogêneos de diferentes texturas.     | <b>20</b>      |
| Figura 2. Mapa dos perímetros irrigado do Vale do São Francisco                    | <b>21</b>      |
| Figura 3. Mapa do perímetro irrigado de Bebedouro, município de Petrolina-Pe       | <b>25</b>      |
| Figura 4. Mapa do perímetro irrigado de Maniçoba, município de Juazeiro, Ba.       | <b>25</b>      |
| Figura 5. Mapa do perímetro irrigado de Curaçá, município de Juazeiro, Ba.         | <b>26</b>      |
| Figura 6. Foto de satélite de lote do perímetro tourão, município de Juazeiro, Ba. | <b>26</b>      |
| Figura 7. Sistema portátil de irrigação.   | <b>27</b>      |
| Figura 8. Sistema de bóia entre reservatórios.                                     | <b>28</b>      |
| Figura 9. Delineamento experimental em três repetições.                            | <b>30</b>      |
| Figura 10. Delineamento experimental em uma repetição.                             | <b>30</b>      |
| Figura 11. Utilização de anilina na cor azul.                                      | <b>31</b>      |
| Figura 12. Forma elíptica do bulbo molhado   | <b>31</b>      |
| Figura 13. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em PAed.           | <b>43</b>      |
| Figura 14. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em PVA / Aed.      | <b>44</b>      |
| Figura 15. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em CYn.            | <b>46</b>      |
| Figura 16. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em PVAe.           | <b>47</b>      |
| Figura 17. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em PVA.            | <b>49</b>      |
| Figura 18. Dimensões do bulbo molhado em dez horas de aplicação em VGn.            | <b>50</b>      |
|  |                |

|   |           |
|---|-----------|
| Figura 19. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em PAed.       | <b>52</b> |
| Figura 20. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em PVA / Aed.. | <b>52</b> |
| Figura 21. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em CYn.        | <b>53</b> |
| Figura 22. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em PVAe.       | <b>54</b> |
| Figura 23. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em PVA.        | <b>55</b> |
| Figura 24. Dimensões do bulbo molhado em todas as vazões aplicadas em VGn.        | <b>56</b> |
| Figura 25. Espaçamento máximo entre emissores em PAed.                            | <b>68</b> |
| Figura 26. Espaçamento máximo entre emissores em PVA / Aed.                       | <b>68</b> |
| Figura 27. Espaçamento máximo entre emissores em CYn.                             | <b>69</b> |
| Figura 28. Espaçamento máximo entre emissores em PVAe.                            | <b>69</b> |
| Figura 29. Espaçamento máximo entre emissores em PVA.                             | <b>69</b> |
| Figura 30. Espaçamento máximo entre emissores em VGn.                             | <b>70</b> |
| Figura 31. Espaçamento máximo entre emissores para todos os solos analisados.     | <b>76</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  | <b>Páginas</b> |
|--|----------------|
| Tabela 1. Comprimento do microtubo (m) para cada vazão analisada em função da carga hidráulica.  | <b>29</b>      |
| Tabela 2. Coeficientes da equação do microtubo a, b, c, d.   | <b>29</b>      |
| Tabela 3 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em PAed.       | <b>34</b>      |
| Tabela 4 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em PVA / Aed.  | <b>35</b>      |
| Tabela 5 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em CYn.        | <b>37</b>      |
| Tabela 6 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em PVAe.       | <b>39</b>      |
| Tabela 7 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em PVA.        | <b>40</b>      |
| Tabela 8 Médias das variáveis observadas diâmetro superficial, diâmetro máximo, profundidade do diâmetro máximo e profundidade máxima em VGn.        | <b>42</b>      |
| Tabela 9 Modelos potenciais em função do tempo e do volume de aplicação para estimar as variáveis observadas na vazão de 1,0 l/h em todos os solos.  | <b>58</b>      |
| Tabela 10 Modelos potenciais em função do tempo e do volume de aplicação para estimar as variáveis observadas na vazão de 1,5 l/h em todos os solos. | <b>60</b>      |
| Tabela 11 Modelos potenciais em função do tempo e do volume de   | <b>62</b>      |

|  |           |
|--|-----------|
| aplicação para estimar as variáveis observadas na vazão de 2,0 l/h em todos os solos.  |           |
| Tabela 12 Modelos potenciais em função do tempo e do volume de aplicação para estimar as variáveis observadas na vazão de 3,0 l/h em todos os solos. | <b>64</b> |
| Tabela 13 Modelos potenciais em função do tempo e do volume de aplicação para estimar as variáveis observadas na vazão de 4,0 l/h em todos os solos. | <b>66</b> |
| Tabela 14 Equação potencial que estima o espaçamento entre emissores em função da vazão e do tempo de aplicação para cada tipo de solo.              | <b>70</b> |
| Tabela 15 Textura, densidade e porosidade total em todos os solos analisados.  | <b>72</b> |
| Tabela 16 Espaçamento comercial entre gotejadores em função da vazão e do tempo em todos os solos analisados..                                       | <b>74</b> |
| Tabela 17 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em PAed.   | <b>86</b> |
| Tabela 18 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em PVA / Aed.  | <b>87</b> |
| Tabela 19 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em CYn.  | <b>88</b> |
| Tabela 20 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em PVAe.   | <b>89</b> |
| Tabela 21 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em PVA.  | <b>90</b> |
| Tabela 22 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e do tempo em três repetições em VGn.  | <b>91</b> |

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 14 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 17 |
| 2.1. Irrigação Localizada.....  | 17 |
| 2.1.1. Irrigação por gotejamento.....                                 | 17 |
| 2.1.2. Formação de Bulbo Molhado .....                                | 18 |
| 2.1.3. Geometria do bulbo molhado .....                               | 20 |
| 2.2. A água no solo.....  | 20 |
| 2.3. Perímetros Irrigados do Vale do São Francisco .....              | 21 |
| 2.4. Textura do solo.....   | 22 |
| 2.5. Os Solos do Nordeste.....  | 23 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....  | 24 |
| 3.1. Localização e caracterização da área experimental.....           | 24 |
| 3.2. Classificação do Solo das áreas experimentais .....              | 24 |
| 3.3. Sistema de irrigação.....  | 27 |
| 3.4. Delineamento experimental.....                                   | 29 |
| 3.5. Variáveis avaliadas.....   | 30 |
| 3.6. Espaçamentos entre emissores.....                                | 31 |
| 3.7. Coleta de dados.....   | 32 |
| 3.8. Análises físicas do solo .....                                   | 32 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                       | 33 |
| 4.1. Variáveis analisadas.....  | 33 |
| 4.2. Perfis gráficos que representam a formação do bulbo molhado..... | 43 |
| 4.3 Dimensões do bulbo molhado .....                                  | 57 |
| 4.4. Espaçamento entre emissores .....                                | 68 |
| 5. CONCLUSÃO.....   | 79 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                       | 80 |
| ANEXO .....   | 85 |

## 1. INTRODUÇÃO

A irrigação moderna juntamente com a nutrição via sistemas e meios de tecnologia de aplicação de água e nutrientes são responsáveis pelo aumento substancial de produtividade agrícola, bem como por uma considerável expansão da fronteira agrícola. Em se tratando somente da irrigação, é histórico o uso desta técnica, em épocas que a aplicação de água nas culturas apenas satisfazia uma salvação ou suplementação dos vegetais onde o regime de chuvas predominava em umedecer o solo, germinar sementes e supri-las ao longo do ciclo produtivo.

Nos últimos anos ocorreu expressiva tecnificação para atender as exigências técnicas (solo, cultura e clima), econômica, social e cultural, e os resultados de economia de água, melhor aproveitamento e rendimento dos fertilizantes, maior conservação dos solos, redução de mão de obra, aliados a um substancial aumento na produtividade das culturas, tem despertado o grande interesse pela irrigação localizada. Em se tratando do gotejo, este figura como o que apresenta melhor rendimento, aplicando água de forma pontual em pequenas doses e diretamente ou muito próximo do sistema radicular em uma fração menor do solo. A irrigação por gotejo atualmente é uma das tecnologias que mais cresce na agricultura irrigada moderna, podendo ser aplicada a inúmeras culturas, porém, atualmente observamos inúmeros problemas na confecção dos projetos, tais como, dimensionamento inadequado do método, rendimento das culturas às vezes, menor do que quando irrigado por outros métodos, projetos desenvolvidos sem os necessários estudos básicos, falta de conhecimento da relação solo-água e entre outros.

Os perímetros públicos irrigado no vale do São Francisco foram implantados entre as décadas de 60, 70 e 80, com uma concepção do método de irrigação dominante da época, entre elas os de aspersão e sulcos. A região em si foi se desenvolvendo, os resultados de algumas culturas que se adaptaram as condições locais foram positivos, tornando o vale como uma região importante no cenário agrícola do país. Culturas como Manga e Uva se destacam pelo potencial produtivo e que abastece o mercado nacional e internacional. Atualmente outras culturas também ganham importância no Vale do São Francisco, como a Cebola e melancia, ora apenas cultivadas por meio de métodos de sulcos e inundação. Os perímetros irrigados de Bebedouro no município de Petrolina-Pe, Maniçoba, Curaçá e Tourão

ambos no município de Juazeiro-Ba surgiram para atender métodos convencionais de irrigação da época, no entanto, vem sofrendo transformações em seus métodos de irrigação, em muitos casos já se tornam visível à necessidade de mudança de aspersão e sulcos e daí ocorre a necessidade de se desenvolver os estudos básicos voltados à implantação da irrigação localizada para atender a modernização e requerimento da atividade agrícola cada vez mais exigente e competitiva. A forma como a irrigação por gotejo é atualmente empregada nesses perímetros públicos irrigado, decorre urgentemente da intervenção da pesquisa, em que, normalmente se projeta sistemas de irrigação por gotejo sem viabilidade de estudos técnicos básicos, entre eles, a investigação do comportamento do bulbo molhado no solo. Normalmente é comum a aplicação de água sem formar faixa contínua de água no solo por fileira de cultura, e ainda mais grave é o uso de espaçamentos entre emissores idênticos na maioria das áreas agrícolas, mesmo com solos distintos, sendo classificados apenas por cultura.

A forma de aplicação de água por gotejo em pequena intensidade, alta frequência, mantendo a umidade do solo muito próxima a capacidade de campo, com emissores alocados a superfície do solo e infiltrando água em uma parcela reduzida de solo, forma o que chamamos de bulbo molhado.

A formação e entendimento da dinâmica do bulbo molhado se torna necessário ao dimensionamento de sistema de irrigação por gotejo. As características da formação do bulbo estão diretamente relacionadas ao tipo de solo, da vazão unitária do gotejador, do tempo de aplicação do volume de água e os respectivos espaçamentos dos emissores. Na construção do bulbo molhado a infiltração de água é tridimensional em relação aos outros meios de aplicação onde a forma é unidimensional, e conhecer o movimento que a água assume nos solos nessa construção de bulbo é complexa; fica evidente a necessidade do entendimento em aplicar a melhor configuração do gotejo aos diversos tipos de solos e culturas, respeitando os limites de taxa de infiltração, definir vazão adequada, espaçamento correto entre linhas e entre gotejadores, o tempo necessário ao suprimento das plantas, no intuito de irrigar com mais qualidade e utilizar corretamente o sistema. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi:

- Determinar as dimensões do bulbo molhado em diferentes tipos de solos dentro dos perímetros irrigados de Bebedouro, Maniçoba, Curaçá e Tourão;

- Definir o espaçamento entre emissores, vazão do emissor e tempo de aplicação e a partir destes dados dimensionar o sistema de irrigação por gotejo;
- Dentre os objetivos específicos, o trabalho se propõe á:
- Estimar a equação pelo modelo potencial dos parâmetros analisados;
- Elaborar tabela com espaçamentos comerciais entre emissores em função da vazão, tempo e solo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Irrigação Localizada**

Segundo Maia et al. (2010) a irrigação localizada tem aumentado de modo contínuo nos últimos anos em todo o mundo. No Brasil, a expansão da irrigação localizada não só tem sido contínua como tende a acelerar, em decorrência, principalmente, da expectativa de aumento das áreas plantadas com fruteiras em diversas regiões.

Bernardo et al (2006) comenta que a irrigação localizada não deve ser considerada somente como nova técnica para suprir de água as culturas, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, doenças e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e água consumida, assim como na época da colheita e na qualidade do produto.

Os altos investimentos requeridos na implantação do sistema de irrigação localizada poderão, entretanto, não ser compensados se não forem utilizadas técnicas adequadas de manejo de irrigação que visem à racionalização do uso da água e o aumento da produtividade (COELHO et al.,1999).

#### **2.1.1 Irrigação localizada por gotejamento**

O sistema de irrigação por gotejamento caracteriza-se pela presença de emissores (gotejadores) pelos quais a água escoar após ocorrer dissipação de pressão ao longo de uma rede de condutos. As vazões de cada emissor geralmente variam de 2 a 20 L h<sup>-1</sup> e dentre suas vantagens estão a grande economia de água e energia e a excelente uniformidade de aplicação de água, comparado a outros tipos de irrigação (AZEVEDO e SAAD, 2012).

Dentre a irrigação localizada, o gotejamento é o sistema mais comum e baseia-se na aplicação de água na superfície do solo junto a planta. Este sistema permite irrigar o solo formando um volume de solo molhado, denominado de bulbo molhado, onde se concentram as raízes das plantas. Irrigando apenas uma

porcentagem do solo, as perdas de água por evaporação e percolação são diminuídas, como também a lixiviação dos nutrientes (YOUNGS et al, 1999)

Nos anos 60 o desenvolvimento do sistema de irrigação por gotejamento foi um marco na história da ciência e tecnologia da engenharia de irrigação. As tentativas iniciais se caracterizavam por muitas dificuldades técnicas e operacionais, no entanto, ao longo dos anos a maior parte dos problemas foi resolvida e muitos aspectos foram dominados e sofreram evolução, principalmente nas áreas de filtração, tratamento de água e tecnologia de emissores (FRIZZONE et al., 2012).

Em Países nos quais existem limitações de quantidade de água doce saíram na frente na tentativa de resolver ou amenizar seus problemas relacionado a água, é o caso de Israel que desenvolveu inúmeros componentes de um sistema de irrigação por gotejo, dentre eles o próprio gotejador, filtros, válvulas, conexões diversas entre outros. A preocupação de economizar água foi determinante a construção desses equipamentos. Hoje além da economia de água, cada vez mais escassa, sabemos também da economia de energia, fertilizantes e até mão de obra que a irrigação por gotejo pode proporcionar. Na última década verificou-se avanço no desenvolvimento dos equipamentos, no manejo e dimensionamento da irrigação por gotejo. Uma das condições para o melhor dimensionamento da irrigação por gotejo com ponto de emissão superficial é o conhecimento da distribuição da umidade do solo para diferentes vazões dos emissores e tempo de irrigação, e este, juntamente com o tipo de solo, influenciam no movimento de água (LUBANA e NARDA, 1998).

### **2.1.2. Formação de Bulbo Molhado**

A irrigação por gotejamento é caracterizada pela aplicação de pequenas quantidades de água em alta frequência e diretamente na zona radicular, mantendo a umidade próxima ao limite superior de disponibilidade de água, em um volume do solo (DASBERG e BRESLER, 1985).

De acordo com Folch e Fábrega (1999), o volume molhado do solo é definido como sendo a forma tridimensional que ocupa a frente de molhamento da água da irrigação proveniente de ponto de aplicação.

Segundo Bernardo et al.,(2006) a aplicação de água no solo, através da irrigação por gotejamento é sob a forma de ponto fonte, ficando a superfície do solo

com uma área molhada com forma circular e seu volume molhado com forma de um bulbo (cebola). Quando os pontos de gotejamento são próximos uns dos outros, forma-se uma faixa molhada contínua.

A distribuição de água no bulbo molhado é dependente do volume total de água aplicado, da vazão, da posição do gotejador (na superfície do solo ou enterrado), da disposição dos gotejadores (fonte pontual ou fonte em linha), das condições iniciais e de contorno, das propriedades físicas do solo e de sua distribuição espacial, da atividade do sistema radicular das plantas e do manejo da irrigação (NOGUEIRA et al,2000).

Para fins de dimensionamento do projeto de irrigação por gotejo se faz necessário o conhecimento das dimensões que o bulbo molhado assume no solo; outro aspecto relevante é a porcentagem de área molhada (PAM), que relaciona a área molhada pelos emissores e a área total cultivada, também fundamental para o dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Uma tabela foi proposta por Keller e Karmeli, (1974) possuindo valores estimados de PAM em função da vazão do emissor, textura do solo e do espaçamento entre linhas laterais. No entanto os valores obtidos foram para lâmina de 40 mm, o que não seria aplicável à região do Vale do São Francisco. Um critério razoável de projeto de irrigação por gotejo deve prever um número de pontos de emissão suficiente para molhar entre 30 e 60% da superfície horizontal potencialmente ocupada pelo sistema radicular. Em regiões de clima úmido, com chuvas regulares, valores de PAM entre 20 e 30% são aceitáveis para solos de textura média e argilosa. A porcentagem de área molhada, comparada com a área cultivada, depende do tipo de solo, do volume de água aplicado, da vazão em cada ponto de emissão e do espaçamento entre os gotejadores (FRIZZONE et al.,2012).

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

Um estudo foi realizado em três tipos de solos do agropolo Mossoró – Açu, no Rio Grande do Norte, por Maia et al, (2010) com o objetivo de avaliar a porcentagem de área molhada e de volume de solo molhado, utilizando distintas vazões em diferentes tempo de aplicação. Os resultados obtidos mostraram que para os solos avaliados, apenas as maiores vazões e tempo de aplicação ( $8 \text{ L.h}^{-1}$  e 7 h) foram

observados os valores mínimos de PAM mínima de 33%, isso demonstra a importância em determinar vazão unitária do emissor e sua intensidade de aplicação ao solo.

### 2.1.3. Geometria do bulbo molhado

Bresler (1978) considerou que a profundidade molhada é determinada pela força da gravidade, afetando assim, a forma do bulbo que é mais achatado nos solos argilosos e mais alongado nos solos arenosos, como pode ser visto na Figura 1.

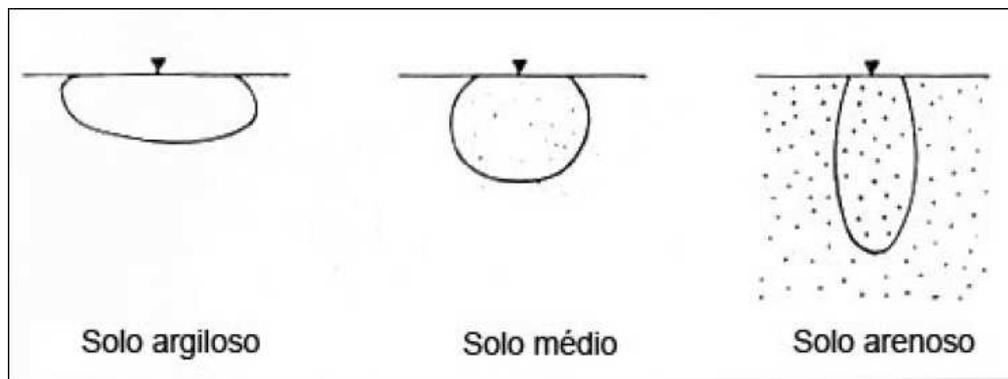


Figura 1. Forma do bulbo molhado para solos homogêneos de diferentes texturas. Fonte: Pizarro Cabello (1990)

Foi descrito um modelo com base analítica, admitindo que a frente de molhamento formado por um gotejador posicionado na superfície do solo pode ser aproximado por uma semi-esfera. Neste modelo o raio molhado do bulbo obtido foi calculado em função da vazão do gotejador e da variação do teor de água antes da irrigação, e o maior teor de água após a irrigação (BEN-ASHER et al, 1986). Ben – Asher e Phene (1993), utilizando a metodologia de Ben – Asher, Charach e Zemel (1986), aplicada num sistema de irrigação por gotejamento, propuseram um modelo esférico para frente de molhamento.

## 2.2. A água no solo

O solo é considerado um meio poroso constituído por três componentes: uma matriz sólida, uma fase gasosa e uma fase líquida. A água no solo ocupa um espaço poroso que surge do arranjo físico das partículas sólidas, e é intercambiável com a fase gasosa (TOLENTINO JUNIOR, 2011)

O estudo da água no solo pode ser organizado em dois grupos, sendo o primeiro, os relacionados às propriedades de armazenamento, que referem-se a habilidade do solo em reter um conteúdo de água sob influência do potencial da água no solo em determinada profundidade, estreitamente ligada a textura do solo. Segundo Tolentino Junior (2011) a curva de retenção de água no solo representa a relação de dependência existente entre o conteúdo de água no solo e o potencial da água no solo.

O segundo grupo de estudo da água no solo, refere-se aos estudos das propriedades físico-hídricas do solo, referente à habilidade do solo em conduzir a água, incluindo a condutividade hidráulica.

A água no solo está sujeita a forças de diferentes origens e de intensidade variável, resultando no chamado potencial da água no solo. Quando se usa a palavra água, refere-se, a rigor, à solução do solo (TOLENTINO JUNIOR, 2011)

### 2.3. Perímetros Irrigados do Vale do São Francisco

A partir da década de 1960, o governo federal passou a investir em Perímetros de Irrigação no Nordeste, criando pólos de desenvolvimento baseados na agricultura irrigada visando inserir um padrão moderno para a agricultura desenvolvida no interior da região. Dentre estes, foi originado o Pólo Petrolina-Juazeiro, no Submédio do Vale do São Francisco. Em destaque a Figura 2 mostra os municípios que representam a região.

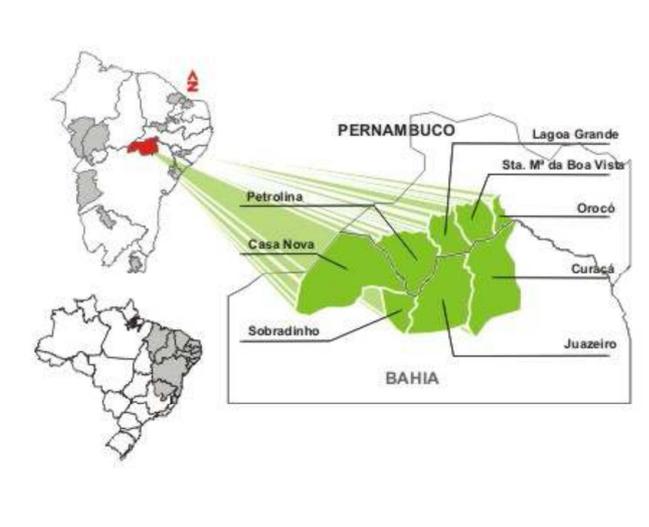


Figura 2. Mapa de perímetros irrigado no Vale do São Francisco, adaptado Banco do Nordeste do Brasil BNB (2005).

A criação desses perímetros contribuiu para o desenvolvimento da região, passando a apresentar impactos da agricultura irrigada na produção de alimentos, na criação de empregos e no aumento da renda regional. Nas décadas de 80 e 90, houve maior liderança do setor privado, através da organização dos empresários, motivados pela necessidade de competição nos mercados nacionais e internacionais, que passaram a pressionar o Governo pela ampliação da infraestrutura. Atualmente existem sete perímetros em funcionamento no Pólo Petrolina-Juazeiro – “Bebedouro”, “Senador Nilo Coelho” e sua extensão “Maria Tereza” em Petrolina, e “Curaçá”, “Maniçoba”, “Tourão” e “Mandacaru” em Juazeiro. (SOBEL.,2006).

#### **2.4. Textura do solo**

A textura do solo refere-se á distribuição das partículas areia, silte, e argila no solo. Cada solo recebe uma designação quanto á sua textura, designação essa que nos dá ideia do tamanho das partículas mais frequentes. A textura é uma característica de grande importância para os solos, já que grande parte das reações que ocorrem no sistema solo-água-plantas, são fenômenos de superfícies, que tem sua magnitude dependente do tamanho das partículas envolvidas. Para Rezende et al (2002) a análise e a determinação da distribuição das partículas, de uma amostra de solo quanto ao seu tamanho, é em geral denominada análise mecânica do solo ou análise textural.

A proporção de partículas grosseiras, médias e finas que são chamadas de areia, silte e argila, determinam combinações que são utilizadas para classificar o solo segundo sua textura. A determinação do tamanho das partículas é feita em laboratórios e é denominada análise mecânica do solo. Denomina-se de areia as partículas de diâmetro entre 2 e 0,02 mm, de silte ou limo as partículas de diâmetro entre 0,02 e 0,002 mm, e de argila as de diâmetro menor que 0,002 mm (REICHARDT,1990).

## 2.5. Os solos do Nordeste

Os solos localizados nas regiões semiáridas e áridas foram, por muito tempo, considerados inviáveis para agricultura e, conseqüentemente, sem desenvolvimento econômico. O semiárido tropical brasileiro apresenta uma variedade de paisagens e de ambientes que deve ser destacada como uma das características mais marcantes da região, o que dificulta generalizações na discussão de vários temas, incluindo os solos. Diante desta complexidade de paisagens, deve-se considerar que o solo, a vegetação e o clima coexistem num equilíbrio dinâmico, e que pode ser alterado pela mudança do uso da terra. A litologia dos solos do nordeste do Brasil é variável, com predominância de rochas cristalinas, principalmente, além de áreas sedimentares, e rochas cristalinas sob sedimentos arenosos ou areno-argilosos. (CUNHA et al., 2010).

Diversas classes de solos estão presentes no semiárido brasileiro como consequência da diversidade da litologia, material de origem, relevo e precipitação pluvial, e que são denominados de Latossolo, Argissolo, Luvisolo, Planossolo, Neossolo, Cambissolo, Vertissolo e em menor escala o Chernossolo, Gleissolo e Plintossolo. Às Margens de rios, destacamos os solos do tipo neossolo flúvico, que representam solos aluviais, típicos de várzeas e proximidade com os rios, possuem textura muito heterogênea, suscetível á erosão devido ás camadas com diferentes permeabilidades, e geralmente este tipo de solo cobre 2% da superfície do semiárido brasileiro. (CUNHA et al., 2010).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização e caracterização da área experimental**

Para avaliar os efeitos da vazão dos gotejadores e do tempo de aplicação de água na formação do bulbo molhado foram instalados seis experimentos em diferentes solos, nos municípios de Petrolina, Pe e Juazeiro, Ba, região conhecida como Vale do submédio do São Francisco.

A região de estudo é caracterizada, segundo a classificação de Koppen, como BSw<sub>h</sub>, ou seja, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando de acordo com a estação agrometeorologia de Bebedouro, entre os anos de 1975 e 2012, temperatura máxima média de 33 graus Celsius e temperatura mínima média de 21° C, precipitação pluviométrica anual irregular, com média de 529 mm, Embrapa (2010).

#### **3.2. Classificação do Solo das áreas experimentais**

Para se determinar as dimensões do bulbo molhado sob irrigação por gotejamento superficial, foi feito levantamento pedológico dos principais solos utilizados na fruticultura e horticultura irrigada no vale do sub médio do São Francisco. Foi analisado os solos do perímetro irrigado de Bebedouro, no município de Petrolina, Pe, no perímetro irrigado de Maniçoba, Curaçá e Tourão no município de Juazeiro, Ba, Figuras 3 a 6, em que são classificados respectivamente de acordo com a Embrapa (1999) como:

- Associação de Cambissolo e Neossolo Flúvico (CY<sub>n</sub>);
- Associação de Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo (PA<sub>ed</sub>);
- Associação de Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo (PVA/A<sub>ed</sub>);
- Argissolo Vermelho Amarelo com textura média a argilosa (PVA<sub>e</sub>);
- Argissolo Vermelho Amarelo com textura média (PVA);
- Vertissolo (VG<sub>n</sub>).

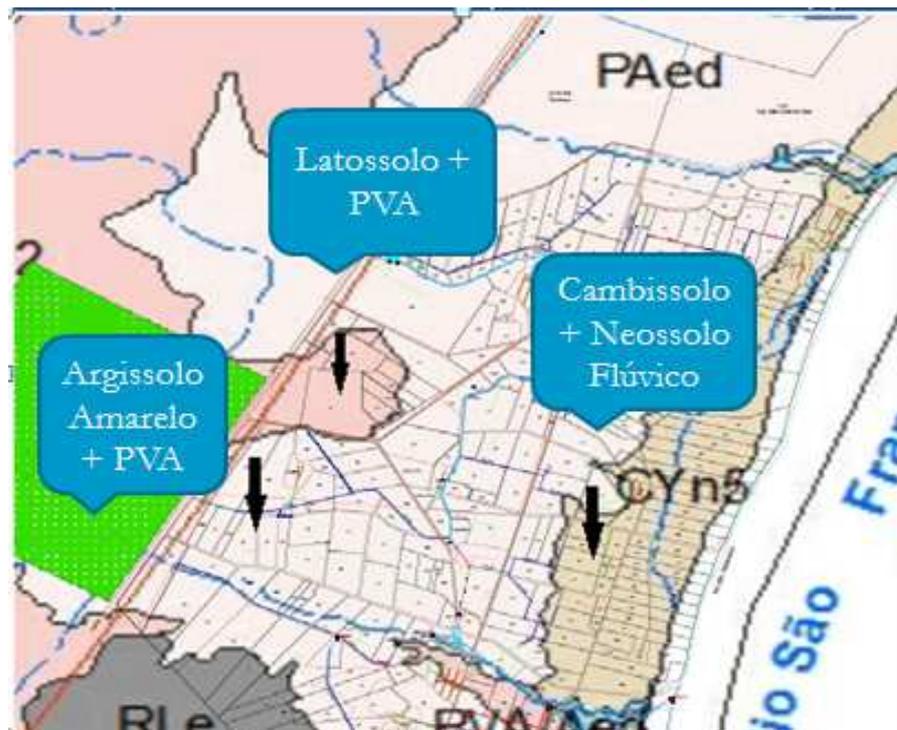


Figura 3. Mapa do perímetro Bebedouro, Embrapa (1999)



Figura 4 . Mapa do Perímetro Maniçoba, Embrapa (1999)

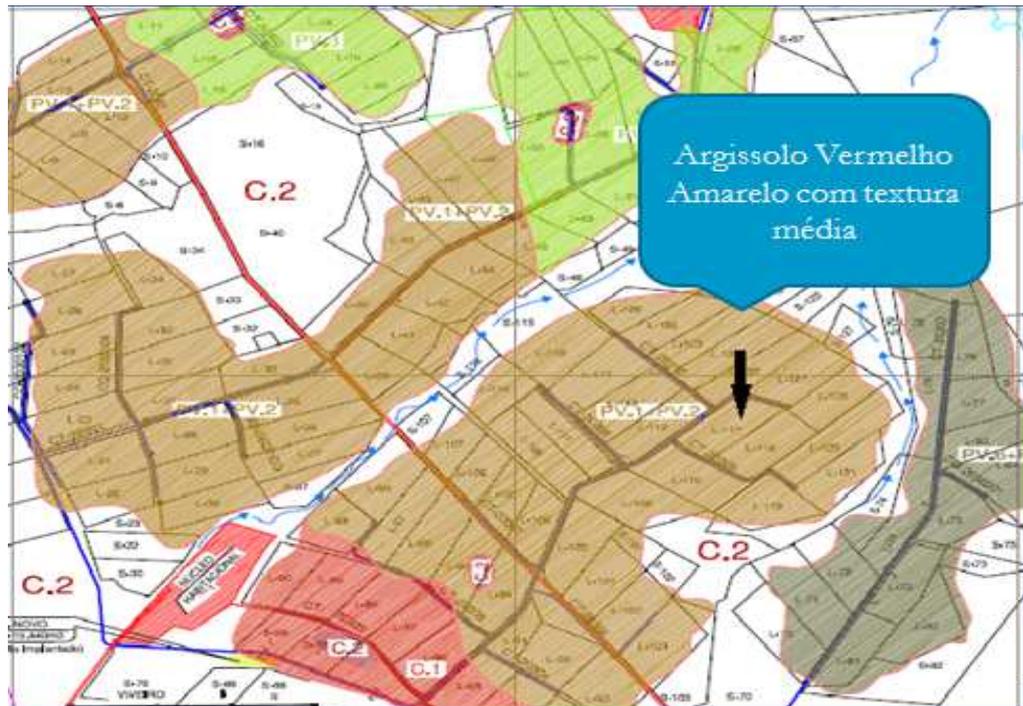


Figura 5. Mapa do perímetro Curaçá, Embrapa (1999)

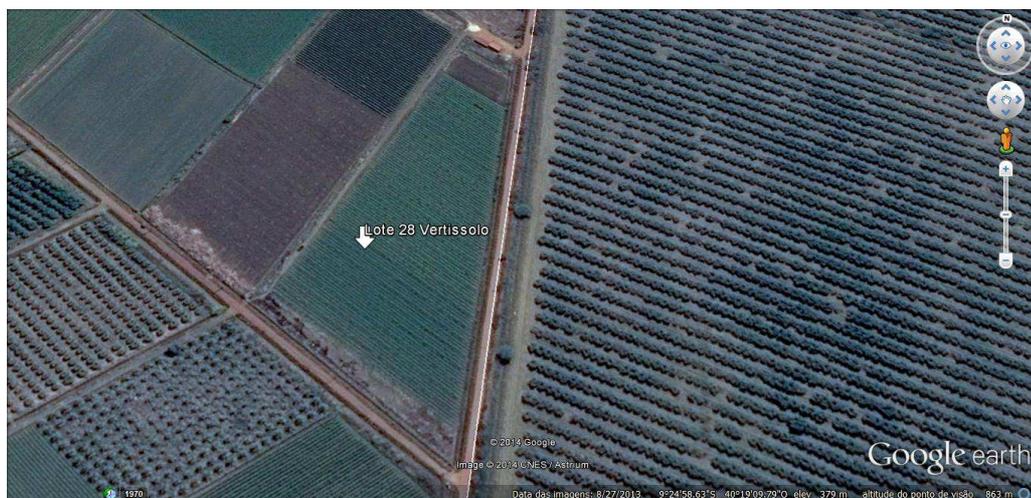


Figura 6 . Foto satélite do perímetro Tourão.

No terreno onde foram instaladas as baterias de testes, não houve preparo ou manuseio que alterasse a estrutura física do solo, nem tampouco presença de vegetais que pudessem promover alterações no teste, conforme Figura 7. A seguir foram realizadas em todos os solos análises textural, (granulometria), densidade aparente e porosidade total de acordo com Embrapa (1997).



Figura 7. Preparo do sistema portátil de irrigação.

### 3.3. Sistema de irrigação

Foi desenvolvido um sistema de irrigação portátil para determinação das dimensões do bulbo molhado, em que foram dispostos 5 linhas de tubo polietileno 16 mm distribuídos aleatoriamente na parcela, em cada linha foi disposta 10 emissores, com espaçamento de 2,5 metros entre linhas e entre emissores, de modo a não ocorrer sobreposição dos bulbos. As linhas de polietileno de 16 mm por sua vez foram conectadas a tubos PVC 50 mm PN 40, abastecida por dois reservatórios de água, sendo um de 200 L e o outro de 100 L. Para regular a vazão e a pressão, os dois reservatórios ficaram interligados, e um deles mantinha a carga hidráulica constante por meio de um sistema de bóia, sendo sua haste alterada de forma que sua carga hidráulica se mantivesse estável. (Figura 8). Para abastecer o sistema portátil de irrigação foi necessário auxílio de um motor bomba á gasolina de 1 Hp, já que os terrenos definidos para os testes em sua maioria eram área de sequeiro.



Figura 8. Sistema de bóia entre reservatórios.

As diferentes vazões foram obtidas pelos diferentes comprimentos dos microtubos tipo Spaghetti inseridos na tubulação de polietileno 16 mm, em que, conhecendo a pressão por meio da altura de carga, de 1,20 m, o diâmetro interno do microtubo de 1,0 mm e os respectivos comprimentos, calculamos a vazão desejada, pela equação de Vermeiren e Jobling (1980).

$$Q = a \cdot L^b \cdot H^c \cdot \phi^d$$

Em que :

a,b,c e d correspondem aos coeficientes que dependem do valor do diâmetro ( $\phi$ );

Q= Vazão do microtubo (l/h)

L= Comprimento do Microtubo (m)

H= Carga piezométrica (m.c.a)

$\Phi$  = Diâmetro interno do microtubo (mm)

Portanto, obtivemos as medidas do microtubos definidas em função da carga hidráulica, como segue na Tabela 1 e 2:

Tabela 1. Comprimento do microtubo (m) para cada vazão analisada em função da carga hidráulica.

| Carga<br>Hidráulica<br>(m) | Comprimento do Microtubo (m) |         |        |         |         |
|----------------------------|------------------------------|---------|--------|---------|---------|
|                            | 1,0 lph                      | 1,5 lph | 2,0lph | 3,0 lph | 4,0 lph |
| 1,2                        | 1,60                         | 0,90    | 0,60   | 0,30    | 0,19    |

Tabela 2. Coeficientes da equação do microtubo a, b, c, d.

|          | Diâmetro Interno (mm) |            |            |            |            |            |
|----------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|          | <b>0,5</b>            | <b>0,6</b> | <b>0,7</b> | <b>0,8</b> | <b>0,9</b> | <b>1,0</b> |
| <b>A</b> | 0,86                  | 0,91       | 1,02       | 1.14       | 1,16       | 1,28       |
| <b>B</b> | -0,78                 | -0,75      | -0,72      | -0,68      | -0,65      | -0,62      |
| <b>C</b> | 0,85                  | 0,82       | 0,78       | 0,75       | 0,72       | 0,69       |
| <b>D</b> | 3,1                   | 3,1        | 3,1        | 3,1        | 3,1        | 3,1        |

### 3.4. Delineamento experimental

Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, em esquema de faixa, com três repetições, em que os tratamentos foram compostos pelos fatores vazão do emissor e tempo de aplicação de água, (Figura 9). Em cada repetição constaram de cinco linhas com vazões diferentes (1,1,5,2,3 e 4 l/h) e, dentro de cada vazão, os tempo de irrigação de 1até 10 h (Figura 10).

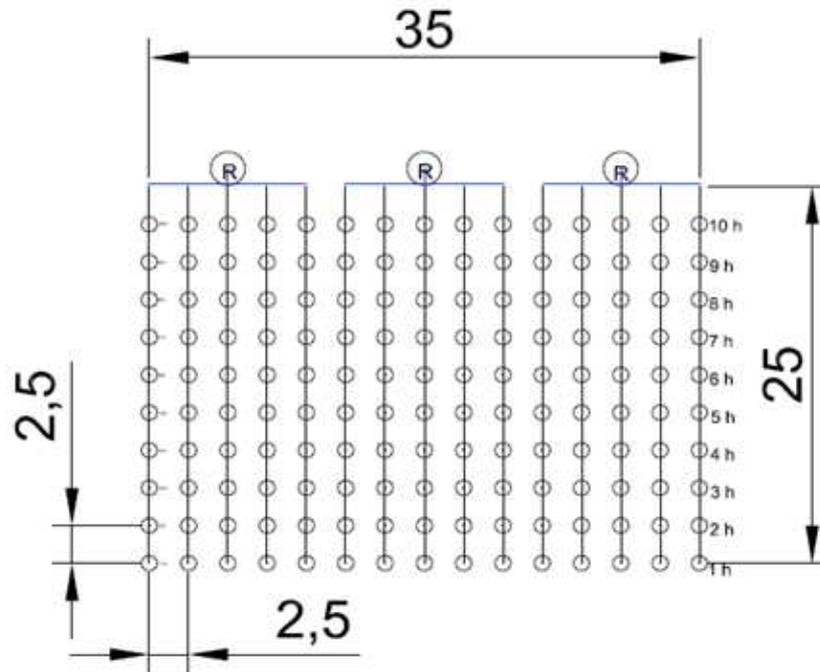


Figura 9. Experimento em três repetições, em metros.

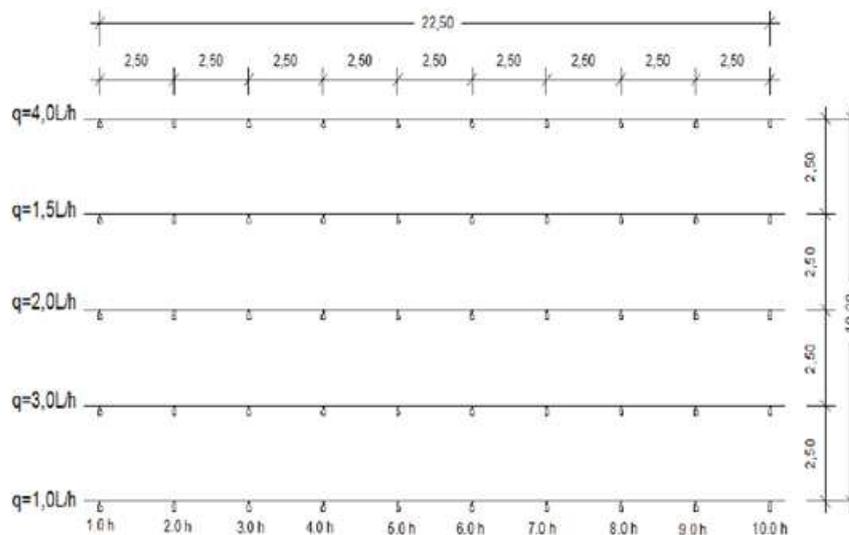


Figura 10. Experimento em uma repetição, em metros.

### 3.5. Variáveis avaliadas

Para cada vazão, em função do tempo de aplicação pré-determinado 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 h, foram abertas trincheiras no centro do bulbo molhado, abaixo do emissor, onde foram mensuradas as dimensões do bulbo molhado, medidos com fita métrica de precisão 1,0 mm a cada hora de irrigação até a última hora que correspondeu à jornada de rega de 10 horas. Para facilitar as leituras foi utilizada

anilina na cor azul, que torna o bulbo úmido bastante visível na trincheira (Figura 11). Na avaliação, levando-se em consideração a vazão do emissor em função do tempo de aplicação foram medidas as seguintes características: diâmetro superficial ( $D_s$ ), diâmetro máximo ( $D_{max}$ ), profundidade máxima ( $Z_{máx}$ ) e profundidade onde ocorre  $D_{max}$  ( $Z_{dmax}$ ) (Figura 12).

Para avaliar as dimensões do bulbo molhado em função da vazão do emissor ( $q$ ) e do tempo de aplicação de água ( $t$ ) foi utilizado o modelo potencial.



Figura 11. Utilização de anilina na cor azul.

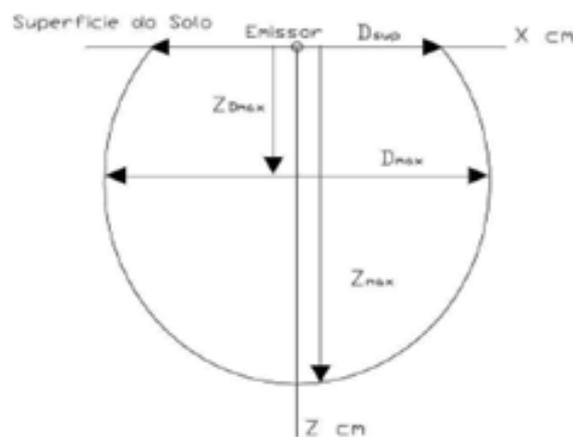


Figura 12. Forma elíptica do bulbo molhado, adaptado de Oliveira, 2010.

### 3.6. Espaçamentos entre emissores

Neste trabalho foi possível estimar a equação potencial em função do tempo e da vazão, definindo o espaçamento entre gotejadores a partir do princípio de recomendação de Frizzone et al., (2012) em que a distância máxima entre gotejadores na linha lateral deve ser entre 1 (um) a 2 (duas) vezes o raio molhado

do bulbo, ou seja, 2 (duas) vezes o raio molhado representa que os bulbos apenas se juntem de forma tangencial, considerando 1 (uma) vez o raio molhado os bulbos se sobrepõe 100%, para tanto, consideramos com margem de segurança a sobreposição dos bulbos em 50%, em que a distância dos emissores ficou determinada em 1,5 (um e meio) vezes o raio molhado do bulbo.

### **3.7. Coleta de dados**

O início dos testes compreendeu o período que foi de novembro de 2013 até maio de 2014, sendo interrompido nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2014 devido a ocorrência de chuvas na região. No momento dos testes os solos estavam secos, condição necessária à determinação das dimensões do bulbo molhado do solo. O tempo necessário para realizar todo o procedimento de montagem e desmontagem do sistema e realização do teste de 10 horas de duração compreendeu três dias para cada solo analisado. Após o início do teste as leituras das dimensões do bulbo molhado eram feitas de hora em hora, e para todas as vazões na respectiva hora eram estranguladas as linhas de fluxo de água que abasteciam os gotejadores e assim finalizava o teste para cada tempo e vazão.

### **3.8. Análises físicas do solo**

A análise de granulometria foi realizada pelo método da pipeta e a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico seguindo metodologia da Embrapa (1997). A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico. Em todas as análises foram realizadas pelo laboratório da Embrapa – CPATSA, em Petrolina-PE. Os dados de cada solo foram tabulados e, para cada vazão e cada tempo, foram determinados os valores médios, para as três repetições em cada parâmetro: diâmetro superficial ( $D_s$ ), diâmetro máximo ( $D_{max}$ ), profundidade máxima ( $Z_{máx}$ ) e profundidade onde ocorre  $D_{max}$  ( $Z_{dmax}$ ).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Variáveis analisadas

Considerando as condições reais de experimento em campo, a classe de solo que compreende a associação de argisolo amarelo e argisolo vermelho-amarelo (PAed), Tabela 3, apresentou distribuição espacial homogênea, em que, houve alargamento do movimento da água ao longo do perfil do solo em todas as vazões aplicadas, para o tempo máximo de aplicação em cada tratamento e em relação a variável ( $D_{máx}$ ). Por outro lado, também se observou que o avanço horizontal da água no solo em alguns casos ocorre de forma assimétrica, exemplo disso é o resultado que obtivemos no gotejador com vazão de 1,5 l/h, onde na primeira hora de aplicação apresentou ( $D_{máx}$ ) = de 28,3 cm, na segunda hora de 37 cm, na terceira hora de 34 cm, e após a quarta hora de aplicação voltou ao crescimento de sua dimensão horizontal até a última hora de aplicação de 10 h.

Rosa et al. (2004), trabalhando em classe de solo do tipo latosolo, encontrou assimetria no avanço horizontal na determinação das dimensões do bulbo molhado, utilizando gotejo de 3,4 l/h com tempo de aplicação de 2 h.

A partir dos testes realizados em campo, obtivemos tabelas com os resultados das três repetições, e a seguir a Tabela 3 com as médias destes resultados com as dimensões do bulbo molhado.

Tabela 3. Média das variáveis observadas, diâmetro superficial ( $\phi$  sup), diâmetro máximo ( $\phi$ máx), profundidade do diâmetro máximo ( $Z\phi$ máx) e profundidade máxima ( $Z$ máx) para Argisolo Amarelo e Argisolo Vermelho-Amarelo (PAed).

| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
|-------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 19,2               | 30,0          | 8,3                 | 16,3     | 1             | 22,2               | 28,3          | 10,0                | 18,7     |
| 2           | 25,0               | 31,3          | 11,0                | 17,7     | 2             | 29,3               | 37,0          | 11,7                | 21,0     |
| 3           | 34,8               | 33,0          | 10,3                | 18,3     | 3             | 36,8               | 34,0          | 10,0                | 15,0     |
| 4           | 36,8               | 33,3          | 10,0                | 17,7     | 4             | 37,2               | 36,3          | 9,7                 | 22,3     |
| 5           | 41,7               | 41,7          | 10,7                | 20,3     | 5             | 42,5               | 42,7          | 10,7                | 23,0     |
| 6           | 44,3               | 44,7          | 11,7                | 27,3     | 6             | 44,3               | 44,0          | 11,0                | 31,7     |
| 7           | 44,3               | 46,7          | 11,0                | 30,7     | 7             | 44,3               | 50,0          | 10,3                | 35,3     |
| 8           | 44,7               | 50,3          | 11,0                | 32,7     | 8             | 46,0               | 59,7          | 11,7                | 32,3     |
| 9           | 44,0               | 52,3          | 12,0                | 35,7     | 9             | 45,7               | 58,3          | 13,0                | 35,0     |
| 10          | 45,0               | 58,3          | 12,7                | 33,0     | 10            | 45,0               | 60,3          | 13,0                | 35,3     |
| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 24,8               | 38,3          | 12,7                | 23,3     | 1             | 29,3               | 34,0          | 11,7                | 24,7     |
| 2           | 33,2               | 35,7          | 11,7                | 22,3     | 2             | 33,7               | 39,7          | 15,0                | 29,0     |
| 3           | 43,0               | 44,0          | 12,3                | 23,0     | 3             | 42,0               | 44,7          | 12,0                | 20,3     |
| 4           | 51,3               | 52,0          | 11,7                | 27,0     | 4             | 45,7               | 45,3          | 12,3                | 28,3     |
| 5           | 47,5               | 46,0          | 12,0                | 29,3     | 5             | 58,3               | 49,7          | 12,0                | 33,7     |
| 6           | 53,3               | 53,3          | 12,0                | 33,0     | 6             | 63,3               | 58,7          | 12,0                | 32,7     |
| 7           | 55,3               | 61,3          | 11,3                | 34,7     | 7             | 66,7               | 60,0          | 12,3                | 32,7     |
| 8           | 50,0               | 60,7          | 13,3                | 37,7     | 8             | 66,7               | 66,7          | 13,7                | 39,0     |
| 9           | 55,0               | 63,3          | 13,0                | 36,3     | 9             | 71,7               | 80,0          | 13,3                | 36,3     |
| 10          | 60,0               | 66,7          | 11,7                | 36,3     | 10            | 75,0               | 80,0          | 11,7                | 36,3     |
| Médias      |                    |               |                     |          |               |                    |               |                     |          |
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |               |                    |               |                     |          |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          |               |                    |               |                     |          |
| 1           | 46,7               | 57,3          | 16,7                | 32,0     |               |                    |               |                     |          |
| 2           | 55,0               | 65,0          | 17,3                | 28,0     |               |                    |               |                     |          |
| 3           | 51,3               | 52,3          | 13,3                | 23,0     |               |                    |               |                     |          |
| 4           | 70,3               | 84,0          | 14,0                | 30,0     |               |                    |               |                     |          |
| 5           | 76,3               | 78,0          | 12,3                | 34,3     |               |                    |               |                     |          |
| 6           | 80,0               | 88,3          | 12,7                | 36,3     |               |                    |               |                     |          |
| 7           | 83,3               | 92,5          | 12,0                | 32,7     |               |                    |               |                     |          |
| 8           | 82,3               | 103,3         | 14,3                | 36,7     |               |                    |               |                     |          |
| 9           | 83,3               | 93,0          | 14,0                | 35,7     |               |                    |               |                     |          |
| 10          | 83,3               | 96,7          | 13,7                | 38,3     |               |                    |               |                     |          |

Analisando a classe de solo para associação de argisolo vermelho amarelo e latossolo (PVA / Aed) Tabela 4, a variável ( $D_{sup}$ ) que representa no momento da coleta a primeira variável mensurada, mostrou inicialmente a formação de bulbos de maior diâmetro, inerente ao tipo de solo analisado, com características de textura média a argilosa. Alguns resultados de ( $D_{máx}$ ) chegaram a aproximadamente 66 cm. Ainda comparando com os resultados obtidos por Rosa et al. (2004), aplicando-

se 27,2 L em 8 h, foi possível traçar uma frente de umedecimento onde, a partir deste tempo de aplicação de água não há mais acréscimo das dimensões do bulbo molhado na horizontal, fato este observado no gotejador que representa a vazão de 4 l/h no tempo de aplicação de 8,9 e 10 h, com crescimento horizontal, respectivamente, de 61,60 e 59 cm. Dessa forma fica evidente que os limites de avanço da água no solo possuem particularidades, e ocorrem interações entre volume aplicado, vazão unitária de gotejador, número de emissores por linha, tempo e a sucessão de irrigação.

Tabela 4. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{máx}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z\phi_{máx}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{máx}$ ) para Argisolo Vermelho-Amarelo e Latosolo (PVA/ Aed).

| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 25,5               | 20,7          | 7,7              | 13,3     | 1             | 29,8               | 15,3          | 7,7              | 14,0     |
| 2           | 25,5               | 19,0          | 9,7              | 19,3     | 2             | 32,0               | 30,7          | 11,0             | 21,3     |
| 3           | 30,5               | 26,3          | 11,3             | 22,7     | 3             | 39,5               | 33,0          | 12,3             | 25,0     |
| 4           | 35,8               | 27,7          | 13,0             | 29,0     | 4             | 36,2               | 33,0          | 14,7             | 31,3     |
| 5           | 37,7               | 36,7          | 13,0             | 31,0     | 5             | 39,2               | 41,0          | 14,0             | 33,3     |
| 6           | 41,8               | 37,0          | 14,7             | 32,7     | 6             | 40,5               | 40,0          | 15,0             | 33,7     |
| 7           | 36,7               | 38,7          | 15,7             | 35,0     | 7             | 44,0               | 44,7          | 15,3             | 33,7     |
| 8           | 39,5               | 46,7          | 15,3             | 32,7     | 8             | 48,5               | 54,7          | 15,3             | 34,7     |
| 9           | 41,5               | 49,3          | 15,7             | 35,3     | 9             | 45,8               | 57,3          | 17,3             | 37,7     |
| 10          | 41,7               | 49,7          | 17,7             | 36,7     | 10            | 48,0               | 50,3          | 17,7             | 39,3     |
| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 27,5               | 24,0          | 9,0              | 19,7     | 1             | 35,7               | 24,3          | 9,7              | 19,0     |
| 2           | 29,7               | 28,0          | 12,7             | 26,7     | 2             | 37,7               | 34,0          | 11,7             | 22,0     |
| 3           | 33,7               | 32,3          | 14,3             | 30,0     | 3             | 46,3               | 39,7          | 12,7             | 27,0     |
| 4           | 35,7               | 34,7          | 15,7             | 31,3     | 4             | 49,0               | 38,7          | 14,0             | 31,0     |
| 5           | 37,0               | 42,3          | 15,3             | 33,7     | 5             | 50,3               | 48,3          | 15,0             | 34,0     |
| 6           | 40,8               | 42,0          | 17,0             | 35,3     | 6             | 50,5               | 54,0          | 17,0             | 36,0     |
| 7           | 41,3               | 46,7          | 16,3             | 34,3     | 7             | 49,3               | 57,3          | 16,7             | 34,7     |
| 8           | 44,2               | 52,7          | 16,7             | 36,0     | 8             | 58,2               | 64,3          | 16,3             | 35,0     |
| 9           | 44,5               | 59,3          | 17,7             | 39,3     | 9             | 63,3               | 65,7          | 17,7             | 39,3     |
| 10          | 51,0               | 52,7          | 18,0             | 40,0     | 10            | 56,0               | 53,7          | 18,7             | 39,0     |

Tabela 4. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{m\acute{a}x}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{\phi_{m\acute{a}x}}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) para Argisolo Vermelho-Amarelo e Latosolo (PVA/ Aed) (continuação).

| Médias      |                    |               |                  |          |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 35,2               | 24,7          | 9,0              | 14,7     |
| 2           | 37,3               | 31,3          | 10,0             | 21,7     |
| 3           | 42,2               | 38,3          | 13,3             | 29,3     |
| 4           | 41,2               | 39,0          | 14,7             | 30,3     |
| 5           | 50,3               | 50,3          | 16,7             | 35,0     |
| 6           | 52,3               | 51,0          | 18,0             | 38,3     |
| 7           | 54,8               | 58,7          | 17,0             | 33,7     |
| 8           | 57,7               | 61,7          | 16,3             | 36,0     |
| 9           | 54,7               | 60,0          | 18,3             | 39,7     |
| 10          | 64,0               | 59,3          | 19,0             | 39,7     |

No projeto irrigado de Bebedouro, no município de Petrolina-Pe, onde foram estudados três tipos de classes de solos, sendo um deles muito próximo às margens do Rio São Francisco, sendo este classificado como associação de cambisolo e neosolo Flúvico (CYn) Tabela 5. Nessa situação a dinâmica do bulbo molhado representou bem a heterogeneidade de suas dimensões quando comparamos no mesmo tempo de aplicação e mesma variável com volumes diferentes. Na aplicação do volume de 7 L e a variável ( $D_{sup}$ ) apresentou 36,5 cm, e na aplicação do volume de 28 L a mesma variável apresentou 74,8 cm. Portanto, uma variação de 51 % na dimensão desta variável quando foram utilizados vazões de gotejadores distintas.

Isto provoca em nossa discussão a importância de entender a dinâmica dos bulbos em diversas situações no manejo da irrigação e principalmente no manejo da fertirrigação. O elemento nutritivo fósforo, por exemplo, é um nutriente pouco móvel no solo e sendo aplicado por gotejamento deve-se dimensionar adequadamente os emissores para evitar a perda deste nutriente.

Tabela 5. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{m\acute{a}x}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{\phi_{m\acute{a}x}}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) para Cambisolo e Neosolo Flúvico (CYn).

| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 22,2               | 21,3          | 7,0              | 12,7     | 1             | 25,0               | 24,7          | 6,8              | 13,7     |
| 2           | 27,3               | 36,0          | 10,7             | 17,7     | 2             | 32,2               | 35,7          | 10,0             | 20,7     |
| 3           | 31,5               | 44,7          | 9,3              | 19,3     | 3             | 34,8               | 44,7          | 11,3             | 23,7     |
| 4           | 34,8               | 41,3          | 13,0             | 27,0     | 4             | 44,7               | 43,7          | 13,3             | 24,7     |
| 5           | 39,2               | 52,0          | 10,7             | 22,7     | 5             | 44,2               | 51,0          | 12,0             | 23,3     |
| 6           | 37,0               | 55,7          | 14,7             | 29,0     | 6             | 40,3               | 60,0          | 12,3             | 25,3     |
| 7           | 36,5               | 48,0          | 14,0             | 29,0     | 7             | 46,8               | 68,7          | 12,3             | 24,7     |
| 8           | 44,5               | 42,3          | 13,7             | 30,3     | 8             | 47,0               | 49,3          | 12,0             | 22,3     |
| 9           | 43,0               | 55,7          | 17,7             | 36,7     | 9             | 45,8               | 57,0          | 16,7             | 35,3     |
| 10          | 41,8               | 46,3          | 14,0             | 33,3     | 10            | 50,2               | 51,0          | 17,3             | 37,0     |
| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 24,5               | 24,7          | 8,3              | 17,3     | 1             | 32,7               | 29,3          | 8,0              | 16,0     |
| 2           | 35,5               | 37,7          | 12,0             | 24,3     | 2             | 39,3               | 41,0          | 13,0             | 26,0     |
| 3           | 36,2               | 55,7          | 13,3             | 28,3     | 3             | 43,8               | 46,7          | 10,3             | 22,7     |
| 4           | 38,7               | 59,3          | 12,7             | 26,0     | 4             | 47,5               | 54,7          | 14,7             | 30,7     |
| 5           | 54,3               | 63,3          | 14,0             | 27,7     | 5             | 54,2               | 52,7          | 11,7             | 27,3     |
| 6           | 58,3               | 90,3          | 10,7             | 21,0     | 6             | 56,7               | 69,7          | 13,3             | 27,3     |
| 7           | 55,2               | 74,0          | 12,3             | 26,0     | 7             | 64,0               | 76,0          | 13,3             | 25,0     |
| 8           | 51,3               | 50,7          | 15,3             | 27,7     | 8             | 61,8               | 47,3          | 14,3             | 22,3     |
| 9           | 49,0               | 64,7          | 15,7             | 33,3     | 9             | 67,5               | 72,3          | 14,0             | 30,0     |
| 10          | 50,8               | 56,0          | 18,3             | 42,7     | 10            | 61,2               | 61,0          | 17,0             | 38,7     |
| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |               |                    |               |                  |          |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          |               |                    |               |                  |          |
| 1           | 30,7               | 25,7          | 8,0              | 15,0     |               |                    |               |                  |          |
| 2           | 40,7               | 42,0          | 11,3             | 22,3     |               |                    |               |                  |          |
| 3           | 47,2               | 56,0          | 15,3             | 29,0     |               |                    |               |                  |          |
| 4           | 53,8               | 62,3          | 14,0             | 29,7     |               |                    |               |                  |          |
| 5           | 70,2               | 86,0          | 14,3             | 26,3     |               |                    |               |                  |          |
| 6           | 60,2               | 70,7          | 13,0             | 29,0     |               |                    |               |                  |          |
| 7           | 74,8               | 98,3          | 15,3             | 32,0     |               |                    |               |                  |          |
| 8           | 61,0               | 55,3          | 13,3             | 26,7     |               |                    |               |                  |          |
| 9           | 59,5               | 69,0          | 16,7             | 34,0     |               |                    |               |                  |          |
| 10          | 74,2               | 62,3          | 17,0             | 36,7     |               |                    |               |                  |          |

Considerando que o espaçamento entre os emissores na linha lateral deve sobrepor os bulbos numa faixa em percentual que atenda a necessidade físico-química das culturas, o critério proposto por Keller & Bliesner (1990), em que se multiplicando o valor da variável ( $D_{m\acute{a}x}$ ) por 0,8, tem-se o espaçamento entre emissores. Assim, considerando os dados obtidos das variáveis do solo tipo argisolo vermelho-amarelo com textura média a argilosa (PVAe) Tabela 6, especificamente a

variável ( $D_{\text{máx}}$ ), observamos que ao utilizarmos o critério proposto por Keller & Bliesner (1990), temos:

- Para  $q = 1,0$  l/h;  $t = 7$  h; o espaçamento entre emissores é de 30 cm;
- Para  $q = 1,5$  l/h;  $t = 7$  h; o espaçamento ente emissores é de 30 cm;
- Para  $q = 2,0$  l/h;  $t = 7$  h; o espaçamento entre emissores é de 30 cm.

A partir da vazão de 3,0 l/h e no mesmo tempo de irrigação, ocorre o aumento do espaçamento entre emissores, possuindo valor de 40 cm. Portanto, ao utilizar gotejadores com vazão de 1,0 ou 2,0 l/h, deve-se preferir nessas condições o de menor vazão, onde além de atender o critério de dimensionamento entre emissores, propõe maior economia de tubos de irrigação (menores diâmetros), melhor aproveitamento de conjunto moto bomba (quanto menor a potência instalada, menor será o custo de energia elétrica), além da economia de água e melhor rendimento dos fertilizantes e outros produtos adicionados via água de irrigação.

Tabela 6. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{m\acute{a}x}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z\phi_{m\acute{a}x}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) para Argisolo Vermelho-Amarelo textura média a argilosa (PVAe).

| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
|-------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 22,3               | 22,0          | 8,7                 | 25,0     | 1             | 23,2               | 25,0          | 8,0                 | 21,7     |
| 2           | 32,0               | 25,3          | 10,3                | 29,3     | 2             | 23,3               | 25,3          | 9,3                 | 29,3     |
| 3           | 31,5               | 29,3          | 10,3                | 27,7     | 3             | 28,0               | 29,0          | 10,0                | 33,0     |
| 4           | 29,7               | 28,7          | 11,0                | 29,3     | 4             | 27,3               | 36,0          | 10,7                | 33,7     |
| 5           | 34,5               | 38,7          | 10,7                | 33,7     | 5             | 33,8               | 38,0          | 12,0                | 35,3     |
| 6           | 33,8               | 33,0          | 11,0                | 31,0     | 6             | 30,3               | 34,0          | 12,3                | 36,3     |
| 7           | 28,3               | 38,0          | 10,7                | 32,3     | 7             | 35,5               | 37,0          | 11,3                | 35,0     |
| 8           | 28,2               | 32,0          | 10,3                | 37,3     | 8             | 38,8               | 38,7          | 11,7                | 38,7     |
| 9           | 42,5               | 40,7          | 11,0                | 32,7     | 9             | 34,5               | 36,3          | 11,0                | 34,7     |
| 10          | 35,7               | 43,3          | 14,0                | 45,0     | 10            | 35,8               | 51,0          | 13,7                | 43,0     |
| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 20,8               | 23,0          | 8,7                 | 25,3     | 1             | 31,7               | 23,0          | 10,0                | 28,7     |
| 2           | 37,2               | 31,3          | 10,0                | 28,3     | 2             | 33,5               | 26,3          | 9,7                 | 30,7     |
| 3           | 36,0               | 30,0          | 11,0                | 33,0     | 3             | 36,7               | 32,0          | 12,3                | 30,7     |
| 4           | 30,3               | 26,7          | 9,3                 | 28,7     | 4             | 43,0               | 39,7          | 10,3                | 34,0     |
| 5           | 30,7               | 33,3          | 11,3                | 34,3     | 5             | 39,7               | 33,0          | 12,0                | 37,7     |
| 6           | 42,3               | 43,3          | 12,7                | 34,0     | 6             | 36,5               | 38,3          | 13,0                | 35,7     |
| 7           | 31,0               | 37,3          | 11,3                | 35,7     | 7             | 41,7               | 46,0          | 11,7                | 37,3     |
| 8           | 38,3               | 42,7          | 11,7                | 38,3     | 8             | 38,7               | 37,0          | 12,0                | 37,7     |
| 9           | 40,0               | 43,7          | 12,0                | 36,3     | 9             | 43,2               | 40,3          | 13,0                | 37,7     |
| 10          | 42,3               | 50,3          | 14,0                | 42,7     | 10            | 40,7               | 50,3          | 13,7                | 41,3     |
| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |               |                    |               |                     |          |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          |               |                    |               |                     |          |
| 1           | 27,2               | 25,7          | 9,3                 | 28,3     |               |                    |               |                     |          |
| 2           | 36,2               | 32,0          | 11,7                | 29,7     |               |                    |               |                     |          |
| 3           | 44,2               | 34,0          | 13,7                | 31,0     |               |                    |               |                     |          |
| 4           | 53,2               | 44,7          | 11,0                | 30,0     |               |                    |               |                     |          |
| 5           | 58,0               | 57,7          | 12,3                | 36,0     |               |                    |               |                     |          |
| 6           | 49,3               | 47,0          | 14,3                | 36,7     |               |                    |               |                     |          |
| 7           | 56,8               | 48,7          | 13,7                | 38,7     |               |                    |               |                     |          |
| 8           | 44,3               | 36,0          | 12,0                | 32,0     |               |                    |               |                     |          |
| 9           | 63,3               | 49,0          | 13,0                | 39,3     |               |                    |               |                     |          |
| 10          | 46,5               | 48,0          | 14,0                | 45,0     |               |                    |               |                     |          |

Os resultados da Tabela 7, para a classe de solos do tipo argisolo vermelho-amarelo (PVA), representam muito bem os valores das variáveis em função da vazão em l/h e do tempo de aplicação em h, para as características de solo do tipo argiloso. Se forem analisadas as médias das variáveis ( $D_{sup}$ ), ( $D_{m\acute{a}x}$ ) e ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) em intervalos, compreendendo todas as vazões e o tempo mínimo e máximo de aplicação, é possível dizer que as dimensões do bulbo molhado são bastante expansíveis na horizontal e vertical, representando dinâmica de água no solo bem

variável. O intervalo para o ( $D_{sup}$ ) foi de 27 a 68,5 cm, para o ( $D_{máx}$ ) foi de 31 a 76 cm e para a variável ( $Z_{máx}$ ) foi de 17 a 57 cm.

O trabalho realizado por Oliveira, (2010) no agropólo Assú-Mossoró, Rio Grande do Norte, em classe de solo tipo argisolo, apresentou para o volume de 2 L, dimensões para as variáveis ( $D_{sup}$  = 31,83 cm e  $D_{máx}$  = 33,67 cm), para o volume de 4 L ( $D_{sup}$  = 35,17 cm e  $D_{máx}$  = 40 cm) e para o volume de 16 L ( $D_{sup}$  = 48,33 cm e  $D_{máx}$  = 59,50 cm). Resultados também foram encontrados e estão apresentados na Tabela 7, quando consideramos os mesmos volumes de água aplicado, 2 L, 4 L e 16 L.

Tabela 7. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{máx}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{\phi_{máx}}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{máx}$ ) para Argisolo Vermelho-Amarelo textura média (PVA).

| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 26,8               | 31,0          | 7,7              | 17,7     | 1             | 33,5               | 35,3          | 10,0             | 23,7     |
| 2           | 30,0               | 33,3          | 9,0              | 26,3     | 2             | 32,3               | 38,7          | 11,7             | 33,0     |
| 3           | 34,2               | 36,7          | 9,7              | 27,7     | 3             | 36,0               | 41,0          | 11,3             | 35,3     |
| 4           | 40,3               | 53,7          | 14,0             | 32,7     | 4             | 43,8               | 59,3          | 14,3             | 33,7     |
| 5           | 40,7               | 52,3          | 13,3             | 32,0     | 5             | 45,7               | 52,3          | 14,3             | 33,0     |
| 6           | 41,0               | 52,0          | 13,3             | 43,3     | 6             | 45,3               | 48,0          | 13,7             | 40,7     |
| 7           | 41,8               | 54,7          | 15,0             | 42,0     | 7             | 48,5               | 54,0          | 14,7             | 43,7     |
| 8           | 42,3               | 53,7          | 14,7             | 47,3     | 8             | 54,5               | 62,7          | 15,7             | 51,0     |
| 9           | 53,0               | 55,0          | 16,0             | 47,3     | 9             | 57,0               | 64,0          | 17,3             | 50,0     |
| 10          | 56,3               | 53,7          | 16,3             | 48,3     | 10            | 55,3               | 59,7          | 18,3             | 50,7     |
| Médias      |                    |               |                  |          | Médias        |                    |               |                  |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 31,2               | 36,0          | 10,3             | 28,3     | 1             | 34,8               | 36,3          | 11,0             | 27,3     |
| 2           | 37,2               | 40,7          | 12,7             | 33,3     | 2             | 38,2               | 40,3          | 11,7             | 35,3     |
| 3           | 43,0               | 47,7          | 13,3             | 37,0     | 3             | 39,7               | 44,3          | 12,7             | 33,0     |
| 4           | 50,3               | 61,3          | 15,3             | 37,0     | 4             | 47,8               | 67,0          | 15,0             | 36,0     |
| 5           | 45,0               | 51,0          | 15,3             | 36,7     | 5             | 50,3               | 58,3          | 14,3             | 35,7     |
| 6           | 49,3               | 55,7          | 14,7             | 46,7     | 6             | 55,8               | 62,3          | 14,0             | 44,7     |
| 7           | 52,0               | 56,3          | 15,7             | 48,7     | 7             | 56,0               | 56,7          | 15,0             | 48,0     |
| 8           | 54,8               | 55,7          | 15,0             | 52,3     | 8             | 66,8               | 73,0          | 14,7             | 50,3     |
| 9           | 64,5               | 65,7          | 16,7             | 50,0     | 9             | 66,5               | 65,0          | 16,0             | 45,0     |
| 10          | 60,2               | 65,3          | 17,7             | 51,0     | 10            | 57,7               | 61,7          | 16,7             | 53,3     |

Tabela 7. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{m\acute{a}x}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{\phi_{m\acute{a}x}}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) para Argisolo Vermelho-Amarelo textura média (PVA) (continuação).

| Médias      |                    |               |                  |          |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máx | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                  |          |
| 1           | 41,3               | 40,3          | 11,7             | 28,0     |
| 2           | 44,5               | 40,7          | 11,7             | 32,3     |
| 3           | 48,3               | 44,7          | 13,0             | 34,3     |
| 4           | 50,7               | 60,0          | 14,3             | 34,7     |
| 5           | 56,8               | 60,7          | 15,3             | 37,3     |
| 6           | 54,5               | 65,0          | 16,0             | 43,0     |
| 7           | 66,7               | 75,7          | 16,0             | 52,0     |
| 8           | 60,5               | 66,7          | 15,3             | 53,7     |
| 9           | 66,5               | 73,0          | 18,3             | 52,7     |
| 10          | 68,5               | 68,3          | 18,7             | 57,3     |

As características comuns e relacionadas a classe de solo tipo Vertisolo (VGn) Tabela 8, representam solos com drenagem moderada a não bem drenado, raso á profundo, com alto teor de argila (>30%), apresentam expansão e contração, baixa permeabilidade, suscetível á erosão laminar, requer um bom manejo de solo e consequentemente bom manejo da irrigação. Os valores mostrados na Tabela 8 traduzem as dimensões do bulbo molhado bastante acentuada no crescimento horizontal logo nas primeiras horas de aplicação, em que, gotejadores com vazão de 2 l/h, com tempo de irrigação de 2 h, perfazendo volume de 4 L, já apresentavam ( $D_{m\acute{a}x}$ ) de 40 cm, porém, dimensão vertical menor. Considerando a situação anteriormente citada, para o volume de 4 L, a variável ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) alcança o valor de 27 cm, enquanto que em neosolo flúvico encontramos também para o volume de 4 L, ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) de 33 cm, caracterizando para o vertisolo baixa permeabilidade deste tipo de solo.

Tabela 8. Média das variáveis observadas diâmetro superficial ( $\phi_{sup}$ ), diâmetro máximo ( $\phi_{m\acute{a}x}$ ), profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{\phi_{m\acute{a}x}}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{m\acute{a}x}$ ) para Vertisolo (VGn).

| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
|-------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|----------|
| Vazão 1 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 20,7               | 26,7          | 11,0                | 22,0     | 1             | 25,7               | 26,7          | 10,0                | 24,3     |
| 2           | 26,0               | 27,3          | 11,3                | 22,7     | 2             | 27,7               | 33,7          | 11,0                | 24,3     |
| 3           | 26,0               | 32,0          | 11,7                | 26,0     | 3             | 28,8               | 26,0          | 12,7                | 27,3     |
| 4           | 28,3               | 37,0          | 14,7                | 32,7     | 4             | 31,2               | 36,7          | 13,3                | 30,7     |
| 5           | 31,7               | 51,0          | 14,3                | 36,3     | 5             | 31,8               | 46,3          | 17,7                | 38,3     |
| 6           | 35,5               | 42,3          | 14,3                | 35,0     | 6             | 35,2               | 46,7          | 13,7                | 38,3     |
| 7           | 33,8               | 49,7          | 17,7                | 44,0     | 7             | 39,7               | 51,0          | 18,7                | 42,7     |
| 8           | 33,7               | 53,0          | 18,7                | 44,7     | 8             | 42,8               | 57,3          | 19,7                | 42,3     |
| 9           | 36,0               | 55,3          | 20,3                | 45,7     | 9             | 35,0               | 54,0          | 21,0                | 45,7     |
| 10          | 42,5               | 57,0          | 22,3                | 47,3     | 10            | 44,3               | 63,3          | 22,3                | 47,7     |
| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
| Vazão 2 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          | Tempo (h)     | (cm)               |               |                     |          |
| 1           | 28,5               | 32,3          | 12,0                | 30,0     | 1             | 27,8               | 36,7          | 11,7                | 27,3     |
| 2           | 29,3               | 40,0          | 12,7                | 27,3     | 2             | 32,7               | 40,3          | 14,3                | 32,0     |
| 3           | 32,7               | 39,0          | 12,3                | 27,3     | 3             | 36,5               | 51,0          | 14,3                | 36,0     |
| 4           | 37,2               | 46,7          | 16,0                | 38,7     | 4             | 38,5               | 48,7          | 14,0                | 40,3     |
| 5           | 36,2               | 54,0          | 16,7                | 40,0     | 5             | 44,3               | 51,3          | 14,0                | 38,0     |
| 6           | 35,0               | 55,0          | 14,3                | 38,7     | 6             | 38,3               | 53,7          | 15,3                | 44,3     |
| 7           | 36,3               | 62,0          | 17,7                | 46,0     | 7             | 40,2               | 59,0          | 18,3                | 47,0     |
| 8           | 40,0               | 57,3          | 20,0                | 48,3     | 8             | 42,0               | 63,7          | 20,0                | 49,3     |
| 9           | 49,3               | 58,3          | 21,0                | 49,7     | 9             | 52,5               | 63,3          | 20,3                | 52,3     |
| 10          | 46,7               | 59,3          | 22,3                | 51,0     | 10            | 49,2               | 71,7          | 22,3                | 55,0     |
| Médias      |                    |               |                     |          | Médias        |                    |               |                     |          |
| Vazão 4 l/h | $\phi$ Superficial | $\phi$ máximo | Z ( $\phi$ ) máximo | Z máximo |               |                    |               |                     |          |
| Tempo (h)   | (cm)               |               |                     |          |               |                    |               |                     |          |
| 1           | 32,2               | 34,7          | 10,3                | 27,7     |               |                    |               |                     |          |
| 2           | 40,3               | 42,3          | 14,7                | 31,3     |               |                    |               |                     |          |
| 3           | 47,7               | 52,3          | 12,7                | 32,3     |               |                    |               |                     |          |
| 4           | 46,5               | 53,7          | 14,0                | 34,7     |               |                    |               |                     |          |
| 5           | 52,5               | 48,7          | 15,0                | 38,3     |               |                    |               |                     |          |
| 6           | 46,2               | 68,0          | 14,7                | 43,7     |               |                    |               |                     |          |
| 7           | 47,7               | 71,3          | 18,7                | 49,0     |               |                    |               |                     |          |
| 8           | 56,0               | 64,0          | 20,0                | 50,7     |               |                    |               |                     |          |
| 9           | 47,0               | 64,0          | 21,0                | 52,7     |               |                    |               |                     |          |
| 10          | 51,5               | 72,7          | 22,3                | 55,7     |               |                    |               |                     |          |

Em todos os solos analisados, as primeiras horas de irrigação nas vazões de 1,0 l/h e 1,5 l/h obtiveram pouca diferença no tamanho de suas dimensões, o que mostra que essa diferença de vazão unitária pouco varia nas dimensões do bulbo molhado. Utilizar a menor vazão possível em irrigação localizada parece ser a tendência na confecção de projetos hidráulicos, em decorrência de minimizar o desperdício de água e aproveitar maior rendimento de nutrientes, desde que atenda as condições de formação de sobreposição de bulbos exigidos pelas culturas.

## 4.2. Perfis gráficos que representam a formação do bulbo molhado

Nas Figuras 13 a 24 apresentam-se os perfis gráficos considerando o tempo em função de cada vazão e posteriormente a vazão em função de cada tempo para cada solo analisado:

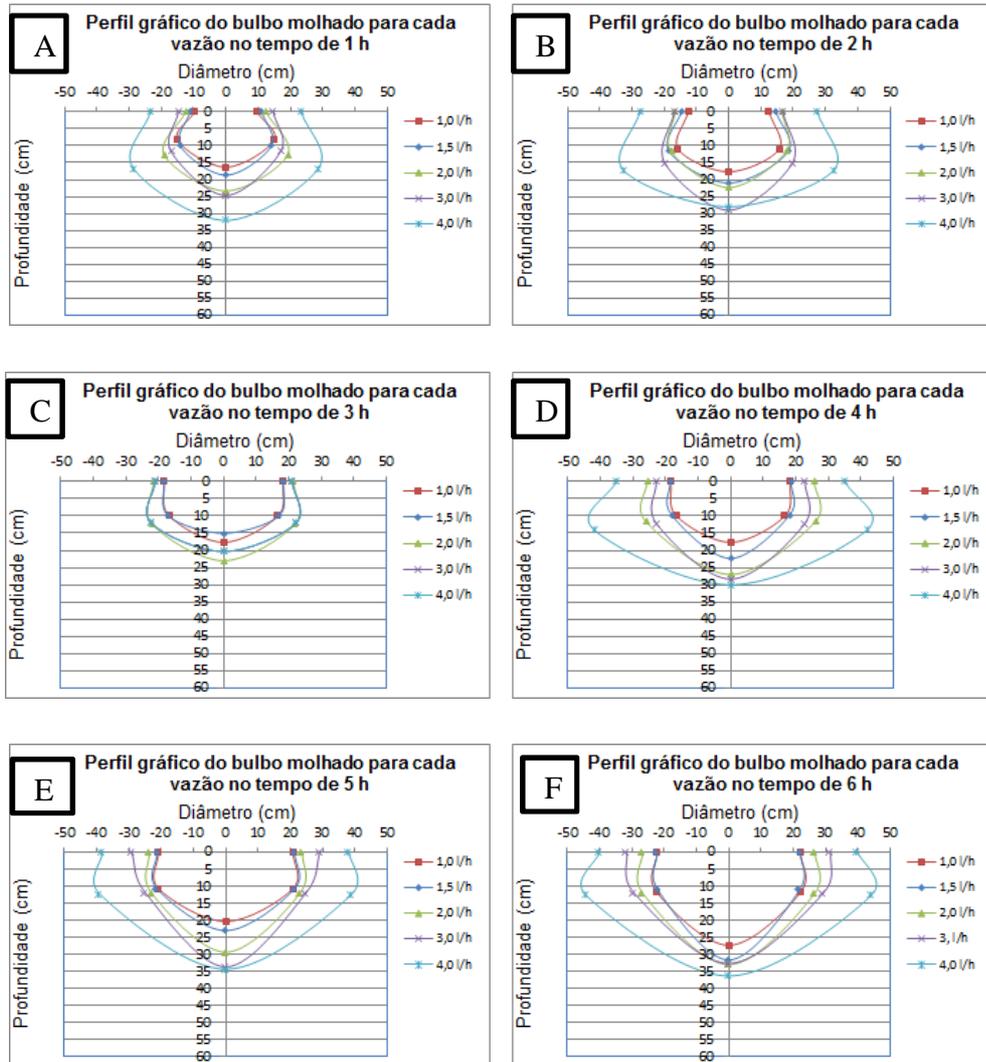


Figura 13. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PAed.

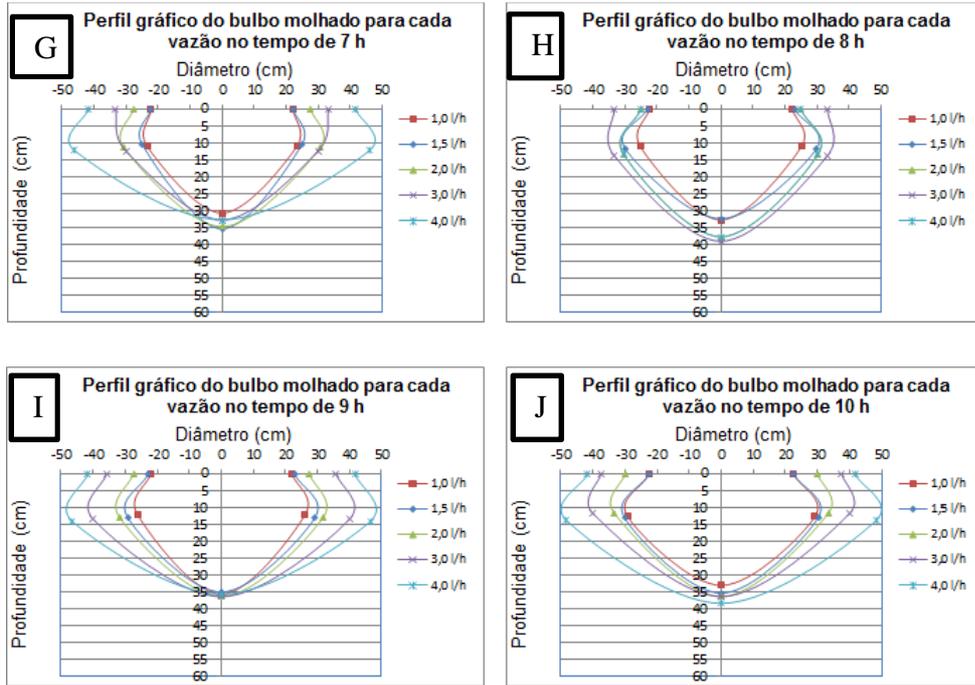


Figura 13. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PAed (continuação).

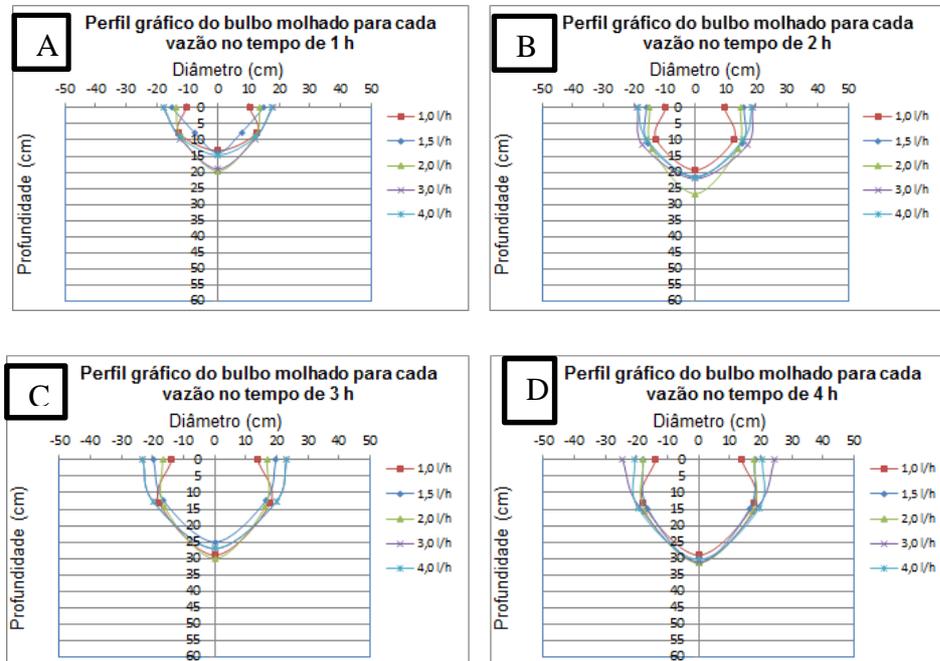


Figura 14. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVA / Aed.

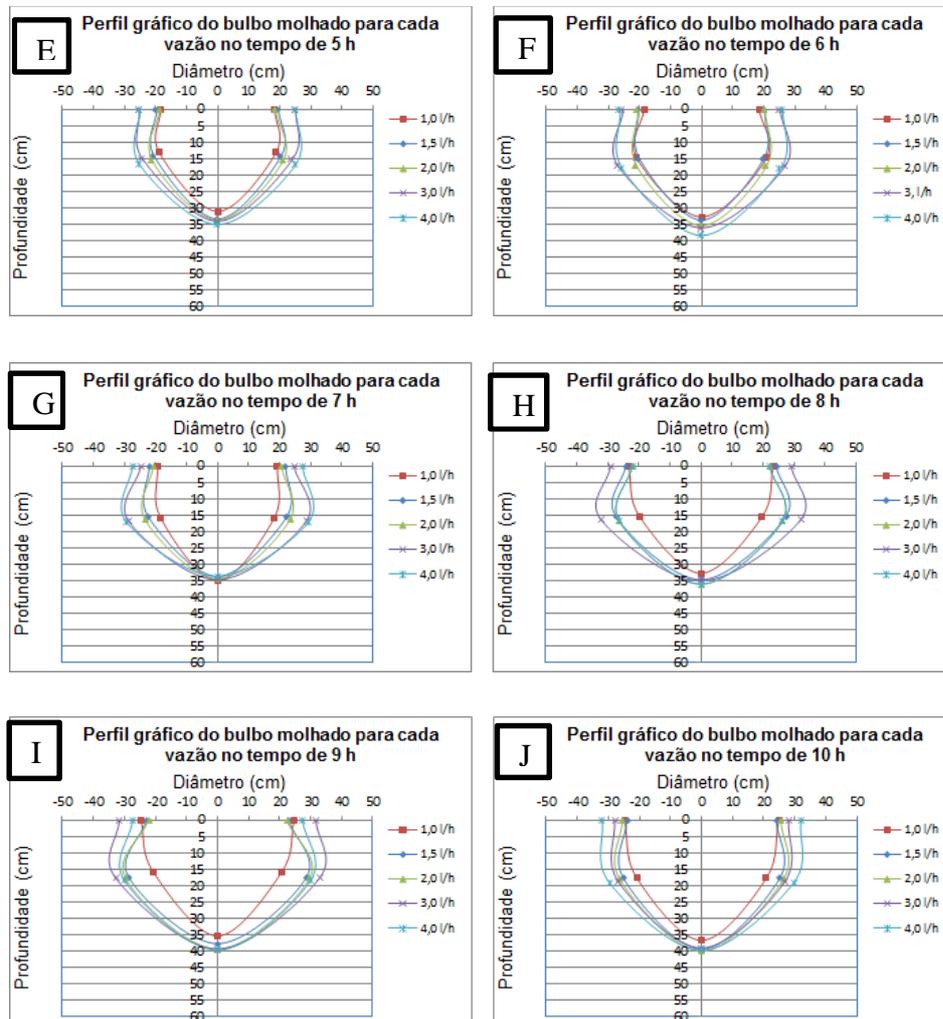


Figura 14. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVA / Aed (continuação).

Foi elaborado um banco de dados em que relaciona a variável profundidade máxima ( $Z_{\text{máx}}$ ) e o raio superficial ( $R_{\text{sup}}$ ) com o volume de água aplicado, segundo Lopez., (1996). Este banco de dados estabeleceu padrões de estimativa das variáveis de acordo com a classificação textural do solo. Comparando seus valores estimados para o solo com textura arenosa, encontramos resultados semelhantes para o neosolo Flúvico (Cyn), mostrados pelo perfil gráfico na Figura 15. No trabalho de Lopez., (1996) com o volume de 2L, a ( $Z_{\text{máx}}$ ) foi de 18 cm e o ( $R_{\text{sup}}$ ) de 14 cm, transformando para ( $D_{\text{sup}}$ ) 28 cm. Praticamente os mesmo valores foram obtidos para essa situação, sendo eles determinados e não estimados, em que a ( $Z_{\text{máx}}$ )

apresentou 17,7 cm e o ( $D_{sup}$ ) 27 cm, figura 15 em B. Outros valores também foram semelhantes para a variável ( $D_{sup}$ ) quando comparamos os volumes 4 L, 8 L, 12 L, 16 L, 24 L e 32 L, onde os resultados são respectivamente de, 34, 44, 50, 52, 58 e 62 cm. Na Figura 15, para os mesmos volumes os dados foram de 35,5, 44,5, 47,5, 53,8, 60,2 e 61 cm, respectivamente.

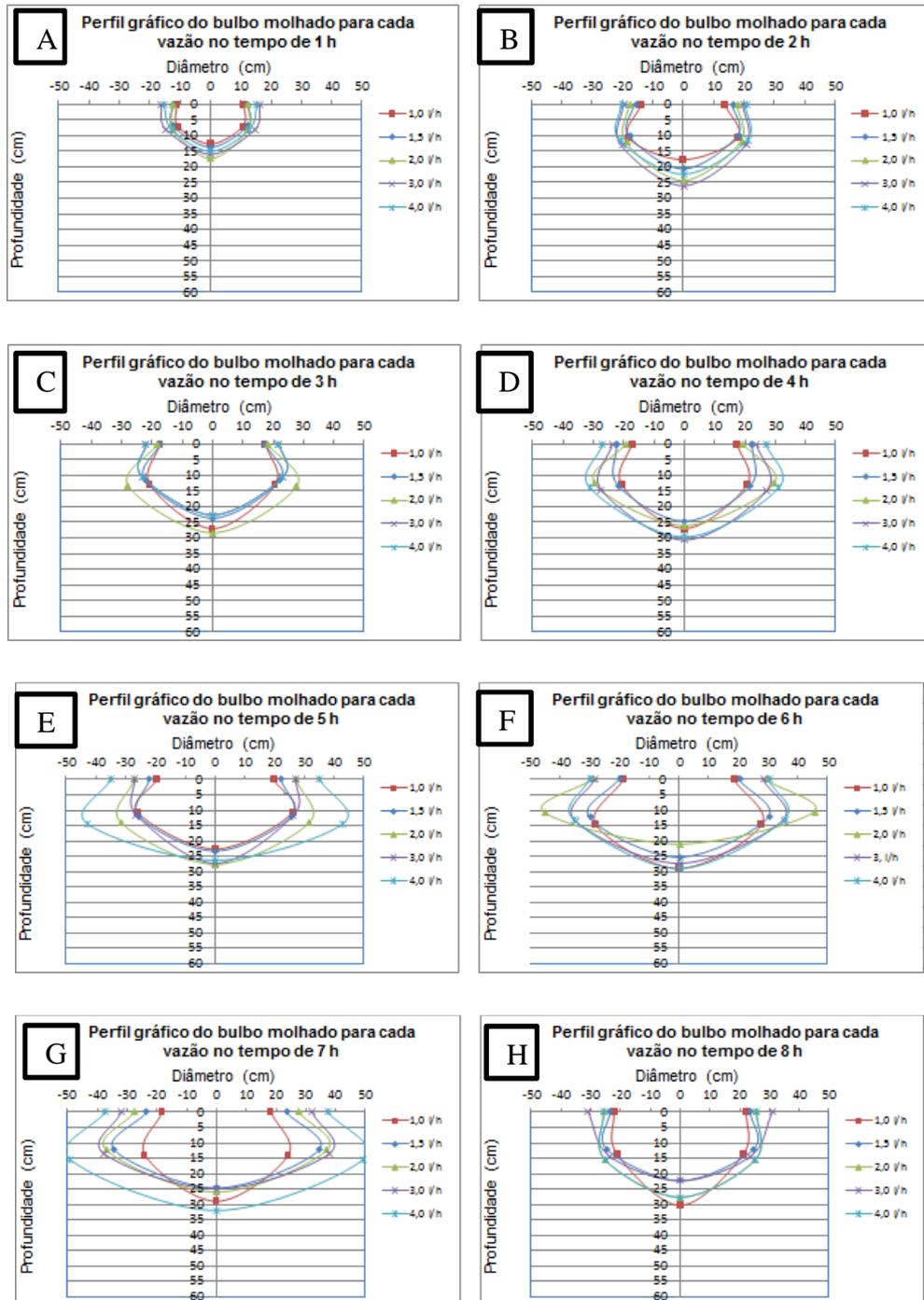


Figura 15. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. CYn.

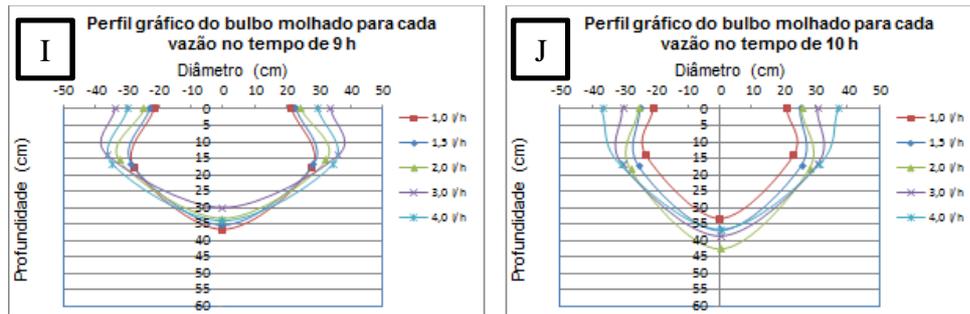


Figura 15. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. CYN (continuação).

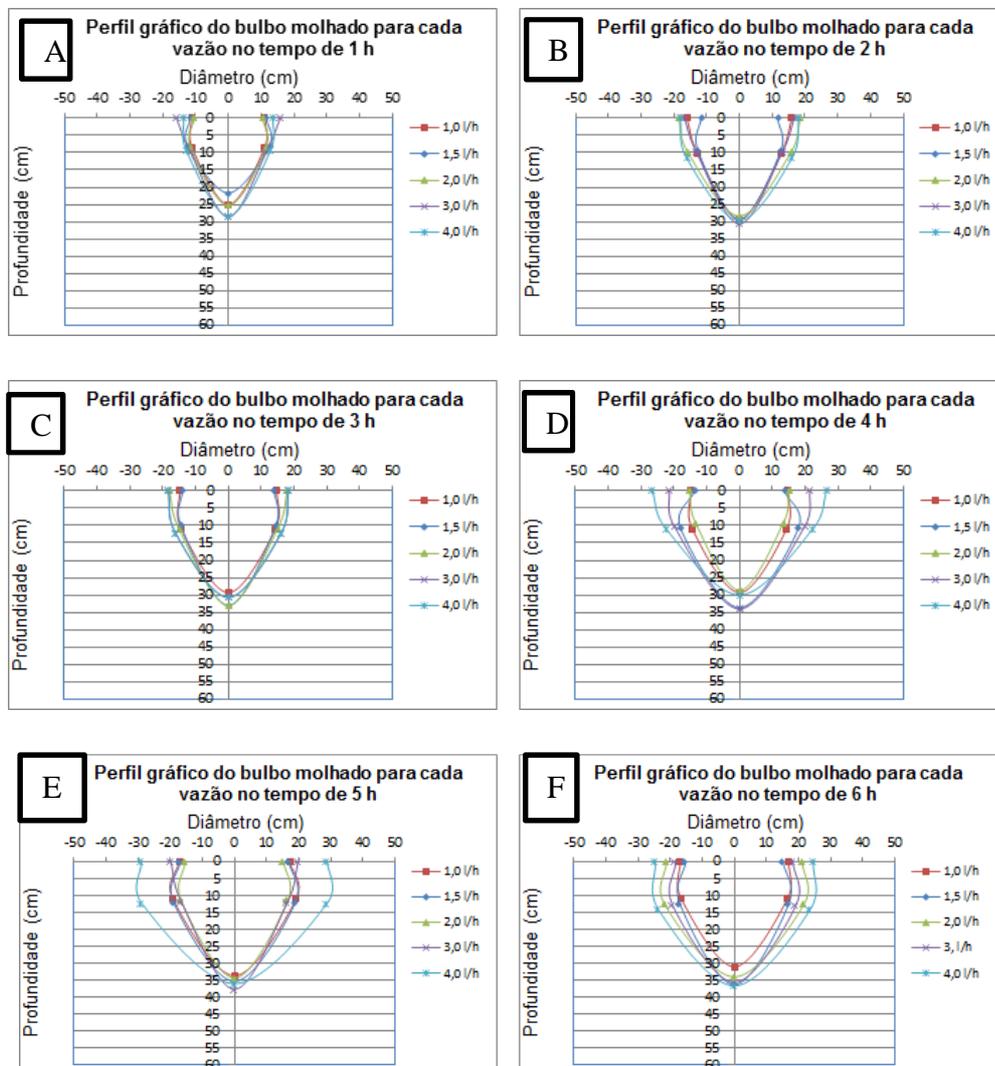


Figura 16. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVAe.

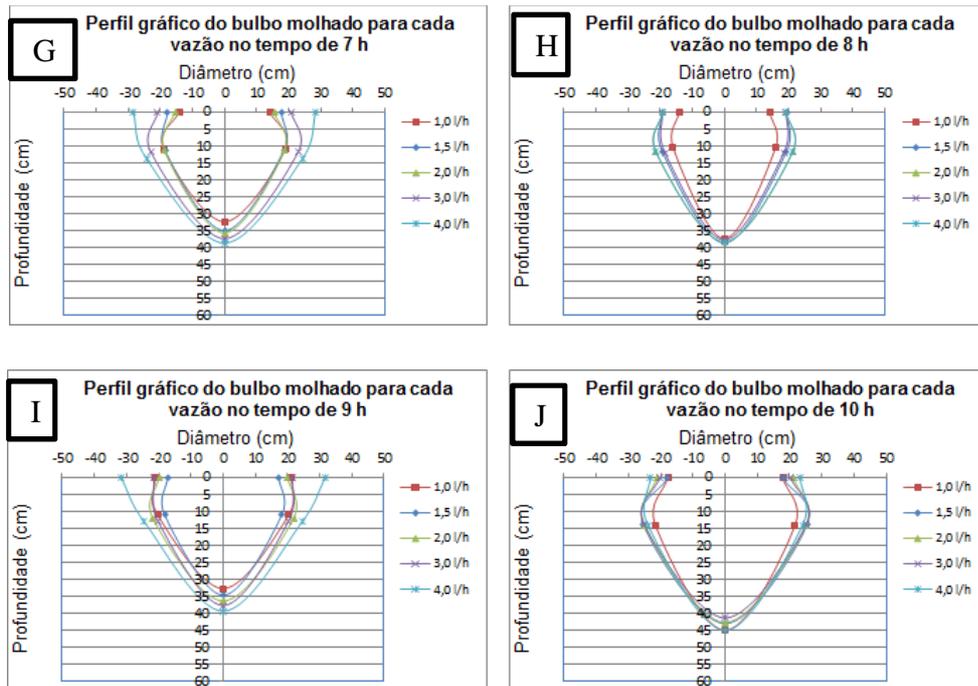


Figura 16. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVAe (continuação).

Os perfis gráficos obtidos em função do tempo em relação à vazão e conseqüentemente da vazão aplicada em decorrência do tempo evidenciaram que em volumes menores de água no solo os bulbos tendem a ser menores, além do mais, solos com texturas mais arenosa também tendem a possuir diâmetro menor em relação aos solos de textura argilosa, diminuindo a distância máxima entre emissores para que ocorra sobreposição dos bulbos. Hung (1995) calculou o espaçamento máximo entre emissores, em função do tipo de solo para emissores de 2,0 l/h e relatou espaçamentos máximos de 0,3, 0,6 e 1,0 m, respectivamente, para solos arenosos, médios e argilosos. Keller & Karmeli (1975) avaliaram diâmetro de bulbo molhado para emissores de 4,0 l/h em solos homogêneos e citam valores 0,5, 0,9 e 1,1 m de diâmetro para solos arenosos, médios e argilosos, respectivamente. Em ambos os trabalhos, os diâmetros de bulbos molhado foram menores em solos arenosos que em solos argilosos, o que mostra a importância da textura do solo na formação dos bulbos. Na Figura 17, é observado na primeira hora de irrigação em A, que o bulbo molhado se situa numa faixa de diâmetro máximo entre 25 e 30 cm, e que a partir da terceira hora ele começa a apresentar a forma de um bulbo achatado, típico de textura mais siltosa e argilosa, Figura 17 em C e D. A partir da sexta hora

de aplicação a variável ( $Z_{\text{máx}}$ ) começa a desenvolver maior alcance vertical, visto na Figura 17 em F, devido principalmente pelo potencial gravitacional da água em decorrência do maior volume aplicado sobre o solo.

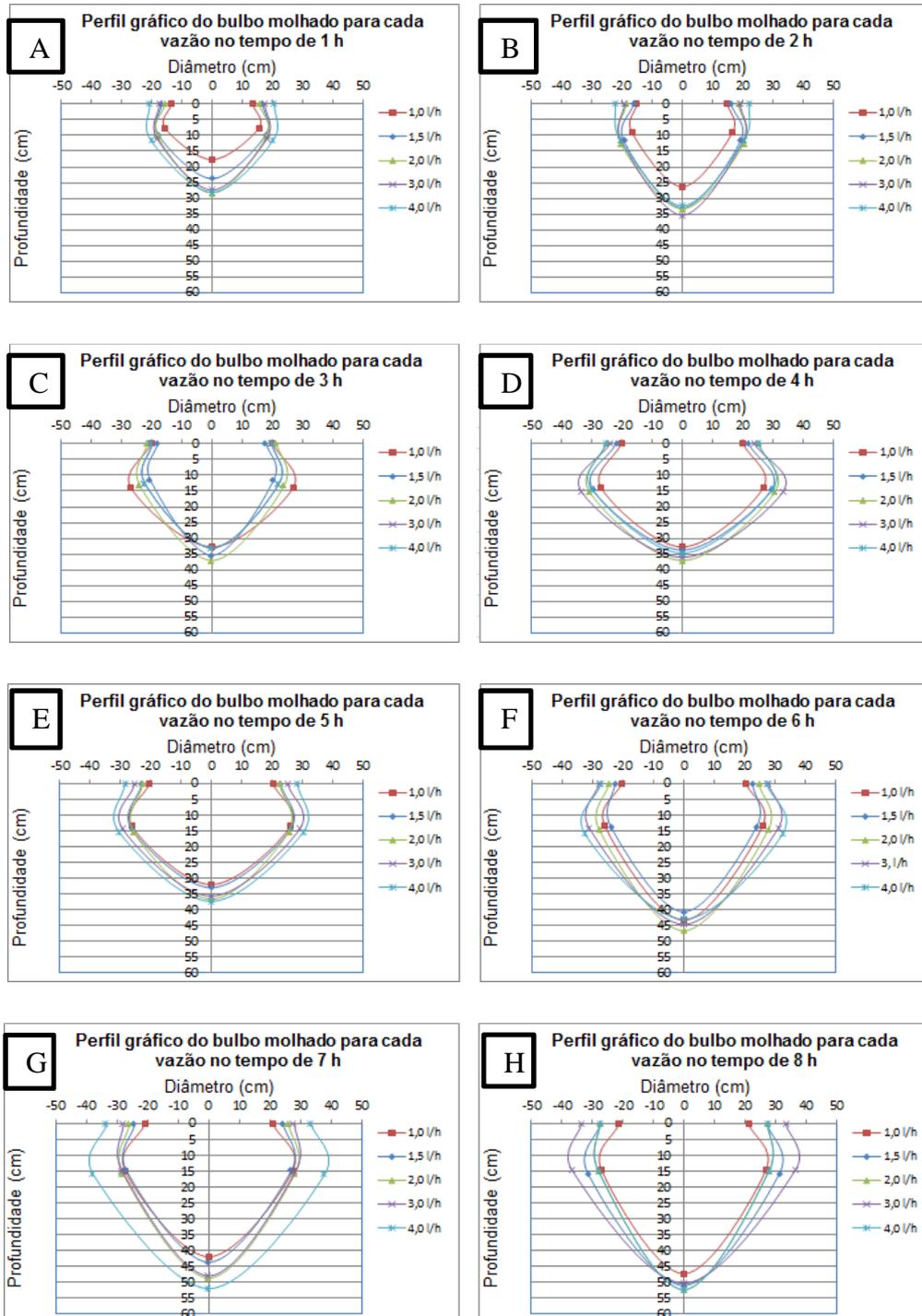


Figura 17. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVA.

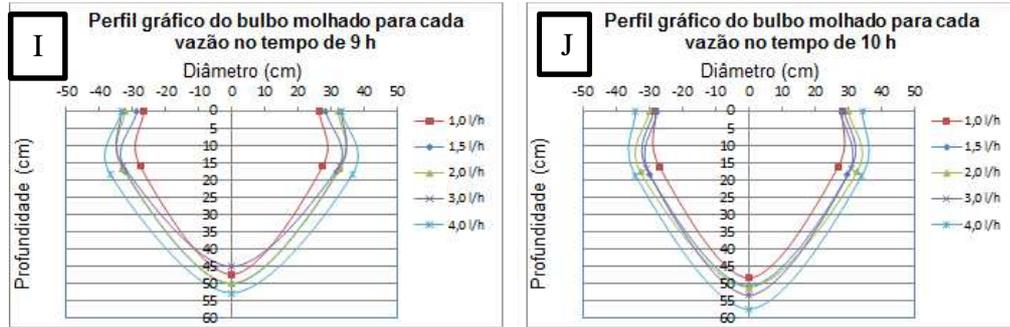


Figura 17. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. PVA (continuação).

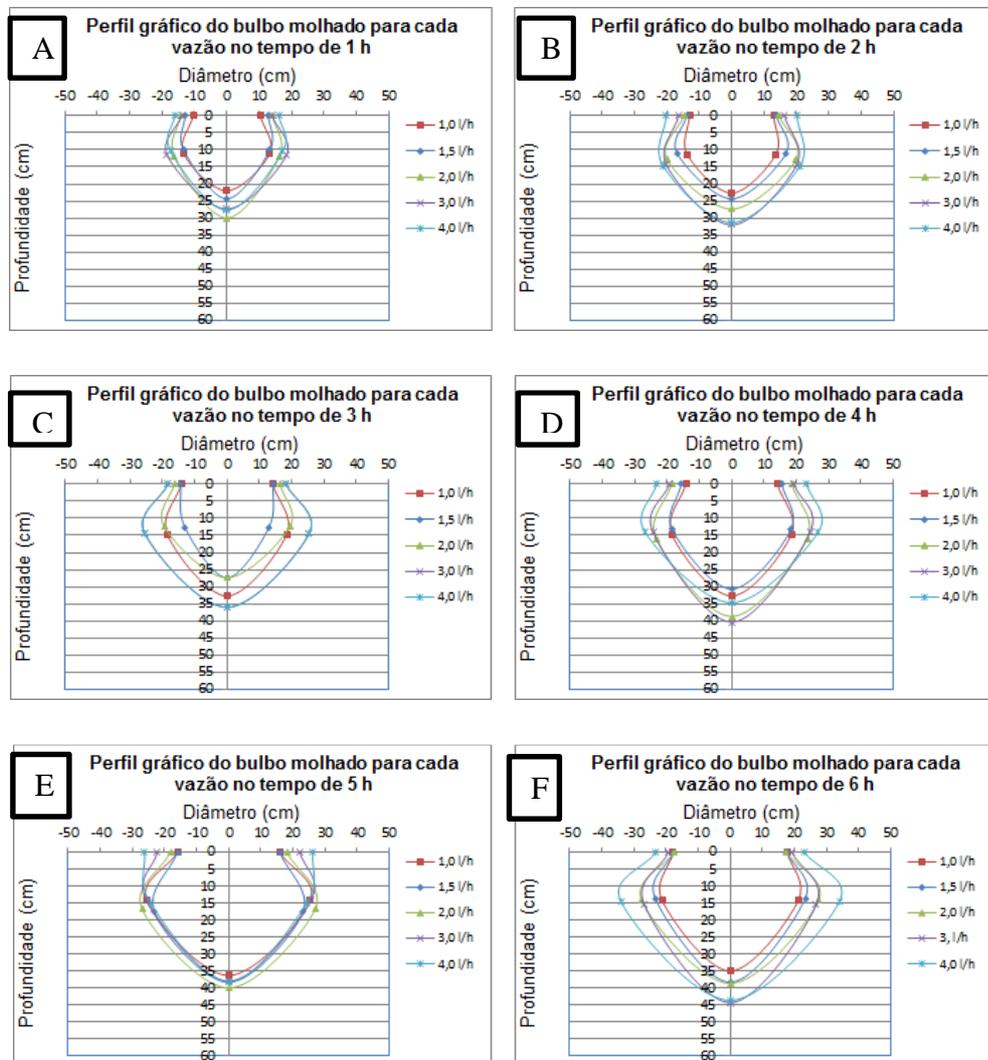


Figura 18. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. VGn.

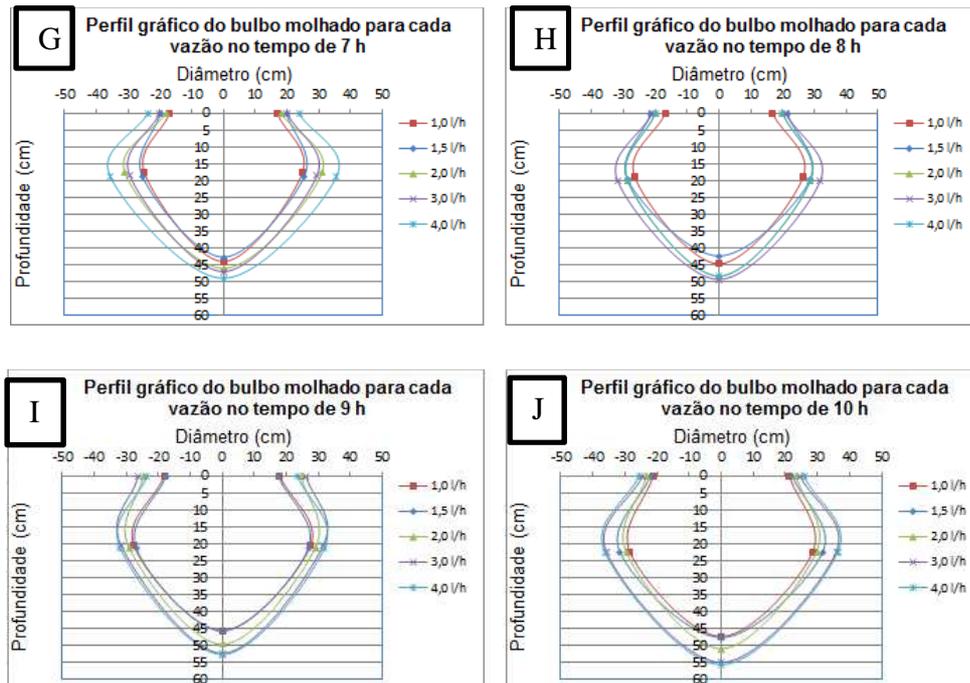


Figura 18. Dimensões do bulbo molhado para o tempo 1 h em A, 2 h em B, 3 h em C, 4 h em D, 5 h em E, 6 h em F, 7 h em G, 8 h em H, 9 h em I e 10 h em J. VGn (continuação).

De acordo com a Figura 19, maiores dimensões do bulbo molhado ocorreram nos gotejadores com maior vazão e nos maiores tempos de aplicação. A vazão do emissor e o tempo aplicado exercem efeito diferenciado na formação do bulbo molhado no solo, e segundo Ramos et al., (1992), maiores vazões dos emissores bem como maior tempo de irrigação, resulta em maior dimensão do bulbo molhado. Os formatos dos bulbos permitiram que se observassem em solos argilosos formas geométricas elípticas e arredondadas, fato já descrito por Thorburn et al., (2003), em que o formato do bulbo molhado é mais arredondado na medida em que o solo é mais argiloso. Ainda em relação à Figura 19, o gotejador de maior vazão 4 l/h em E, apresentou diâmetro máximo de bulbo na primeira hora de aplicação maior que 10% quando comparado com o gotejador de vazão 2 l/h em C no mesmo tempo de aplicação, justificando que ao dobrar a vazão, principalmente em solos argilosos, ocorre aumento do diâmetro em 10 %. Schwartzman e Zur., (1986) realizou simulações para que não houvesse sobreposição do bulbo molhado, observaram pela análise de sensibilidade que, duplicando a vazão do emissor resulta no aumento de 10% no diâmetro e um decréscimo de 30% na profundidade molhada e

que, o efeito na mudança na vazão do emissor é mais acentuada em solos argilosos que em solos arenosos.

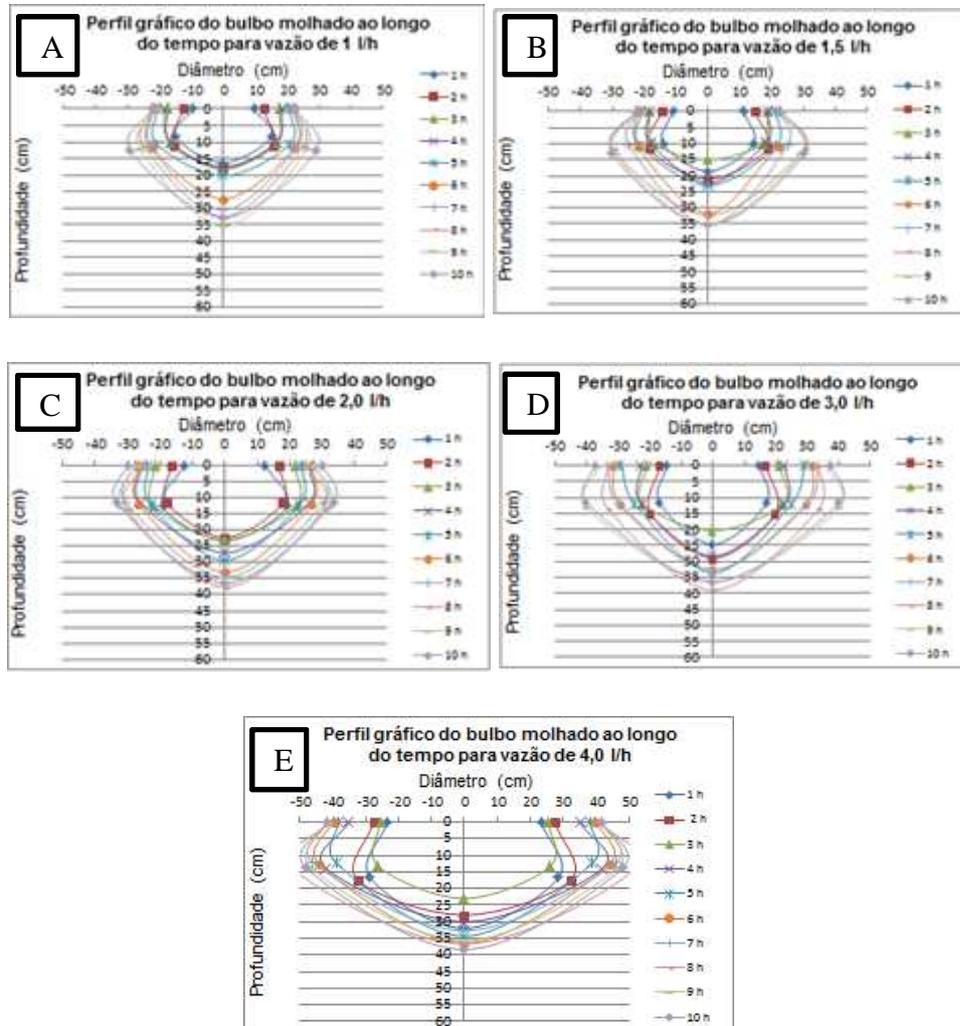


Figura 19. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PAed.

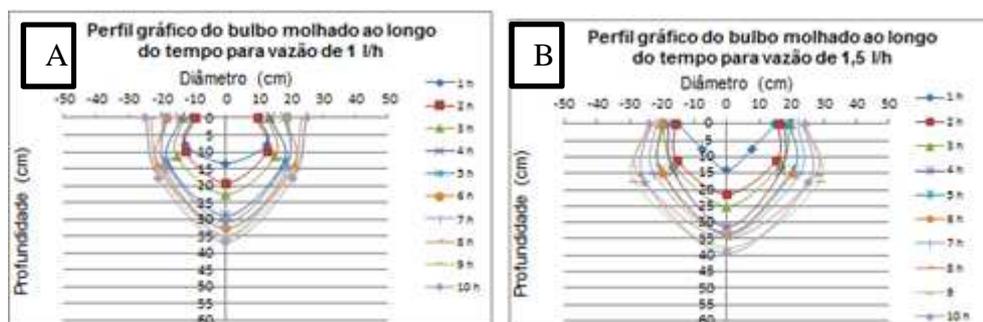


Figura 20. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVA / Aed.

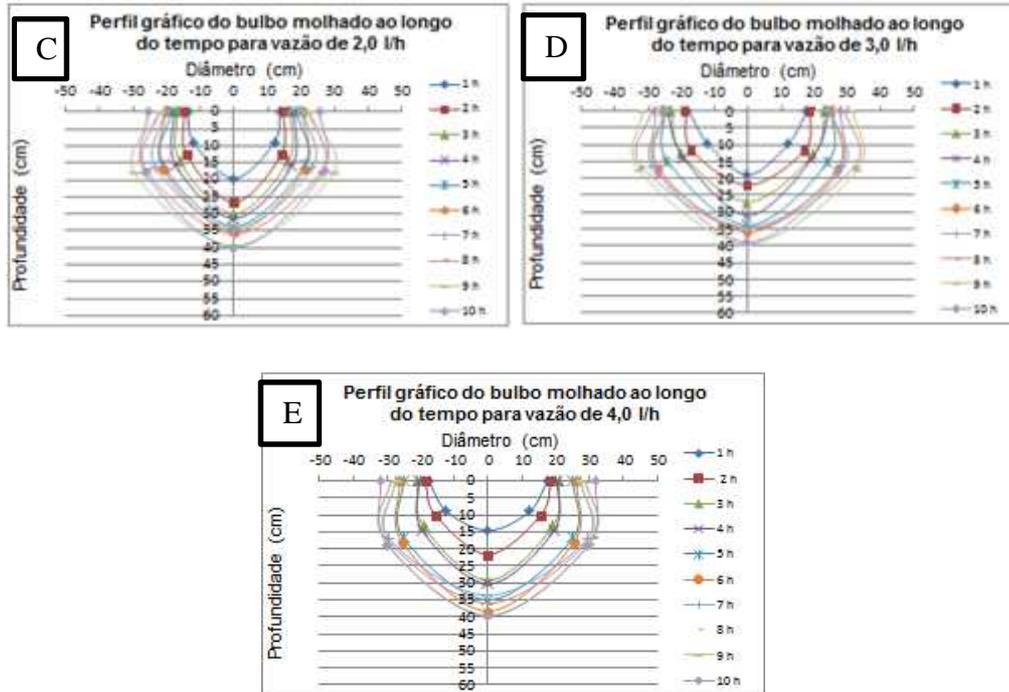


Figura 20. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVA / Aed (continuação).

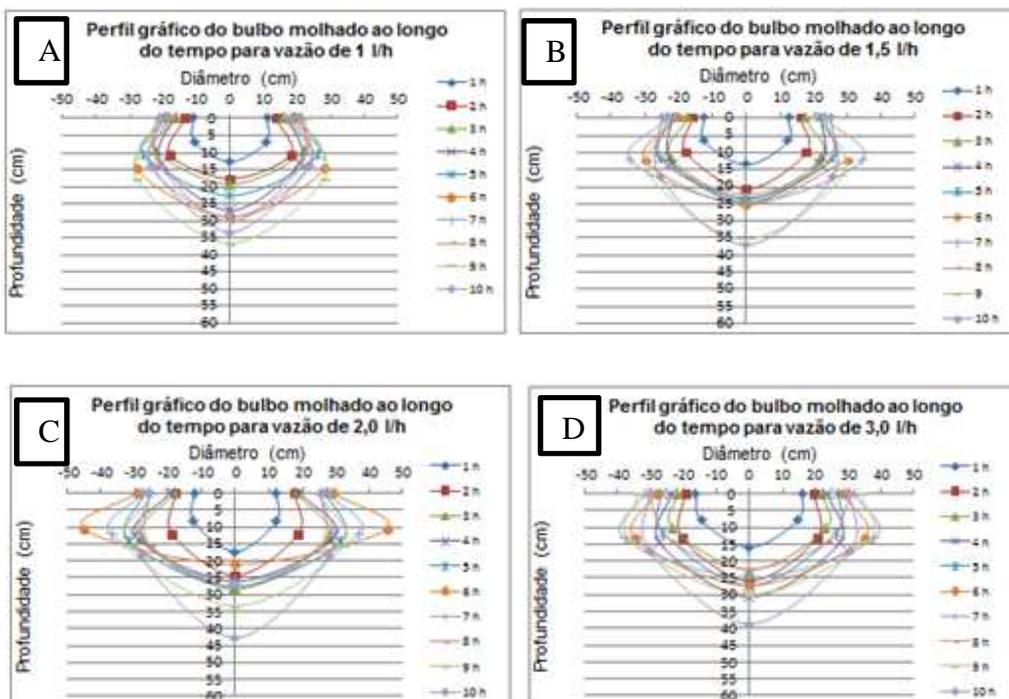


Figura 21. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. CYN.

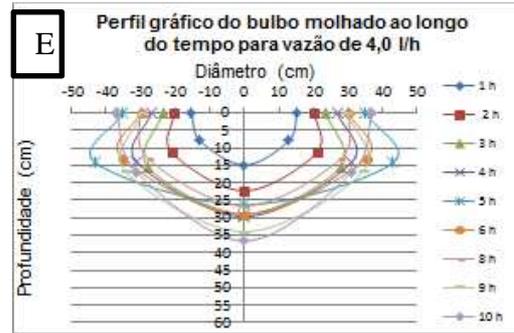


Figura 21. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. CYn (continuação).

É importante comentar, que o maior volume aplicado no experimento foi de 40 L, e que para todos os solos estudados, a variável  $(D_{m\acute{a}x}) > (Z_{m\acute{a}x})$ , assumindo um formato esférico, exceto para o solo argiloso vermelho-amarelo textura média a argilosa (PVAe), na vazão de 1 l/h, Figura 22 em A, em que,  $(Z_{m\acute{a}x}) > (D_{m\acute{a}x})$ . Roth.,(1974) observou três tipos de solos e o volume aplicado de 95 L de água o bulbo apresentou geometria esférica com  $(D_{m\acute{a}x}) > (Z_{m\acute{a}x})$ . No entanto, acima de 95 L, a variável  $(Z_{m\acute{a}x})$  passa a prevalecer em relação a  $(D_{m\acute{a}x})$ . Trabalhando em solos franco arenoso e franco argiloso, Angelakis et al., (1993), encontrou para ambos os solos, valores de  $(Z_{max}) > (D_{m\acute{a}x})$ . Outro trabalho também apresentou situação semelhante, Mostaghimi et al., (1981), trabalhando em solo franco argiloso siltoso com pequenos volumes de água aplicados, verificaram na formação do bulbo  $(Z_{m\acute{a}x}) > (D_{m\acute{a}x})$ .

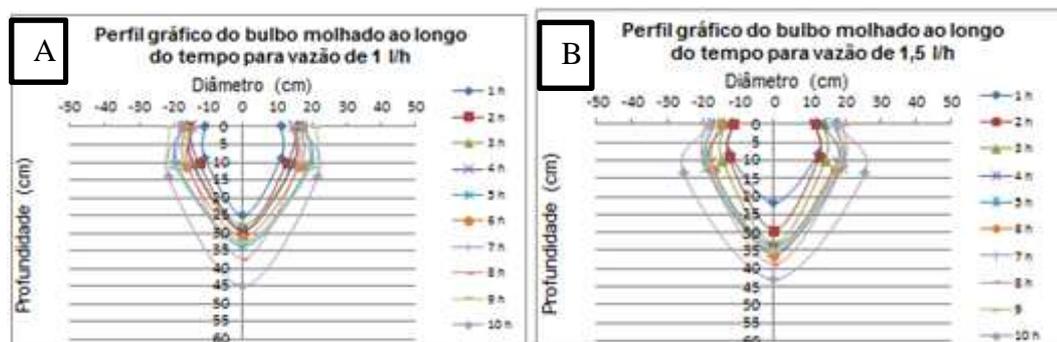


Figura 22. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVAe.

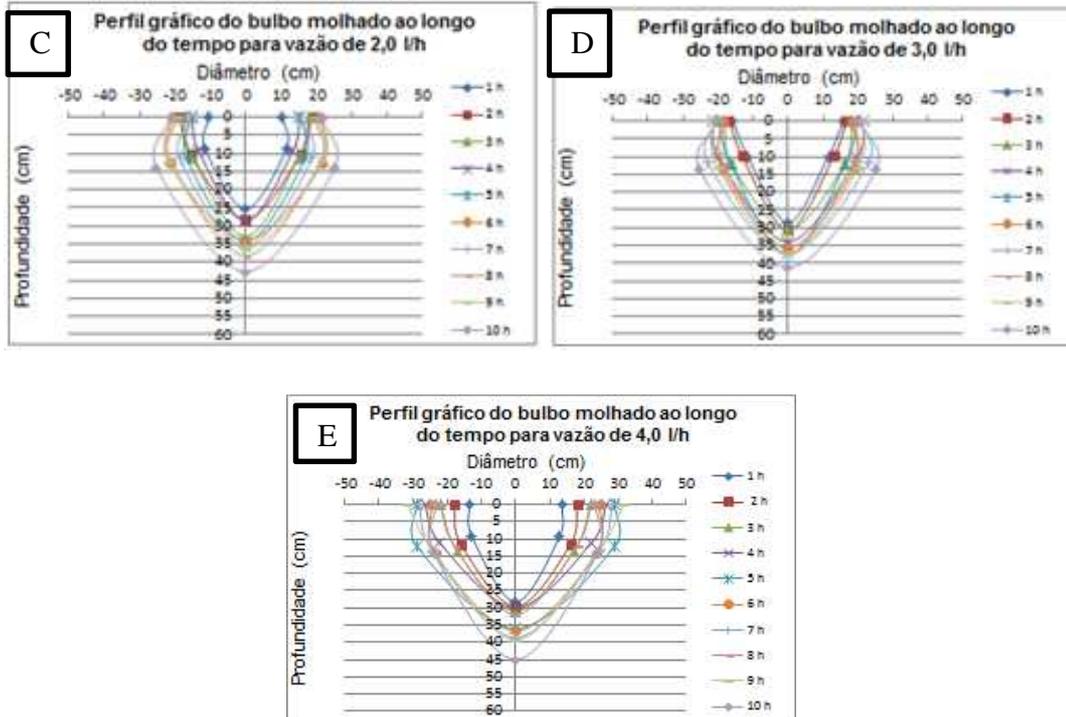


Figura 22. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVAe (continuação).

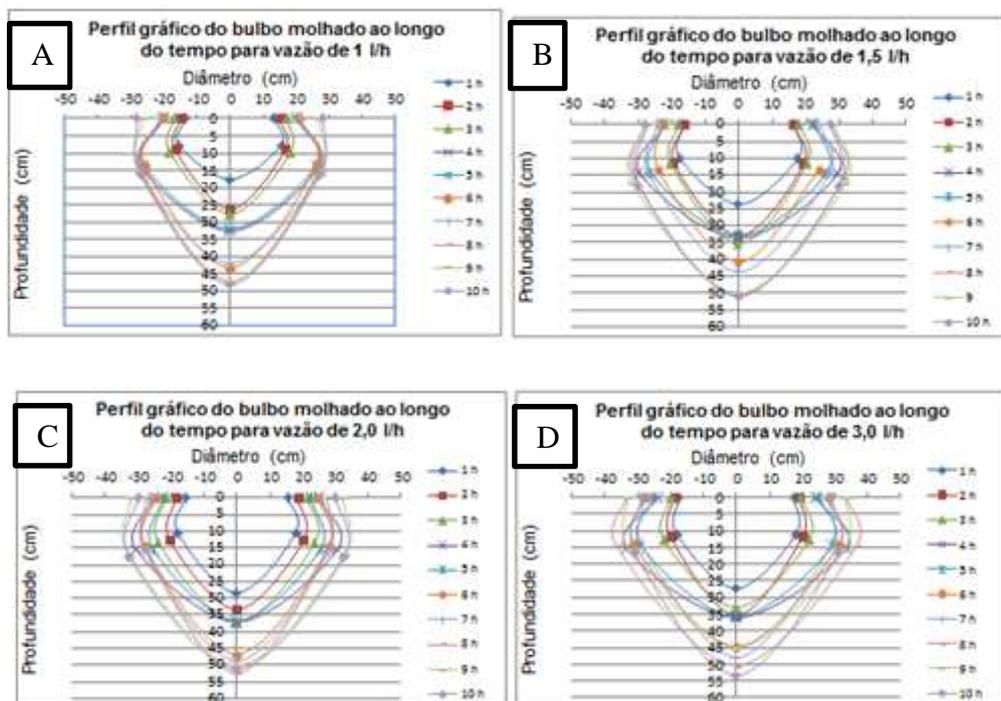


Figura 23. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVA.

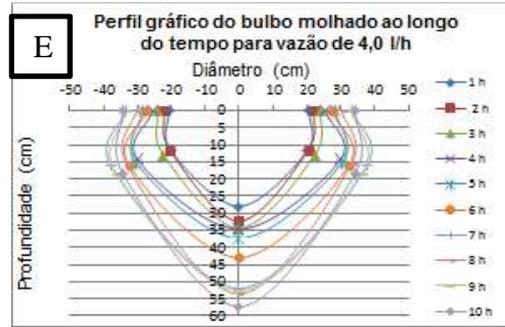


Figura 23. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. PVA (continuação).

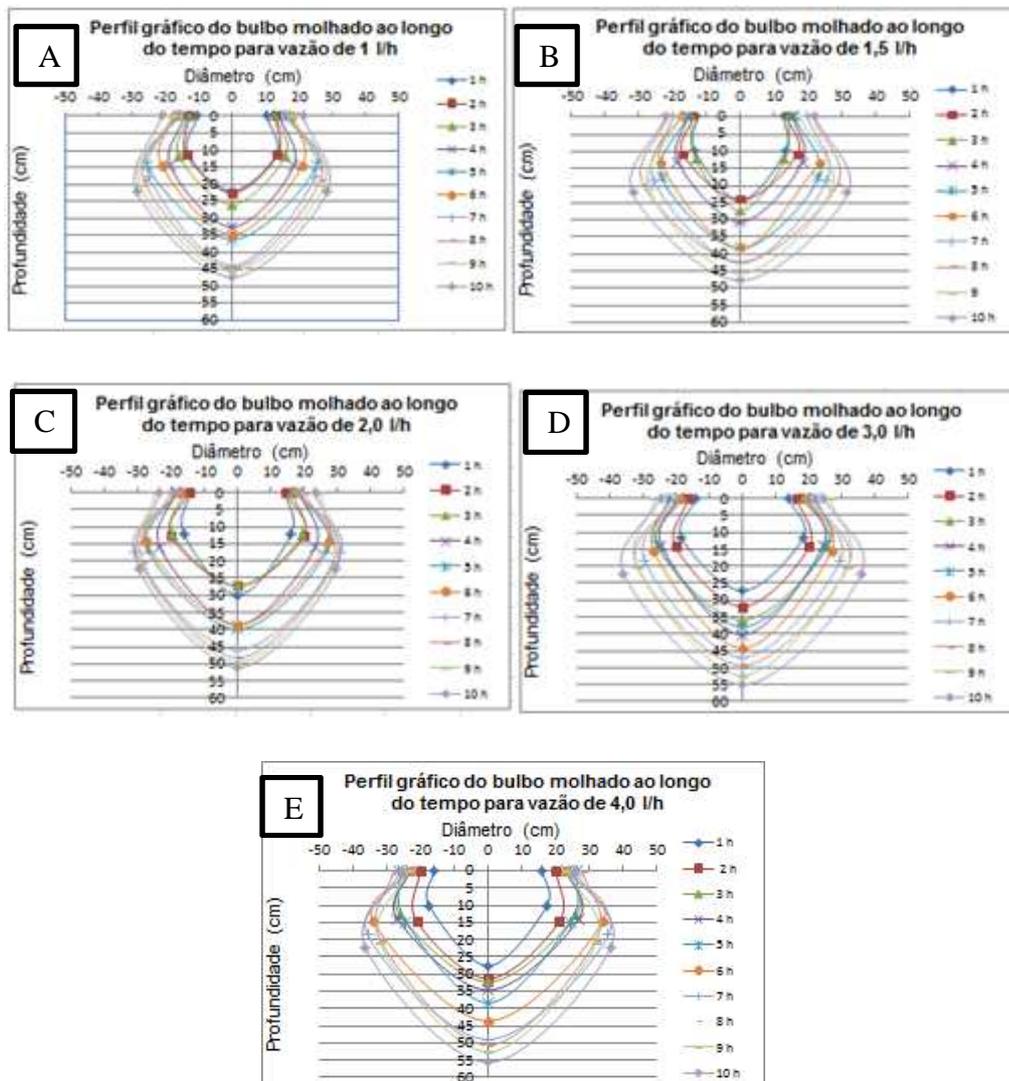


Figura 24. Dimensões do bulbo molhado na vazão 1 l/h em A, 1,5 l/h em B, 2 l/h em C, 3 l/h em D e 4 l/h em E. VGn.

### 4.3 Dimensões do bulbo molhado

As dimensões do bulbo molhado são influenciadas pela vazão do emissor ( $q$ ) e pelo tempo de aplicação de água ( $t$ ), em que se ajustou o modelo potencial para diâmetro superficial ( $D_s$ ), diâmetro máximo ( $D_{max}$ ), profundidade onde ocorre o  $D_{max}$  ( $Z_{dmax}$ ) e profundidade máxima ( $Z_{max}$ ) em função de  $q$  e  $t$  para cada solo estudado usando as medias das três repetições.

Observando os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) verifica-se que o modelo potencial em função do tempo, ajusta-se bem aos parâmetros analisados para todas as vazões. Quando comparamos o argissolo vermelho amarelo textura média (PVA) com associação de cambissolo e neossolo flúvico (CYn), para as vazões 2,0 l/h, 3,0 l/h e 4,0 l/h a qualidade do ajuste é mantida no (PVA), entretanto diminui no (CYn), sobretudo para a variável profundidade máxima. A mesma falta de ajuste para este solo também foi verificada quando se avaliou as dimensões do bulbo molhado em função do tempo de aplicação de água ( $t$ ). Segundo Resende et al. (1995), estes solos são provenientes de depósitos aluviais, sendo muito variável a pequenas distancias, tanto na horizontal como na vertical. Podemos também relacionar esse tipo de solo com sua localização de ocorrência, nas proximidades do Rio São Francisco, onde se encontram os depósitos aluviais que constituem esse tipo de solo.

O modelo potencial, quando ajustado em função do volume aplicado apesar de ser algebricamente diferente de que quando em função do tempo, produz coeficientes de determinação praticamente iguais. Em razão disso, o desempenho do ajuste em função do volume aplicado é idêntico ao desempenho do ajuste em função do tempo. O modelo potencial em função do tempo é interessante observar que o coeficiente  $a$  aumenta com o aumento da vazão do emissor para um mesmo tempo de aplicação, Tabelas 10 a 14. Isso sugere que as dimensões em estudo do bulbo molhado aumentam com o incremento da vazão do emissor. Resultado semelhante foi obtido por Maia., (2010), ao avaliar as dimensões do bulbo molhado na irrigação por gotejo superficial em função da vazão do emissor e do tempo de aplicação de água em seis solos da região oeste do Rio Grande do Norte, usando o modelo potencial.

Utilizando gotejadores de baixa vazão o bulbo molhado pode apresentar a profundidade maior que a largura, e conseqüentemente pode não ocorrer sobreposição, assim, apresenta a vantagem de menor área de exposição para a evaporação de água do solo, situação contrária ao que acontece quando se utiliza gotejadores de maior vazão. O trabalho de Revol et al., (1997), usando gotejadores de baixa vazão, relata que será necessário um maior número de emissores para suprir a demanda de água das plantas, porém exigirá menor tempo de aplicação de água, contribuindo para maior eficiência do uso da água. Dessa forma, tanto altas como baixas vazões, juntamente com o tempo de aplicação, podem apresentar vantagens e desvantagens, e cada caso deve ser analisado, sendo importante a combinação de vazão e tempo de aplicação para a formação e manutenção de volume de solo molhado. A avaliação dos valores das dimensões ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmax}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) em função da vazão do emissor e do tempo de aplicação no vertisol (VGn) tiveram ajustes de correlação de acordo com os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) como pode ser visto nas tabelas de 9 a 13. Para a vazão de 1 l/h obtivemos coeficientes de determinação de (0,825 a 0,925); para a vazão de 1,5 l/h (0,812 a 0,906); para a vazão de 2 l/h (0,781 a 0,920), com a vazão de 3 l/h (0,771 a 0,959) e para a vazão de 4 l/h (0,731 a 0,913).

Tabela 9. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 1,0 l/h em todos os solos.

| Solo | Variável dependente (y) cm | Modelo potencial estimado em função do tempo (t) h | Modelo potencial estimado em função do volume (v) l | R2    |       |
|------|----------------------------|--|---|-------|-------|
|      |                            |  |   |       |       |
| PVA  | $\emptyset$ Superficial    | $y = 25,446.T^{0,2948}$                            | $y = 25,446.V^{0,2948}$                             | 0,897 | 0,897 |
|      | $\emptyset$ máximo         | $y = 30,131.T^{0,2875}$                            | $y = 30,131.V^{0,2875}$                             | 0,844 | 0,844 |
|      | Z ( $\emptyset$ ) máximo   | $y = 7,4518.T^{0,3445}$                            | $y = 7,4518.V^{0,3445}$                             | 0,928 | 0,928 |
|      | Z máximo                   | $y = 17,872.T^{0,4433}$                            | $y = 17,872.V^{0,4433}$                             | 0,962 | 0,962 |

Tabela 9. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 1,0 l/h em todos os solos. (Continuação).

|         |               |                         |                         |       |       |
|---------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| CYn     | Ø Superficial | $y = 22,689.T^{0,2886}$ | $y = 22,689.V^{0,2886}$ | 0,94  | 0,94  |
|         | Ø máximo      | $y = 26,339.T^{0,3243}$ | $y = 26,339.V^{0,3243}$ | 0,712 | 0,712 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 7,4093.T^{0,3245}$ | $y = 7,4093.V^{0,3245}$ | 0,801 | 0,801 |
|         | Z máximo      | $y = 12,769.T^{0,4355}$ | $y = 12,769.V^{0,4355}$ | 0,941 | 0,941 |
| PVA/Aed | Ø Superficial | $y = 24,19.T^{0,2463}$  | $y = 24,186.V^{0,2463}$ | 0,884 | 0,884 |
|         | Ø máximo      | $y = 16,86.T^{0,4511}$  | $y = 16,862.V^{0,4513}$ | 0,890 | 0,890 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 7,7225.T^{0,3447}$ | $y = 7,7225.V^{0,3447}$ | 0,983 | 0,983 |
|         | Z máximo      | $y = 14,224.T^{0,4381}$ | $y = 14,224.V^{0,4381}$ | 0,959 | 0,959 |
| PAed    | Ø Superficial | $y = 20,504.T^{0,3854}$ | $y = 20,504.V^{0,3854}$ | 0,928 | 0,928 |
|         | Ø máximo      | $y = 26,082.T^{0,3016}$ | $y = 26,082.V^{0,3016}$ | 0,857 | 0,857 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 8.8599.T^{0,132}$  | $y = 8.8599.V^{0,132}$  | 0,710 | 0,710 |
|         | Z máximo      | $y = 13,568.T^{0,3748}$ | $y = 13,568.V^{0,3748}$ | 0,781 | 0,781 |
| PVAe    | Ø Superficial | $y = 25,084.T^{0,1494}$ | $y = 25,084.V^{0,1494}$ | 0,414 | 0,414 |
|         | Ø máximo      | $y = 21,471.T^{0,2735}$ | $y = 21,471.V^{0,2735}$ | 0,840 | 0,840 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 8.9923.T^{0,1189}$ | $y = 8.9923.V^{0,1189}$ | 0,561 | 0,561 |

Tabela 9. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 1,0 l/h em todos os solos. (Continuação).

|     |               |                         |                         |       |       |
|-----|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| VGn | Ø Superficial | $y = 20,474.T^{0,2712}$ | $y = 20,474.V^{0,2712}$ | 0,919 | 0,919 |
|     | Ø máximo      | $y = 23,538.T^{0,3768}$ | $y = 23,538.V^{0,3768}$ | 0,898 | 0,898 |
|     | Z (Ø) máximo  | $y = 9,5182T^{0,3103}$  | $y = 9,5182V^{0,3103}$  | 0,825 | 0,825 |
|     | Z máximo      | $y = 19,261.T^{0,3831}$ | $y = 19,261.V^{0,3831}$ | 0,925 | 0,925 |

Tabela 10. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 1,5 l/h em todos os solos.

| Solo | Variável dependente (y) cm | Modelo potencial estimado em função do tempo (t) h | Modelo potencial estimado em função do volume (v) l | R2    |       |
|------|----------------------------|--|---|-------|-------|
|      |                            |  |   |       |       |
| PVA  | Ø Superficial              | $y = 29,727.T^{0,264}$                             | $y = 26,686.V^{0,2647}$                             | 0,881 | 0,881 |
|      | Ø máximo                   | $y = 33,859.T^{0,2639}$                            | $y = 30,416.V^{0,2642}$                             | 0,811 | 0,808 |
|      | Z (Ø) máximo               | $y = 9,6155.T^{0,244}$                             | $y = 8,7004.V^{0,2447}$                             | 0,887 | 0,888 |
|      | Z máximo                   | $y = 23,834.T^{0,3169}$                            | $y = 20,929.V^{0,318}$                              | 0,876 | 0,877 |
| CYn  | Ø Superficial              | $y = 26,185.T^{0,2864}$                            | $y = 23,302.V^{0,2869}$                             | 0,915 | 0,913 |
|      | Ø máximo                   | $y = 27,677.T^{0,349}$                             | $y = 24,01.V^{0,3496}$                              | 0,788 | 0,786 |
|      | Z (Ø) máximo               | $y = 7,4395.T^{0,3185}$                            | $y = 6,5303.V^{0,3193}$                             | 0,808 | 0,809 |
|      | Z máximo                   | $y = 14,831.T^{0,3252}$                            | $y = 12,977.V^{0,3263}$                             | 0,746 | 0,747 |

Tabela 10. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 1,5 l/h em todos os solos. (Continuação).

|         |               |                         |                         |       |       |
|---------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| PVA/Aed | Ø Superficial | $y = 29,020.T^{0,2111}$ | $y = 26,628.V^{0,2111}$ | 0,901 | 0,901 |
|         | Ø máximo      | $y = 17,705.T^{0,5017}$ | $y = 14,429.V^{0,5017}$ | 0,92  | 0,92  |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 8,3448.T^{0,3278}$ | $y = 7,2988.V^{0,3286}$ | 0,946 | 0,947 |
|         | Z máximo      | $y = 15,427.T^{0,4235}$ | $y = 12,978.V^{0,4244}$ | 0,953 | 0,953 |
| PAed    | Ø Superficial | $y = 23,876.T^{0,3158}$ | $y = 20,994.V^{0,3163}$ | 0,939 | 0,938 |
|         | Ø máximo      | $y = 26,408.T^{0,3331}$ | $y = 23,032.V^{0,3343}$ | 0,865 | 0,866 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 9,7492.T^{0,0826}$ | $y = 9,4173.V^{0,0833}$ | 0,331 | 0,335 |
|         | Z máximo      | $y = 15,404.T^{0,3444}$ | $y = 13,358.V^{0,3461}$ | 0,672 | 0,675 |
| PVAe    | Ø Superficial | $y = 21,618.T^{0,230}$  | $y = 19,687.V^{0,2303}$ | 0,849 | 0,847 |
|         | Ø máximo      | $y = 23,250.T^{0,2573}$ | $y = 20,92.V^{0,2581}$  | 0,781 | 0,782 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 8,1669.T^{0,1899}$ | $y = 7,5531.V^{0,1906}$ | 0,841 | 0,843 |
|         | Z máximo      | $y = 23,752.T^{0,2299}$ | $y = 21,618.V^{0,2305}$ | 0,862 | 0,862 |
| VGn     | Ø Superficial | $y = 23,919.T^{0,2272}$ | $y = 21,785.V^{0,2281}$ | 0,812 | 0,814 |
|         | Ø máximo      | $y = 23,531.T^{0,3889}$ | $y = 20,047.V^{0,3906}$ | 0,821 | 0,823 |
|         | Z (Ø) máximo  | $y = 8,9726.T^{0,3593}$ | $y = 7,7489.V^{0,360}$  | 0,861 | 0,860 |
|         | Z máximo      | $y = 21,163.T^{0,3354}$ | $y = 18,445.V^{0,3364}$ | 0,905 | 0,906 |

Tabela 11. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 2,0 l/h em todos os solos.

| Solo    | Variável dependente (y) cm | Modelo potencial estimado em função do tempo (t) h | Modelo potencial estimado em função do volume (v) l | R2    |       |
|---------|----------------------------|--|---|-------|-------|
|         |                            |  |   |       |       |
| PVA     | Ø Superficial              | $y = 30,94.T^{0,2879}$                             | $y = 25,352.V^{0,2879}$                             | 0,927 | 0,927 |
|         | Ø máximo                   | $y = 36,125.T^{0,2489}$                            | $y = 30,413.V^{0,2488}$                             | 0,851 | 0,851 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 10,784.T^{0,1972}$                            | $y = 9,4061.V^{0,1973}$                             | 0,909 | 0,910 |
|         | Z máximo                   | $y = 27,219.T^{0,2747}$                            | $y = 22,506.V^{0,2747}$                             | 0,902 | 0,903 |
| CYn     | Ø Superficial              | $y = 26,467.T^{0,3369}$                            | $y = 20,968.V^{0,3368}$                             | 0,81  | 0,809 |
|         | Ø máximo                   | $y = 30,555.T^{0,3855}$                            | $y = 23,435.V^{0,3848}$                             | 0,618 | 0,615 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 9,0507.T^{0,239}$                             | $y = 7,6614.V^{0,2396}$                             | 0,638 | 0,641 |
|         | Z máximo                   | $y = 18,454.T^{0,244}$                             | $y = 15,559.V^{0,2448}$                             | 0,542 | 0,546 |
| PVA/Aed | Ø Superficial              | $y = 25,758.T^{0,2556}$                            | $y = 21,576.V^{0,2558}$                             | 0,945 | 0,946 |
|         | Ø máximo                   | $y = 22,133.T^{0,3904}$                            | $y = 16,897.V^{0,3903}$                             | 0,947 | 0,946 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 9,9699.T^{0,2696}$                            | $y = 8,2718.V^{0,2697}$                             | 0,921 | 0,921 |
|         | Z máximo                   | $y = 20,916.T^{0,2816}$                            | $y = 17,208.V^{0,2817}$                             | 0,965 | 0,966 |
| PAed    | Ø Superficial              | $y = 26,835.T^{0,3556}$                            | $y = 20,987.V^{0,3555}$                             | 0,910 | 0,910 |

Tabela 11. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 2,0 l/h em todos os solos. (Continuação).

|      |               |                         |                         |       |       |
|------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| PAed | Ø máximo      | $y = 33,725.T^{0,2752}$ | $y = 27,888.V^{0,2750}$ | 0,847 | 0,845 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 9,7942.T^{0,2364}$ | $y = 8,3148.V^{0,2365}$ | 0,876 | 0,876 |
|      | Z máximo      | $y = 20,239.T^{0,2557}$ | $y = 16,962.V^{0,2556}$ | 0,829 | 0,828 |
| PVAe | Ø Superficial | $y = 24,927.T^{0,2105}$ | $y = 21,518.V^{0,2111}$ | 0,506 | 0,509 |
|      | Ø máximo      | $y = 22,343.T^{0,3008}$ | $y = 18,123.V^{0,3013}$ | 0,784 | 0,786 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 8,6506.T^{0,1650}$ | $y = 7,7123.V^{0,1653}$ | 0,713 | 0,715 |
|      | Z máximo      | $y = 24,815.T^{0,1949}$ | $y = 21,675.V^{0,1951}$ | 0,843 | 0,845 |
| VGn  | Ø Superficial | $y = 26,549.T^{0,2131}$ | $y = 22,906.V^{0,2132}$ | 0,783 | 0,783 |
|      | Ø máximo      | $y = 31,936.T^{0,2887}$ | $y = 26,155.V^{0,2887}$ | 0,920 | 0,920 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 10,612.T^{0,2760}$ | $y = 8,7634.V^{0,2762}$ | 0,786 | 0,788 |
|      | Z máximo      | $y = 24,924.T^{0,2913}$ | $y = 20,379.V^{0,2912}$ | 0,781 | 0,780 |

Tabela 12. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 3,0 l/h em todos os solos.

| Solo    | Variável dependente (y) cm | Modelo potencial estimado em função do tempo (t) h | Modelo potencial estimado em função do volume (v) l | R2    |       |
|---------|----------------------------|--|---|-------|-------|
|         |                            |  |   |       |       |
| PVA     | Ø Superficial              | $y = 32,183.T^{0,2942}$                            | $y = 23,284.V^{0,2945}$                             | 0,890 | 0,890 |
|         | Ø máximo                   | $y = 36,013.T^{0,282}$                             | $y = 26,43.V^{0,2819}$                              | 0,783 | 0,781 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 10,812.T^{0,171}$                             | $y = 8,963.V^{0,1709}$                              | 0,893 | 0,891 |
|         | Z máximo                   | $y = 26,587.T^{0,2711}$                            | $y = 19,733.V^{0,2713}$                             | 0,847 | 0,848 |
| CYn     | Ø Superficial              | $y = 32,004.T^{0,3158}$                            | $y = 22,619.V^{0,3159}$                             | 0,961 | 0,961 |
|         | Ø máximo                   | $y = 31,707.T^{0,3405}$                            | $y = 21,838.V^{0,3401}$                             | 0,735 | 0,732 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 8,929.T^{0,2347}$                             | $y = 6,9019.V^{0,2346}$                             | 0,677 | 0,675 |
|         | Z máximo                   | $y = 18,433.T^{0,2269}$                            | $y = 14,367.V^{0,2269}$                             | 0,513 | 0,512 |
| PVA/Aed | Ø Superficial              | $y = 34,523.T^{0,2312}$                            | $y = 26,763.V^{0,2315}$                             | 0,891 | 0,892 |
|         | Ø máximo                   | $y = 24,728.T^{0,4110}$                            | $y = 15,729.V^{0,4115}$                             | 0,924 | 0,925 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 9,6034.T^{0,2799}$                            | $y = 7,0591.V^{0,2801}$                             | 0,976 | 0,976 |
|         | Z máximo                   | $y = 18,770.T^{0,3301}$                            | $y = 13,058.V^{0,3302}$                             | 0,965 | 0,964 |

Tabela 12. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 3,0 l/h em todos os solos. (Continuação).

|      |               |                         |                         |       |       |
|------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| PAed | Ø Superficial | $y = 27,020.T^{0,4437}$ | $y = 16,583.V^{0,4441}$ | 0,966 | 0,967 |
|      | Ø máximo      | $y = 30,636.T^{0,3725}$ | $y = 20,319.V^{0,3731}$ | 0,899 | 0,901 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 9,8432.T^{0,2377}$ | $y = 7,5736.V^{0,2381}$ | 0,887 | 0,887 |
|      | Z máximo      | $y = 22,641.T^{0,2033}$ | $y = 18,096.V^{0,2036}$ | 0,563 | 0,564 |
| PVAe | Ø Superficial | $y = 32,175.T^{0,1164}$ | $y = 28,335.V^{0,1161}$ | 0,669 | 0,665 |
|      | Ø máximo      | $y = 22,807.T^{0,2978}$ | $y = 16,462.V^{0,2974}$ | 0,831 | 0,828 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 9,6162.T^{0,1281}$ | $y = 8,3459.V^{0,1285}$ | 0,652 | 0,655 |
|      | Z máximo      | $y = 27,816.T^{0,1505}$ | $y = 23,573.V^{0,1506}$ | 0,887 | 0,887 |
| VGn  | Ø Superficial | $y = 27,875.T^{0,2331}$ | $y = 21,560.V^{0,2335}$ | 0,851 | 0,852 |
|      | Ø máximo      | $y = 35,033.T^{0,2725}$ | $y = 25,955.V^{0,2728}$ | 0,928 | 0,929 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 11,032.T^{0,2523}$ | $y = 8,3551.V^{0,2526}$ | 0,771 | 0,772 |
|      | Z máximo      | $y = 26,273.T^{0,2995}$ | $y = 18,903.V^{0,2996}$ | 0,959 | 0,959 |

Tabela 13. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 4,0 l/h em todos os solos.

| Solo    | Variável dependente (y) cm | Modelo potencial estimado em função do tempo (t) h | Modelo potencial estimado em função do volume (v) l | R2    |       |
|---------|----------------------------|--|---|-------|-------|
|         |                            |  |   |       |       |
| PVA     | Ø Superficial              | $y = 38,966.T^{0,2299}$                            | $y = 28,318.V^{0,2301}$                             | 0,910 | 0,909 |
|         | Ø máximo                   | $y = 36,913.T^{0,3001}$                            | $y = 24,339.V^{0,3003}$                             | 0,862 | 0,860 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 10,807.T^{0,2103}$                            | $y = 8,0671.V^{0,2106}$                             | 0,875 | 0,875 |
|         | Z máximo                   | $y = 25,437.T^{0,3215}$                            | $y = 16,265.V^{0,3221}$                             | 0,879 | 0,880 |
| CYn     | Ø Superficial              | $y = 32,205.T^{0,3593}$                            | $y = 19,547.V^{0,3598}$                             | 0,854 | 0,854 |
|         | Ø máximo                   | $y = 32,134.T^{0,4051}$                            | $y = 18,348.V^{0,4047}$                             | 0,626 | 0,624 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 9,2005.T^{0,256}$                             | $y = 6,46.V^{0,2556}$                               | 0,726 | 0,723 |
|         | Z máximo                   | $y = 17,241.T^{0,3062}$                            | $y = 11,289.V^{0,3059}$                             | 0,791 | 0,787 |
| PVA/Aed | Ø Superficial              | $y = 32,523.T^{0,2588}$                            | $y = 22,674.V^{0,2595}$                             | 0,904 | 0,907 |
|         | Ø máximo                   | $y = 24,093.T^{0,4203}$                            | $y = 13,432.V^{0,4209}$                             | 0,965 | 0,966 |
|         | Z (Ø) máximo               | $y = 8,8845.T^{0,3380}$                            | $y = 5,5563.V^{0,3383}$                             | 0,927 | 0,926 |
|         | Z máximo                   | $y = 16,441.T^{0,4124}$                            | $y = 9,2726.V^{0,4128}$                             | 0,922 | 0,921 |

Tabela 13. Modelos potenciais em função do tempo (t) e do volume (v) para estimar ( $D_{sup}$ ), ( $D_{máx}$ ), ( $Z_{dmáx}$ ) e ( $Z_{máx}$ ) na vazão 4,0 l/h em todos os solos. (Continuação).

|      |               |                         |                         |       |       |
|------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| PAed | Ø Superficial | $y = 44,891.T^{0,2904}$ | $y = 29,966.V^{0,2910}$ | 0,890 | 0,892 |
|      | Ø máximo      | $y = 52,289.T^{0,2748}$ | $y = 35,651.V^{0,2755}$ | 0,746 | 0,748 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 16,429.T^{0,1100}$ | $y = 19,125.V^{0,1100}$ | 0,454 | 0,452 |
|      | Z máximo      | $y = 26,921.T^{0,1225}$ | $y = 22,656.V^{0,1234}$ | 0,343 | 0,348 |
| PVAe | Ø Superficial | $y = 30,742.T^{0,2762}$ | $y = 20,996.V^{0,2757}$ | 0,655 | 0,651 |
|      | Ø máximo      | $y = 27,603.T^{0,2641}$ | $y = 19,133.V^{0,2643}$ | 0,616 | 0,615 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 10,131.T^{0,1326}$ | $y = 8,4287.V^{0,1327}$ | 0,548 | 0,547 |
|      | Z máximo      | $y = 26,532.T^{0,1692}$ | $y = 20,963.V^{0,1696}$ | 0,673 | 0,675 |
| VGn  | Ø Superficial | $y = 35,169.T^{0,1812}$ | $y = 27,334.V^{0,1815}$ | 0,731 | 0,731 |
|      | Ø máximo      | $y = 34,926.T^{0,3102}$ | $y = 22,709.V^{0,3104}$ | 0,874 | 0,873 |
|      | Z (Ø) máximo  | $y = 10,131.T^{0,3000}$ | $y = 6,6734.V^{0,3006}$ | 0,810 | 0,811 |
|      | Z máximo      | $y = 24,912.T^{0,3221}$ | $y = 15,913.V^{0,3227}$ | 0,912 | 0,913 |

O modelo potencial para avaliar as dimensões do bulbo molhado em função da vazão do emissor e do tempo de aplicação de água foi discutido em outros trabalhos, principalmente na construção de modelos gerados a partir de estimativas, apresentando bons resultados, tais como Xiyun et al., (1999), Añez (1979), Li et al., (2004) e Thorburn et al., (2003).

#### 4.4. Espaçamento entre emissores

Para cada solo analisado, sendo o modelo do tipo potencial,  $y=a.x^b$ , foram geradas as equações que determinam o espaçamento máximo entre emissores e seus respectivos coeficientes de determinação, em que,  $y$  é a variável dependente;  $x$  é a variável independente; e  $a$  e  $b$  são parâmetros do modelo. As Figuras 25 a 30 representam graficamente os espaçamentos máximos entre emissores em função da vazão, tempo e cada tipo de solo. Espaçamento entre 60 e 80 cm é observado em PAed a partir de 4 h de aplicação e vazão de 4l/h, como pode ser visto na Figura 25. O solo do tipo argisolo vermelho amarelo e latossolo (PVA / Aed) apresentou maior coeficiente de determinação de 0,9673 para a vazão de 4 l/h, Tabela 14, e os demais apresentaram bons índices de ajuste nas demais vazões e classes de solos.

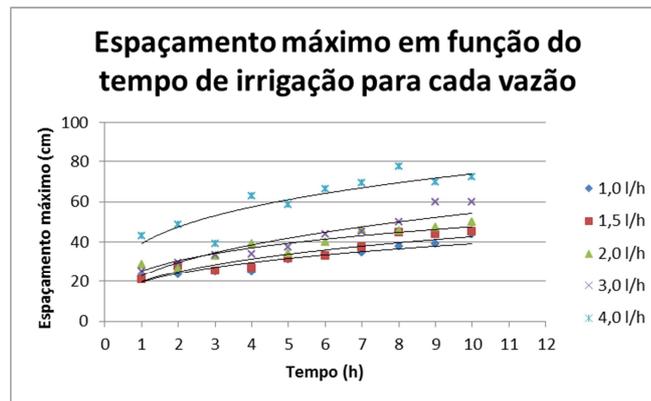


Figura 25. Espaçamento entre emissores para PAed.

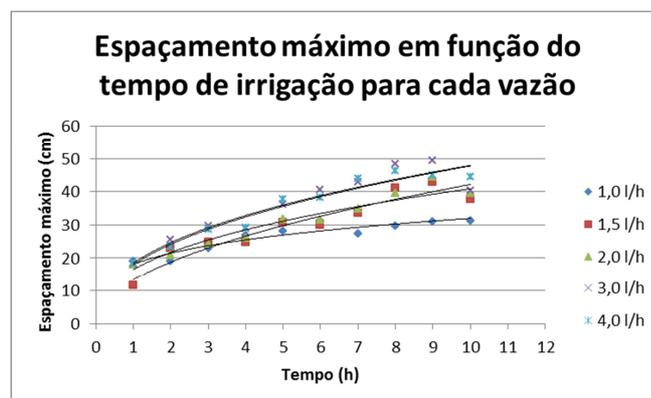


Figura 26. Espaçamento entre emissores para PVA / Aed.

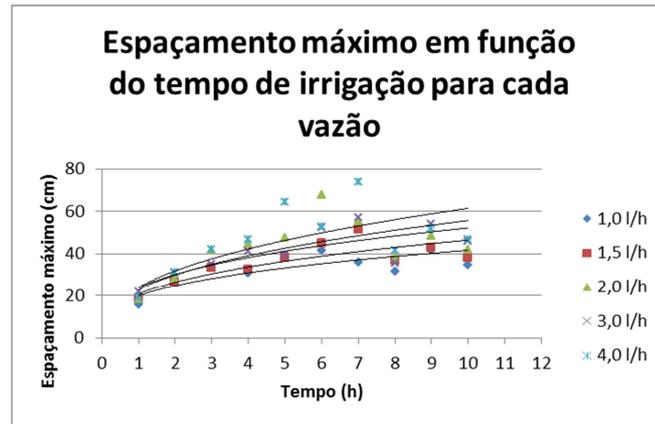


Figura 27. Espaçamento entre emissores para CYN.

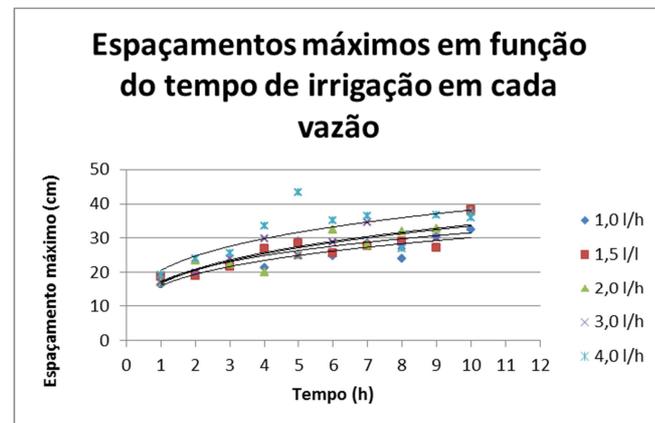


Figura 28. Espaçamento entre emissores para PVAe.

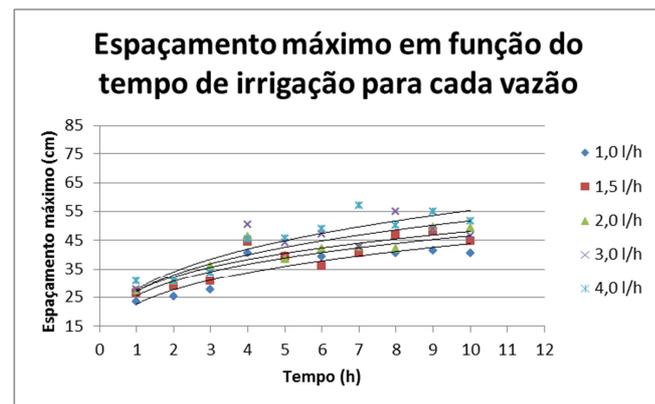


Figura 29. Espaçamento entre emissores para PVA.

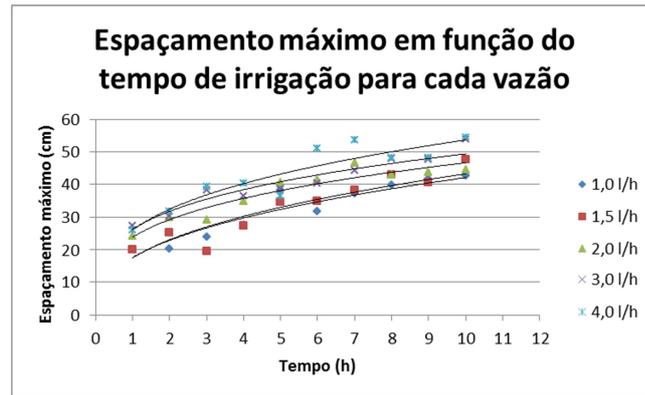


Figura 30. Espaçamento entre emissores para VGn.

Tabela 14. Equação potencial que estima o espaçamento entre emissores em função da vazão e do tempo para cada tipo de solo.

| TIPO DE SOLO | VAZÃO (l/h) | EQUAÇÃO                 | R <sup>2</sup> |
|--------------|-------------|-------------------------|----------------|
| PAed         | 1,0         | $y = 19,590.T^{0,3003}$ | 0,8551         |
|              | 1,5         | $y = 19,857.T^{0,3321}$ | 0,8663         |
|              | 2,0         | $y = 25,325.T^{0,2739}$ | 0,8493         |
|              | 3,0         | $y = 22,912.T^{0,3749}$ | 0,9013         |
|              | 4,0         | $y = 39,214.T^{0,2749}$ | 0,7493         |
| PVA / Aed    | 1,0         | $y = 18,117.T^{0,2466}$ | 0,8819         |
|              | 1,5         | $y = 13,280.T^{0,5017}$ | 0,9192         |
|              | 2,0         | $y = 16,540.T^{0,3929}$ | 0,9450         |
|              | 3,0         | $y = 18,530.T^{0,4125}$ | 0,9260         |
|              | 4,0         | $y = 18,022.T^{0,4230}$ | 0,9673         |
| CYn          | 1,0         | $y = 19,802.T^{0,3226}$ | 0,7057         |
|              | 1,5         | $y = 20,718.T^{0,3507}$ | 0,7868         |
|              | 2,0         | $y = 22,879.T^{0,3862}$ | 0,6117         |
|              | 3,0         | $y = 23,825.T^{0,3403}$ | 0,7303         |
|              | 4,0         | $y = 23,991.T^{0,4083}$ | 0,6295         |
| PVAe         | 1,0         | $y = 16,132.T^{0,2716}$ | 0,8322         |
|              | 1,5         | $y = 17,412.T^{0,2587}$ | 0,7824         |
|              | 2,0         | $y = 16,742.T^{0,3014}$ | 0,7870         |
|              | 3,0         | $y = 17,056.T^{0,2985}$ | 0,8309         |
|              | 4,0         | $y = 20,586.T^{0,2681}$ | 0,6197         |

Tabela 14. Equação potencial que estima o espaçamento entre emissores em função da vazão e do tempo para cada tipo de solo. (Continuação).

|     |     |                         |        |
|-----|-----|-------------------------|--------|
| PVA | 1,0 | $y = 22,634.T^{0,2871}$ | 0,8409 |
|     | 1,5 | $y = 25,557.T^{0,2605}$ | 0,8058 |
|     | 2,0 | $y = 27,111.T^{0,2489}$ | 0,8521 |
|     | 3,0 | $y = 27,032.T^{0,2822}$ | 0,7785 |
|     | 4,0 | $y = 27,591.T^{0,3022}$ | 0,8624 |
| VGn | 1,0 | $y = 17,649.T^{0,377}$  | 0,8935 |
|     | 1,5 | $y = 17,65.T^{0,3888}$  | 0,8212 |
|     | 2,0 | $y = 23,918.T^{0,2739}$ | 0,9247 |
|     | 3,0 | $y = 26,29.T^{0,2727}$  | 0,9267 |
|     | 4,0 | $y = 26,116.T^{0,3115}$ | 0,8788 |

Os solos representados por Vertisol (VGn) e Argisol Vermelho – Amarelo (PVA), apresentaram dimensões muito próximas em seus parâmetros, em que a análise de granulometria do Vertisol apresentou mais de 30% de argila, e do Argisol Vermelho – Amarelo apresentou mais de 50% de silte, sendo classificado de acordo com diagrama triangular das classes texturais do solo, respectivamente, como, franco – argiloso e franco – siltoso, tabela 15, portanto, os bulbos foram geometricamente mais achatados.

Nos demais solos, a análise granulométrica apresentou mais de 50% de areia, onde as demais frações do solo variaram nos teores de silte e argila, e ainda com teores alto de areia, o solo caracterizado como associação de Cambisol e Neossolo Flúvico (CYn), apesar de apresentar boa percolação profunda, obteve diâmetros achatados em seu perfil ao longo das 10 horas de aplicação.

Tabela 15. Textura, densidade e porosidade total do solo onde se realizou o teste de bulbo molhado sob irrigação por gotejamento.

| Solo      | Camada (cm) | Densidade solo (kg/dm <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | Granulometria (g/Kg) |       |        | Classe textural |
|-----------|-------------|--------------------------------------|----------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
|           |             |                                      |                | Areia                | Silte | Argila |                 |
| CYn       | 0-30        | 1,44                                 | 44,45          | 689,6                | 274,2 | 36,3   | Franco-arenoso  |
| PAed      | 0-30        | 1,22                                 | 51,48          | 593                  | 315,3 | 91,7   | Franco-arenoso  |
| PVA / Aed | 0-30        | 1,41                                 | 44,25          | 591,7                | 293,7 | 114,6  | Franco-arenoso  |
| PVAe      | 0-30        | 1,43                                 | 43,5           | 582,6                | 328,4 | 89,0   | Franco-arenoso  |
| PVA       | 0-30        | 1,53                                 | 40,84          | 382,8                | 547,9 | 69,3   | Franco-siltoso  |
| VGn       | 0-30        | 1,39                                 | 45,91          | 373,4                | 305,0 | 321,6  | Franco-argiloso |

Maia,. (2010) comenta que a escolha da vazão do emissor pode ser feita baseada na percolação em função do diâmetro molhado, e que isso implica que, quanto menor o espaçamento entre emissores, menor deve ser a vazão para evitar a sobreposição exagerada entre os bulbos. Já Thorburn et al., (2003) comentam que para cana de açúcar na Austrália, com base apenas na textura do solo, a recomendação de espaçamento entre gotejadores na linha lateral é de 40 cm para solos arenosos e 60 cm para solos argilosos, mas em outra localidade da Austrália, com aplicação de lamina de 5 mm de água na irrigação da Cana de Açúcar, o diâmetro do bulbo foi de aproximadamente 24 cm para solos arenosos, 38 cm para solo franco arenoso e 47 cm para solo argiloso, contrariando a recomendação com base na textura do solo. (MAIA, 2010).

Os dados determinados em campo possibilitaram a elaboração da Tabela 16 e da Figura 31 com os espaçamentos comerciais dos emissores em função da vazão do emissor, do tempo de irrigação e do tipo de solo, dados fundamentais na confecção, manejo, recomendação e qualquer outro meio de trabalho que envolva sistema de irrigação por gotejamento. Comparando a Tabela 16 com o trabalho de Maia e Levien., (2010), observamos resultados próximos para o espaçamento entre emissores. Os trabalhos dos autores analisaram o desenvolvimento dos bulbos pelo método de superfície de resposta e ao mesmo tempo observaram que de forma individual, em função de  $q$  e  $t$ , é possível estimar as dimensões do bulbo molhado pelo modelo potencial. Sendo assim os resultados encontrados para o Cambisol, argisol e latosolo são semelhantes aos observados nos solos estudados no Submédio do Vale do São Francisco. Como no trabalho de Maia e Levien., (2010) os autores estimaram o ( $D_{m\acute{a}x}$ ) pelo modelo de superfície de resposta, e considerando que o espaçamento seja definido em 1,5 (uma vez e meia) o raio molhado do bulbo, o valor para o espaçamento entre emissores para o solo tipo cambissolo é de 38 cm, em que é um valor próximo de 40 cm encontrado na Tabela 16 em C, com vazão de 2 l/h e tempo de 4h, justamente a mesma vazão e o mesmo tempo de aplicação utilizados pelos autores supracitados. No argisol, considerando a vazão de 1l/h e tempo de 1h, o espaçamento encontrado por eles foi de 18,5 cm, bem semelhante ao encontrado na Tabela 16 em A, apresentando espaçamento de 20 cm. Por fim no latosolo o valor encontrado pelos autores supracitados foi de 22 cm na vazão de 1l/h com 2 h de irrigação, sendo muito próximo de 20 cm encontrado na tabela 16 em B.

O trabalho de Schwartzman e Zur., (1986) demonstraram resultados que traduzem a relação entre volume e dimensão do bulbo molhado. Para solos leves não adianta aumentar o volume de água para se obter maior diâmetro, será uma prática de desperdício. Um aumento na quantidade total de água no solo mais contribui para um aumento da profundidade molhada do que a um aumento no diâmetro e conseqüentemente, não ira aumentar os espaçamento entre emissores, fato observado na associação de cambisol e neosolo Flúvico (CYn), Figura 31 em C, em que utilizando vazões entre 1 e 4 l/ h no tempo de irrigação entre 2 e 3 h, praticamente não ocorreu aumento do diâmetro e sendo assim o espaçamento entre emissores não se alterou, permanecendo entre 20 cm.

Tabela 16. Espaçamento entre gotejadores em função da vazão e do tempo de irrigação para os solos, PAed em (A), PVA / Aed em (B), CYn em (C), PVA em (D) e VGn em (E).

| ARGISSOLO AMARELO + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO |  |         |         |         |         |
|--|--|---------|---------|---------|---------|
| A  | ESPAÇAMENTO ENTRE GOTEJADOR Á 1,5 m Raio |         |         |         |         |
|  | (CM)                                     |         |         |         |         |
|  | VAZÃO                                    |         |         |         |         |
| TEMPO (H)                                      | 1.0 LPH                                  | 1.5 LPH | 2.0 LPH | 3.0 LPH | 4.0 LPH |
| 1  | 20                                       | 20      | 30      | 30      | 40      |
| 2  | 25                                       | 30      | 30      | 30      | 50      |
| 3  | 25                                       | 25      | 30      | 30      | 50      |
| 4  | 25                                       | 30      | 40      | 30      | 60      |
| 5  | 30                                       | 30      | 40      | 40      | 60      |
| 6  | 30                                       | 30      | 40      | 40      | 60      |
| 7  | 30                                       | 40      | 50      | 50      | 75      |
| 8  | 40                                       | 40      | 50      | 50      | 75      |
| 9  | 40                                       | 40      | 50      | 60      | 75      |
| 10   | 40                                       | 40      | 50      | 60      | 75      |

| ARGISSOLO VERMELHO AMARELO + LATOSSOLO |  |         |         |         |         |
|--|--|---------|---------|---------|---------|
| B                                      | ESPAÇAMENTO ENTRE GOTEJADOR Á 1,5 m Raio |         |         |         |         |
|  | (CM)                                     |         |         |         |         |
|  | VAZÃO                                    |         |         |         |         |
| TEMPO (H)                              | 1.0 LPH                                  | 1.5 LPH | 2.0 LPH | 3.0 LPH | 4.0 LPH |
| 1                                      | 20                                       | 20      | 20      | 20      | 20      |
| 2                                      | 20                                       | 20      | 20      | 30      | 20      |
| 3                                      | 20                                       | 25      | 20      | 30      | 30      |
| 4                                      | 30                                       | 25      | 30      | 30      | 30      |
| 5                                      | 30                                       | 30      | 30      | 40      | 40      |
| 6                                      | 30                                       | 30      | 30      | 40      | 40      |
| 7                                      | 30                                       | 30      | 30      | 40      | 40      |
| 8                                      | 30                                       | 40      | 40      | 50      | 50      |
| 9                                      | 30                                       | 40      | 40      | 50      | 50      |
| 10                                     | 30                                       | 40      | 40      | 50      | 50      |

| CAMBISSOLO + NEOSSOLO |  |         |         |         |         |
|-----------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| C                     | ESPAÇAMENTO ENTRE GOTEJADOR Á 1,5 m Raio |         |         |         |         |
|                       | (CM)                                     |         |         |         |         |
|                       | VAZÃO                                    |         |         |         |         |
| TEMPO (H)             | 1.0 LPH                                  | 1.5 LPH | 2.0 LPH | 3.0 LPH | 4.0 LPH |
| 1                     | 20                                       | 20      | 20      | 20      | 20      |
| 2                     | 30                                       | 30      | 30      | 30      | 30      |
| 3                     | 30                                       | 30      | 40      | 30      | 40      |
| 4                     | 30                                       | 30      | 40      | 40      | 50      |
| 5                     | 40                                       | 40      | 50      | 40      | 60      |
| 6                     | 40                                       | 50      | 60      | 50      | 60      |
| 7                     | 40                                       | 50      | 60      | 60      | 75      |
| 8                     | 40                                       | 50      | 60      | 60      | 75      |
| 9                     | 40                                       | 50      | 60      | 60      | 75      |
| 10                    | 40                                       | 50      | 60      | 60      | 75      |

| ARGISSOLO VERMELHO AMARELO |  |         |         |         |         |
|----------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| D                          | ESPAÇAMENTO ENTRE GOTEJADOR Á 1,5 m Raio |         |         |         |         |
|                            | VAZÃO                                    |         |         |         |         |
|                            | (CM)                                     |         |         |         |         |
| TEMPO (H)                  | 1.0 LPH                                  | 1.5 LPH | 2.0 LPH | 3.0 LPH | 4.0 LPH |
| 1                          | 20                                       | 30      | 30      | 30      | 30      |
| 2                          | 25                                       | 30      | 30      | 30      | 30      |
| 3                          | 30                                       | 30      | 40      | 30      | 30      |
| 4                          | 40                                       | 40      | 40      | 50      | 40      |
| 5                          | 40                                       | 40      | 40      | 50      | 50      |
| 6                          | 40                                       | 40      | 40      | 50      | 50      |
| 7                          | 40                                       | 40      | 40      | 50      | 60      |
| 8                          | 40                                       | 50      | 40      | 50      | 60      |
| 9                          | 40                                       | 50      | 50      | 50      | 60      |
| 10                         | 40                                       | 50      | 50      | 50      | 60      |

| VERTISSOLO |  |         |         |         |         |
|------------|--|---------|---------|---------|---------|
| E          | ESPAÇAMENTO ENTRE GOTEJADOR Á 1,5 m Raio |         |         |         |         |
|            | VAZÃO                                    |         |         |         |         |
|            | (CM)                                     |         |         |         |         |
| TEMPO (H)  | 1.0 LPH                                  | 1.5 LPH | 2.0 LPH | 3.0 LPH | 4.0 LPH |
| 1          | 20                                       | 20      | 25      | 30      | 30      |
| 2          | 20                                       | 25      | 30      | 30      | 30      |
| 3          | 25                                       | 25      | 30      | 40      | 40      |
| 4          | 30                                       | 30      | 30      | 40      | 40      |
| 5          | 40                                       | 30      | 40      | 40      | 40      |
| 6          | 40                                       | 40      | 40      | 40      | 50      |
| 7          | 40                                       | 40      | 50      | 40      | 50      |
| 8          | 40                                       | 40      | 50      | 50      | 50      |
| 9          | 40                                       | 40      | 50      | 50      | 50      |
| 10         | 40                                       | 50      | 50      | 50      | 50      |

Paralelo a todas as considerações em relação aos espaçamentos máximos entre gotejadores, sejam eles, na linha lateral por fileira de cultura, espaçamento entre linhas e até mesmo por árvores, que configurem a situação desejável de sobreposição de bulbos e formação de umidade ideal para as plantas, é interessante em todo e qualquer caso, analisar o custo de emissores, com possibilidade de economia de água, realização de irrigação por déficit hídrico e preservação de solos, garantindo assim uma relação de adequado dimensionamento, custo benefício e melhor aproveitamento do recurso natural (água), cada vez mais escasso.

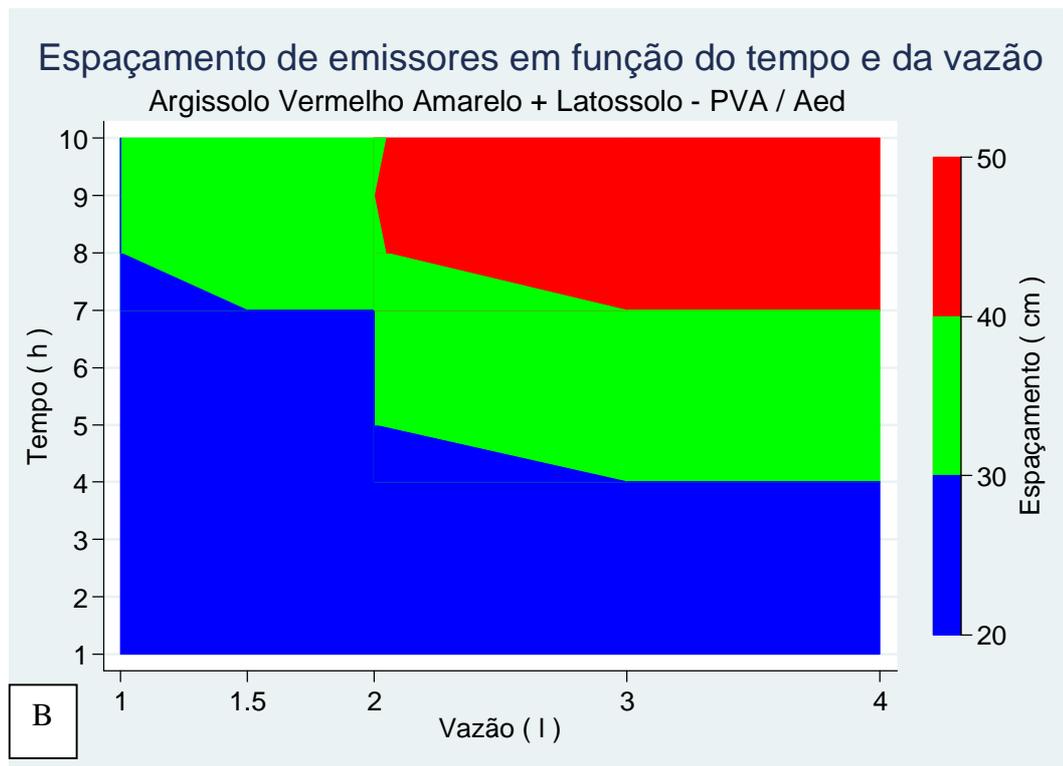
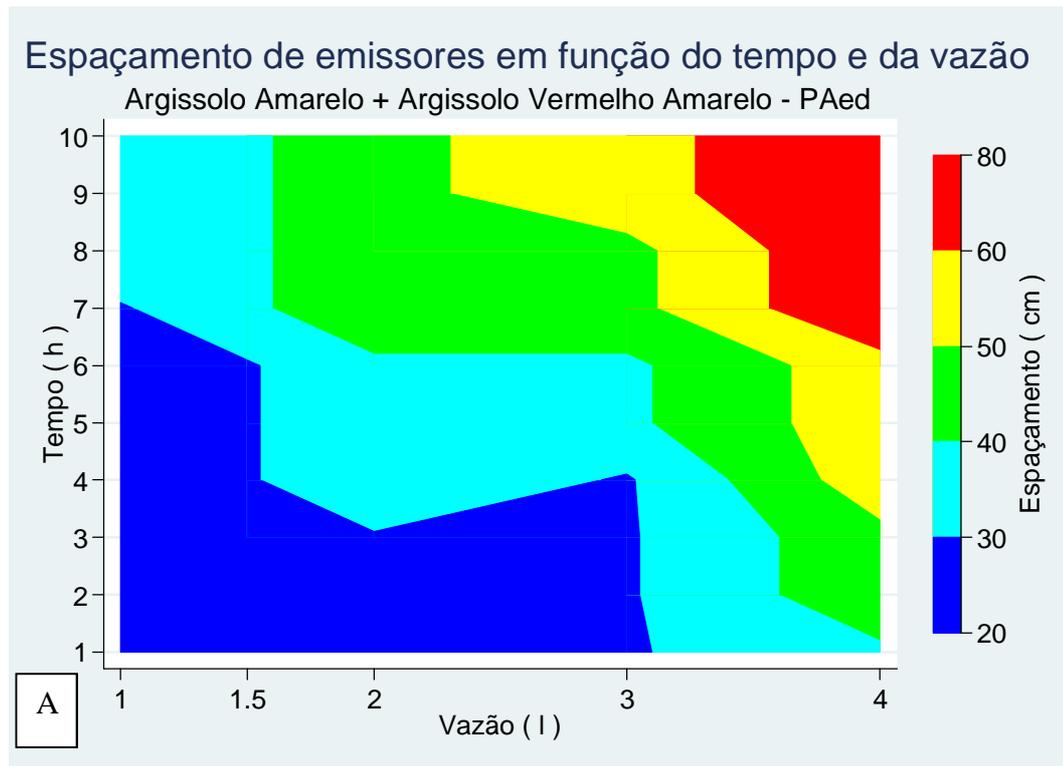


FIGURA 31. Espaçamento entre gotejadores em função da vazão e do tempo de irrigação para o solo PAed em (A). PVA / Aed em (B), CYn em (C), PVA em (D) e VGn em (E).

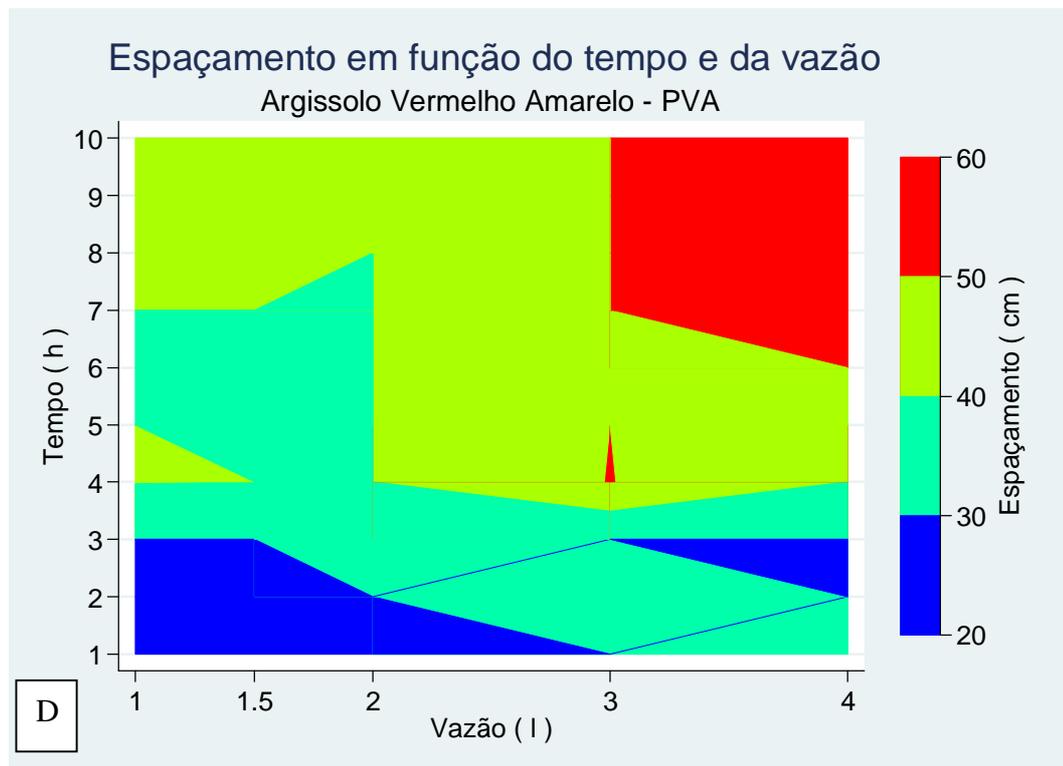
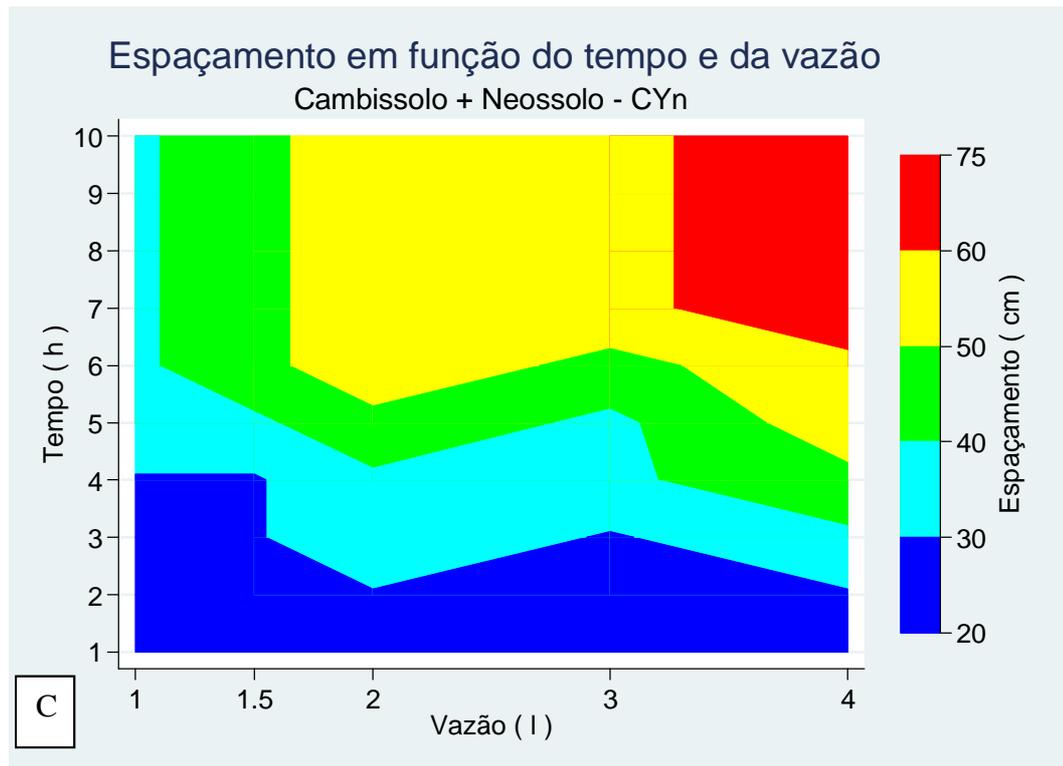


FIGURA 31. Espaçamento entre gotejadores em função da vazão e do tempo de irrigação para o solo PAed em (A). PVA / Aed em (B), CYN em (C), PVA em (D) e VGn em (E) continuação.

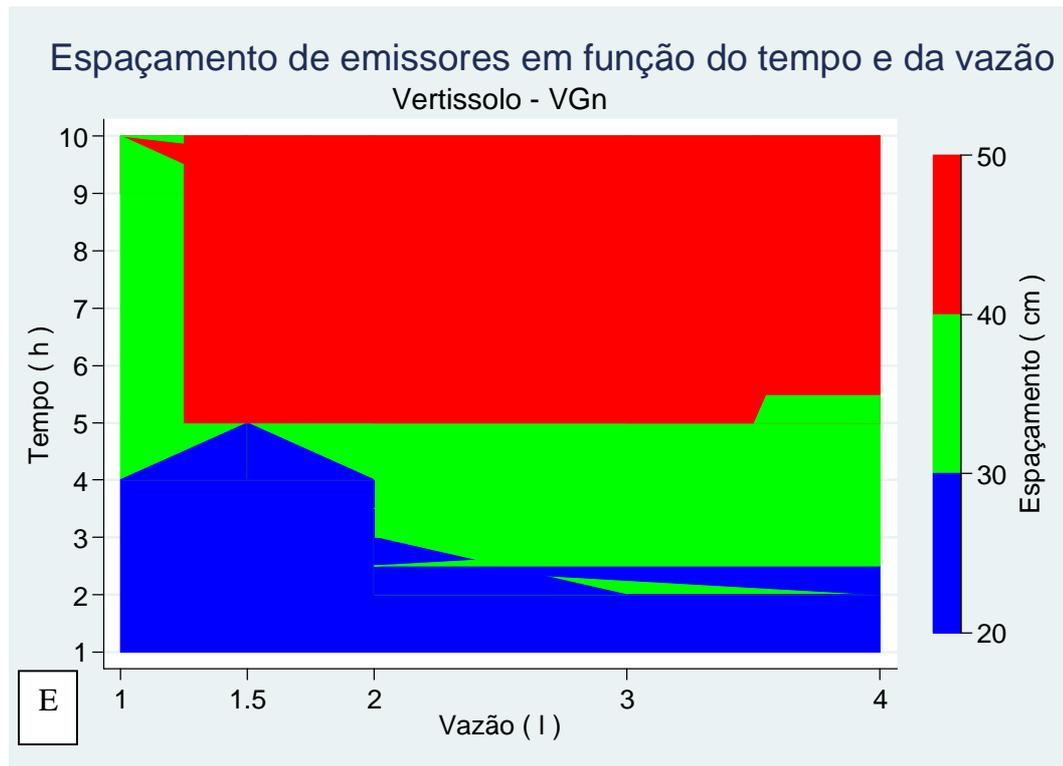


FIGURA 31. Espaçamento entre gotejadores em função da vazão e do tempo de irrigação para o solo PAed em (A). PVA / Aed em (B), CYn em (C), PVA em (D) e VGn em (E) continuação.

## 5. CONCLUSÃO

- O modelo potencial apresentou bons ajustes e descreve adequadamente o modelo para as dimensões do bulbo molhado;
- O modelo do tipo potencial apresentou aumento do coeficiente "a" de acordo com aumento da vazão do emissor para o mesmo tempo de aplicação e com isso as dimensões do bulbo molhado aumentam com o incremento da vazão do emissor;
- A variável profundidade do diâmetro máximo ( $Z_{Dmáx}$ ) não se mostrou significativa nos resultados obtidos;
- As primeiras horas de irrigação com emissores de vazão de 1,0 l/h e 1,5 l/h obtiveram pouca diferença em suas dimensões;
- Os resultados da determinação das dimensões do bulbo molhado em campo resultaram na elaboração de uma tabela de espaçamento entre emissores em função de vazão, tempo de aplicação e tipo de solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÑEZ, D. **Metodología para la avaliación integral del Riego por gotejo**. Maracibo: Univesidade del Zulia. 1979. 333p

ANGELAKIS, A. N., ROLSTON, D.E., KADIR, T.N., SCOTT, V.H. Soil-water distribution under trickle source. **Journal of the Irrigation and drainage**, v.119, p.484-500, 1993.

AZEVEDO, L. P.; SAAD, J. C. C. Uso de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral e seus efeitos sobre a formação do bulbo molhado no solo e parâmetros físicos de rabanete. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 148 - 167, abril-junho, 2012.

BEN-ASHER, J; PHENE, C.J. The effect of surface drip irrigation on soil water regime evaporation and transpiration. In: **International conference on irrigation**, v.6, 1993, Tel-aviv, Israel, p.35-42. 1993

BEN-ASHER, J; CHARACH, C; ZEMEL, A. Infiltration and water extraction from trickle irrigation source: The effective hemisphere model. **Soil science society America Journal**, Madison, v.50, n.4.p 882 – 887, 1986

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

BRESLER, E. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. **Irrigation. Science**, Heidelberg, v.1, n.1, p. 3 -17,1978.

COELHO, E.F; OR,D. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. **Plant and soil**, v.206, p.123-136, 1999.

CUNHA, T. J. F; PETRERE, V. G; SILVA, D. J; MENDES, A. M. S; MELO, R. F; OLIVEIRA NETO, M. B; SILVA, M. S. L; ALVAREZ, I. A. **Principais solos do**

**semiárido tropical brasileiro.** In: SÁ, I. B; SILVA, P. C. G. (ed) Semiárido Brasileiro. Pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa semiárido, 2010.p.49-87

DASBERG, S; BRESLER, E. Drip irrigation manual. Bet Dagan: **Internacional irrigation information Center**,1985. 95p

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2 ed. rev. atual 1. Rio de Janeiro, 1997. p. 212.

FOLCH, J.R; FÁBREGA, J.A.G. El volumen húmedo del suelo em Riego localizado: Importancia y evalucción. In: CARPENA, R.M; RITTER, A; TASCÓN, C. (eds): Estudios de la zona no saturada del suelo. **ICIA**, p.11-17, 1999.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L. de; REZENDE, R.; FARIA, M. A. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. 1. ed. **Maringá: Eduem - Editora da Universidade Estadual de Maringá**, 2012. v. 1. 356 p.

HUNG, J. Y. T. Determination of emitter spacing and irrigation run time including plant root depth. In: **International Microirrigation Congress**, 5., 1995, Orlando. Proceedings. St Joseph: ASAE, 1995. P 292-298.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York: **AVI Book**, 1990. 640p.

KELLER, J; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the **ASAE**. P.678 – 684, 1974.

LI, J., ZHANG, J., RAO, M. Wetting patterns and Nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. **Agriculture Water Management**, v. 67, n. 02, p.89-104, 2004.

LOPEZ, R.J. Riego localizado II: Programas informáticos. 2ed. Madrid: **Ediciones Mundi-Prensa**, 1996.

LUBANA, P.P.S; NARDA, N.K. Soil water dynamics model for trickle irrigated tomatoes. **Agricultural water management**, v.37, p.145-161, 1998.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; NETO, J. D. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p.149-158, jan-mar, Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza, CE, 2010.

MOSTAGHIMI, S., MITCHEL, J.K., LEMBKE, W.D. Effect of discharge rate on distribution of moisture in heavy soils irrigated from a trickle source. **American Society of Agricultural Engineers, paper 81**, 1981.

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

OLIVEIRA, A.M.P. **Modelagem matemática para dimensionamento do bulbo molhado na Cultura do Melão**. UFERSA, Mossoró, 2010.

PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. **2. Ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa**, 1990. 471p.

RAMOS, M. M., SALLES, E. S., COUTO, L., BERNARDO, S. Efeito da vazão e do volume de água aplicados por um emissor pontual em latossolo vermelho-escuro álico, nas dimensões do bulbo molhado. **Irrigação e Drenagem**, UFV. 1992. 16p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. Cap.3, p. 27-65, 1990.

RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa-MG: Neput, 1995. 304p.

REVOL, P., VAUCLIN, M., VACHAUD, G., CLOTHIER, B.E. Infiltration from a surface point and drip irrigation. 1. The midpoint soil water pressure. **Water Resources Research**, v.33, p.1861-1867, 1997a.

REZENDE, L.R; CAMAPUM DE CARVALHO, J; CARDOSO, F.B.F; CAMPELLO, C.S. **Estudos laboratoriais de dois solos finos estabilizados com cal**, In: I Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro oeste, Brasília, p.207-217, 2002.

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

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

SCHWARTZMAN, M., ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, n. 3, p.242-253, 1986.

SOBEL, T. F. **Desenvolvimento territorial nos perímetros irrigados do submédio do Vale do São Francisco: o caso dos perímetros Nilo Coelho e Bebedouro (PE)**. Uberlândia, 2006.

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

TOLENTINO JUNIOR, J. B. **Modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento**. Piracicaba, 2011.

VERMEIREN, L; JOBLING, G. A. **Localized Irrigation. Design, Installation, Operation, Evaluation. Irrigation and Drainage**, Roma, n.36, p.203, 1980.

XIYUN, J., WENYAN, W., ZHIRONG, W., JIANGHUI, Z., XINLI, D. Experimental research on surface Flow Characteristics of film-hole irrigation. **Proceedings of 99 International Conference on Agricultural Engineering**. Beijing, China, p.485. 1999.

YOUNGS, E.G; LEEDS-HARRINSON, P.B; ALGHUSNI, A. Surface ponding of coarse-textured soil under irrigation with a line of surface emitters. **Journal agriculture engineers resource**, v.73, p.95-100, 1999.

**ANEXO**

Tabela 17 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para PAed.

| Repetição 1   |               |          |              |          | Repetição 2   |               |          |              | Repetição 3 |               |               |          |              |          |
|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|-------------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1 l/h   | (cm)          |          |              |          | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo    | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |             | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 20            | 25       | 5            | 15       | 1             | 20            | 40       | 10           | 14          | 1             | 17,5          | 25       | 10           | 20       |
| 2             | 25            | 20       | 11           | 14       | 2             | 20            | 40       | 12           | 16          | 2             | 30            | 34       | 10           | 23       |
| 3             | 35            | 35       | 11           | 20       | 3             | 32            | 35       | 12           | 20          | 3             | 37,5          | 29       | 8            | 15       |
| 4             | 31            | 28       | 9            | 14       | 4             | 42            | 37       | 12           | 17          | 4             | 37,5          | 35       | 9            | 22       |
| 5             | 41            | 46       | 10           | 18       | 5             | 44            | 35       | 12           | 23          | 5             | 40            | 44       | 10           | 20       |
| 6             | 43            | 45       | 12           | 30       | 6             | 50            | 42       | 11           | 25          | 6             | 40            | 47       | 12           | 27       |
| 7             | 43            | 45       | 11           | 34       | 7             | 50            | 45       | 11           | 25          | 7             | 40            | 50       | 11           | 33       |
| 8             | 44            | 46       | 10           | 33       | 8             | 50            | 50       | 13           | 33          | 8             | 40            | 55       | 10           | 32       |
| 9             | 42            | 47       | 11           | 34       | 9             | 50            | 60       | 13           | 36          | 9             | 40            | 50       | 12           | 37       |
| 10            | 45            | 55       | 12           | 31       | 10            | 45            | 60       | 14           | 35          | 10            | 45            | 60       | 12           | 33       |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
| Vazão 1.5 l/h | (cm)          |          |              |          | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo    | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |             | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 22            | 22       | 8            | 16       | 1             | 27            | 38       | 12           | 20          | 1             | 17,5          | 25       | 10           | 20       |
| 2             | 28            | 35       | 12           | 20       | 2             | 30            | 42       | 13           | 20          | 2             | 30            | 34       | 10           | 23       |
| 3             | 33            | 38       | 12           | 13       | 3             | 40            | 35       | 10           | 17          | 3             | 37,5          | 29       | 8            | 15       |
| 4             | 38            | 34       | 9            | 21       | 4             | 36            | 40       | 11           | 24          | 4             | 37,5          | 35       | 9            | 22       |
| 5             | 42,5          | 44       | 12           | 22       | 5             | 45            | 40       | 10           | 27          | 5             | 40            | 44       | 10           | 20       |
| 6             | 47            | 40       | 10           | 38       | 6             | 46            | 45       | 11           | 30          | 6             | 40            | 47       | 12           | 27       |
| 7             | 48            | 50       | 10           | 38       | 7             | 45            | 50       | 10           | 35          | 7             | 40            | 50       | 11           | 33       |
| 8             | 48            | 49       | 12           | 35       | 8             | 50            | 75       | 13           | 30          | 8             | 40            | 55       | 10           | 32       |
| 9             | 47            | 55       | 13           | 35       | 9             | 50            | 70       | 14           | 33          | 9             | 40            | 50       | 12           | 37       |
| 10            | 45            | 51       | 15           | 40       | 10            | 45            | 70       | 12           | 33          | 10            | 45            | 60       | 12           | 33       |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
| Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo    | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |             | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 17            | 28       | 9            | 15       | 1             | 17,5          | 33       | 14           | 20          | 1             | 40            | 54       | 15           | 35       |
| 2             | 25            | 25       | 11           | 20       | 2             | 37            | 37       | 14           | 24          | 2             | 37,5          | 45       | 10           | 23       |
| 3             | 38            | 42       | 14           | 24       | 3             | 44            | 45       | 12           | 20          | 3             | 47            | 45       | 11           | 25       |
| 4             | 38            | 37       | 10           | 27       | 4             | 48            | 45       | 10           | 24          | 4             | 68            | 74       | 15           | 30       |
| 5             | 50            | 43       | 11           | 30       | 5             | 42,5          | 41       | 13           | 28          | 5             | 50            | 54       | 12           | 30       |
| 6             | 50            | 50       | 12           | 35       | 6             | 50            | 50       | 14           | 35          | 6             | 60            | 60       | 10           | 29       |
| 7             | 51            | 55       | 12           | 32       | 7             | 55            | 59       | 12           | 40          | 7             | 60            | 70       | 10           | 32       |
| 8             | 50            | 60       | 14           | 40       | 8             | 60            | 57       | 13           | 40          | 8             | 40            | 65       | 13           | 33       |
| 9             | 50            | 60       | 13           | 37       | 9             | 65            | 70       | 13           | 35          | 9             | 50            | 60       | 13           | 37       |
| 10            | 55            | 60       | 12           | 38       | 10            | 70            | 90       | 10           | 31          | 10            | 55            | 50       | 13           | 40       |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
| Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo    | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |             | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 25            | 33       | 10           | 24       | 1             | 33            | 45       | 15           | 25          | 1             | 30            | 24       | 10           | 25       |
| 2             | 35            | 43       | 20           | 35       | 2             | 35            | 34       | 12           | 22          | 2             | 31            | 42       | 13           | 30       |
| 3             | 44,5          | 45       | 12           | 20       | 3             | 37,5          | 44       | 12           | 19          | 3             | 44            | 45       | 12           | 22       |
| 4             | 42            | 44       | 10           | 25       | 4             | 50            | 47       | 13           | 30          | 4             | 45            | 45       | 14           | 30       |
| 5             | 65            | 47       | 10           | 34       | 5             | 40            | 42       | 11           | 30          | 5             | 70            | 60       | 15           | 37       |
| 6             | 65            | 50       | 10           | 32       | 6             | 55            | 56       | 12           | 31          | 6             | 70            | 70       | 14           | 35       |
| 7             | 65            | 60       | 12           | 33       | 7             | 65            | 60       | 12           | 30          | 7             | 70            | 60       | 13           | 35       |
| 8             | 65            | 60       | 13           | 43       | 8             | 65            | 65       | 14           | 37          | 8             | 70            | 75       | 14           | 37       |
| 9             | 70            | 80       | 13           | 37       | 9             | 70            | 80       | 14           | 35          | 9             | 75            | 80       | 13           | 37       |
| 10            | 80            | 80       | 11           | 36       | 10            | 75            | 85       | 12           | 38          | 10            | 70            | 75       | 12           | 35       |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
|               |               |          |              |          |               |               |          |              |             |               |               |          |              |          |
| Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo    | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |             | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 40            | 47       | 14           | 25       | 1             | 50            | 60       | 16           | 35          | 1             | 50            | 65       | 20           | 36       |
| 2             | 50            | 66       | 25           | 34       | 2             | 45            | 64       | 17           | 30          | 2             | 70            | 30       | 10           | 20       |
| 3             | 36,5          | 40       | 13           | 22       | 3             | 50            | 44       | 15           | 25          | 3             | 67,5          | 73       | 12           | 22       |
| 4             | 46            | 59       | 10           | 27       | 4             | 90            | 108      | 20           | 33          | 4             | 75            | 85       | 12           | 30       |
| 5             | 64            | 44       | 10           | 33       | 5             | 85            | 60       | 15           | 40          | 5             | 80            | 130      | 12           | 30       |
| 6             | 75            | 75       | 10           | 35       | 6             | 85            | 75       | 16           | 42          | 6             | 80            | 115      | 12           | 32       |
| 7             | 80            | 75       | 13           | 36       | 7             | 85            | 44       | 13           | 27          | 7             | 85            | 110      | 10           | 35       |
| 8             | 82            | 85       | 13           | 35       | 8             | 85            | 110      | 15           | 35          | 8             | 80            | 115      | 15           | 40       |
| 9             | 80            | 83       | 15           | 32       | 9             | 90            | 96       | 13           | 37          | 9             | 80            | 100      | 14           | 38       |
| 10            | 80            | 70       | 12           | 40       | 10            | 80            | 100      | 15           | 35          | 10            | 90            | 120      | 14           | 40       |

Tabela 18 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para PVA / Aed.

| R1            |               |          |              |          | R2            |               |          |              |          | R3            |               |          |              |          |
|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 23            | 24       | 6            | 11       | 1             | 26            | 19       | 8            | 14       | 1             | 27,5          | 19       | 9            | 15       |
| 2             | 27            | 23       | 9            | 18       | 2             | 21            | 19       | 10           | 22       | 2             | 28,5          | 15       | 10           | 18       |
| 3             | 32,5          | 31       | 12           | 25       | 3             | 22,5          | 22       | 10           | 21       | 3             | 36,5          | 26       | 12           | 22       |
| 4             | 40            | 25       | 11           | 27       | 4             | 33,5          | 27       | 14           | 30       | 4             | 34            | 31       | 14           | 30       |
| 5             | 40            | 37       | 11           | 28       | 5             | 36,5          | 36       | 15           | 34       | 5             | 36,5          | 37       | 13           | 31       |
| 6             | 45            | 36       | 14           | 30       | 6             | 40            | 37       | 16           | 36       | 6             | 40,5          | 38       | 14           | 32       |
| 7             | 38,5          | 39       | 16           | 34       | 7             | 35,5          | 37       | 15           | 36       | 7             | 36            | 40       | 16           | 35       |
| 8             | 46,5          | 49       | 14           | 30       | 8             | 30            | 47       | 16           | 34       | 8             | 42            | 44       | 16           | 34       |
| 9             | 46            | 49       | 16           | 33       | 9             | 33,5          | 49       | 15           | 36       | 9             | 45            | 50       | 16           | 37       |
| 10            | 44,5          | 52       | 17           | 35       | 10            | 36,5          | 47       | 16           | 35       | 10            | 44            | 50       | 20           | 40       |
| Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 32            | 14       | 8            | 18       | 1             | 30            | 10       | 5            | 6        | 1             | 27,5          | 22       | 10           | 18       |
| 2             | 30            | 32       | 9            | 21       | 2             | 37,5          | 28       | 10           | 19       | 2             | 28,5          | 32       | 14           | 24       |
| 3             | 35            | 30       | 12           | 28       | 3             | 38,5          | 31       | 15           | 27       | 3             | 45            | 38       | 10           | 20       |
| 4             | 27,5          | 30       | 14           | 29       | 4             | 38,5          | 32       | 16           | 32       | 4             | 42,5          | 37       | 14           | 33       |
| 5             | 35            | 40       | 15           | 33       | 5             | 39,5          | 39       | 13           | 32       | 5             | 43            | 44       | 14           | 35       |
| 6             | 35            | 40       | 14           | 31       | 6             | 43,5          | 42       | 15           | 36       | 6             | 43            | 38       | 16           | 34       |
| 7             | 41,5          | 48       | 14           | 31       | 7             | 44,5          | 43       | 15           | 34       | 7             | 46            | 43       | 17           | 36       |
| 8             | 45            | 51       | 15           | 36       | 8             | 50,5          | 58       | 15           | 33       | 8             | 50            | 55       | 16           | 35       |
| 9             | 42,5          | 55       | 18           | 38       | 9             | 45            | 47       | 16           | 38       | 9             | 50            | 70       | 18           | 37       |
| 10            | 41,5          | 50       | 16           | 37       | 10            | 42            | 50       | 19           | 40       | 10            | 60,5          | 51       | 18           | 41       |
| Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 30            | 30       | 9            | 17       | 1             | 32,5          | 22       | 10           | 20       | 1             | 20            | 20       | 8            | 22       |
| 2             | 26            | 29       | 13           | 27       | 2             | 26            | 25       | 11           | 22       | 2             | 37            | 30       | 14           | 31       |
| 3             | 33            | 34       | 14           | 27       | 3             | 32            | 33       | 13           | 30       | 3             | 36            | 30       | 16           | 33       |
| 4             | 33,5          | 33       | 15           | 29       | 4             | 37,5          | 30       | 15           | 31       | 4             | 36            | 41       | 17           | 34       |
| 5             | 35            | 36       | 15           | 33       | 5             | 38,5          | 50       | 16           | 35       | 5             | 37,5          | 41       | 15           | 33       |
| 6             | 38            | 43       | 16           | 34       | 6             | 40            | 42       | 15           | 32       | 6             | 44,5          | 41       | 20           | 40       |
| 7             | 46            | 46       | 15           | 33       | 7             | 44,5          | 50       | 18           | 37       | 7             | 33,5          | 44       | 16           | 33       |
| 8             | 51,5          | 52       | 15           | 34       | 8             | 34,5          | 51       | 17           | 38       | 8             | 46,5          | 55       | 18           | 36       |
| 9             | 52            | 60       | 17           | 36       | 9             | 36,5          | 54       | 18           | 40       | 9             | 45            | 64       | 18           | 42       |
| 10            | 42            | 55       | 16           | 38       | 10            | 41,5          | 45       | 18           | 38       | 10            | 69,5          | 58       | 20           | 44       |
| Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 40            | 28       | 11           | 24       | 1             | 32            | 25       | 10           | 18       | 1             | 35            | 20       | 8            | 15       |
| 2             | 42            | 34       | 12           | 22       | 2             | 31            | 34       | 11           | 22       | 2             | 40            | 34       | 12           | 22       |
| 3             | 45            | 31       | 13           | 30       | 3             | 40            | 46       | 14           | 26       | 3             | 54            | 42       | 11           | 25       |
| 4             | 45            | 37       | 15           | 30       | 4             | 51            | 33       | 11           | 28       | 4             | 51            | 46       | 16           | 35       |
| 5             | 50            | 41       | 16           | 36       | 5             | 43,5          | 42       | 13           | 32       | 5             | 57,5          | 62       | 16           | 34       |
| 6             | 50            | 50       | 13           | 30       | 6             | 46,5          | 62       | 17           | 35       | 6             | 55            | 50       | 21           | 43       |
| 7             | 45            | 47       | 17           | 34       | 7             | 46,5          | 45       | 16           | 33       | 7             | 56,5          | 80       | 17           | 37       |
| 8             | 60            | 65       | 17           | 35       | 8             | 44,5          | 60       | 16           | 34       | 8             | 70            | 68       | 16           | 36       |
| 9             | 65            | 65       | 18           | 38       | 9             | 55            | 58       | 18           | 39       | 9             | 70            | 74       | 17           | 41       |
| 10            | 55            | 54       | 18           | 38       | 10            | 46            | 47       | 18           | 38       | 10            | 67            | 60       | 20           | 41       |
| Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 33,5          | 22       | 7            | 12       | 1             | 42            | 30       | 10           | 20       | 1             | 30            | 22       | 10           | 12       |
| 2             | 34            | 20       | 12           | 28       | 2             | 35,5          | 33       | 10           | 21       | 2             | 42,5          | 41       | 8            | 16       |
| 3             | 36,5          | 43       | 15           | 38       | 3             | 50            | 29       | 12           | 24       | 3             | 40            | 43       | 13           | 26       |
| 4             | 43            | 44       | 14           | 30       | 4             | 47,5          | 40       | 15           | 30       | 4             | 33            | 33       | 15           | 31       |
| 5             | 43,5          | 50       | 17           | 35       | 5             | 56            | 50       | 16           | 34       | 5             | 51,5          | 51       | 17           | 36       |
| 6             | 50            | 42       | 16           | 34       | 6             | 52            | 50       | 19           | 40       | 6             | 55            | 61       | 19           | 41       |
| 7             | 48,5          | 60       | 17           | 31       | 7             | 54,5          | 56       | 16           | 35       | 7             | 61,5          | 60       | 18           | 35       |
| 8             | 48,5          | 50       | 17           | 39       | 8             | 59,5          | 60       | 15           | 32       | 8             | 65            | 75       | 17           | 37       |
| 9             | 44            | 52       | 19           | 43       | 9             | 50            | 60       | 17           | 36       | 9             | 70            | 68       | 19           | 40       |
| 10            | 57            | 50       | 17           | 39       | 10            | 65            | 51       | 19           | 38       | 10            | 70            | 77       | 21           | 42       |

Tabela 19 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para C<sub>Yn</sub>.

| R1            |               |          |              |          | R2            |               |          |              |          | R3            |               |          |              |          |
|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 22            | 21       | 7            | 13       | 1             | 21,5          | 22       | 5            | 9        | 1             | 23            | 21       | 9            | 16       |
| 2             | 25,5          | 36       | 10           | 21       | 2             | 26,5          | 30       | 9            | 16       | 2             | 30            | 42       | 13           | 16       |
| 3             | 28            | 46       | 10           | 20       | 3             | 30,5          | 35       | 9            | 20       | 3             | 36            | 53       | 9            | 18       |
| 4             | 37,5          | 46       | 13           | 26       | 4             | 35            | 38       | 11           | 23       | 4             | 32            | 40       | 15           | 32       |
| 5             | 32            | 60       | 9            | 20       | 5             | 45            | 56       | 10           | 20       | 5             | 40,5          | 40       | 13           | 28       |
| 6             | 35            | 71       | 15           | 27       | 6             | 42,5          | 45       | 13           | 28       | 6             | 33,5          | 51       | 16           | 32       |
| 7             | 21            | 53       | 16           | 31       | 7             | 48,5          | 48       | 11           | 25       | 7             | 40            | 43       | 15           | 31       |
| 8             | 42            | 43       | 14           | 25       | 8             | 51,5          | 40       | 12           | 33       | 8             | 40            | 44       | 15           | 33       |
| 9             | 36,5          | 46       | 17           | 37       | 9             | 50            | 66       | 17           | 33       | 9             | 42,5          | 55       | 19           | 40       |
| 10            | 40            | 45       | 15           | 40       | 10            | 47,5          | 49       | 12           | 25       | 10            | 38            | 45       | 15           | 35       |
| Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 24,5          | 22       | 6,5          | 13       | 1             | 24            | 24       | 7            | 13       | 1             | 26,5          | 28       | 7            | 15       |
| 2             | 32            | 40       | 12           | 24       | 2             | 29,5          | 33       | 9            | 19       | 2             | 35            | 34       | 9            | 19       |
| 3             | 37,5          | 47       | 12           | 25       | 3             | 32,5          | 41       | 10           | 22       | 3             | 34,5          | 46       | 12           | 24       |
| 4             | 43,5          | 44       | 15           | 27       | 4             | 50            | 45       | 12           | 23       | 4             | 40,5          | 42       | 13           | 24       |
| 5             | 45            | 59       | 13           | 23       | 5             | 50            | 51       | 12           | 23       | 5             | 37,5          | 43       | 11           | 24       |
| 6             | 41            | 70       | 11           | 21       | 6             | 40            | 52       | 15           | 32       | 6             | 40            | 58       | 11           | 23       |
| 7             | 51,5          | 75       | 9            | 18       | 7             | 45,5          | 63       | 16           | 31       | 7             | 43,5          | 68       | 12           | 25       |
| 8             | 48            | 60       | 12           | 23       | 8             | 53            | 50       | 12           | 24       | 8             | 40            | 38       | 12           | 20       |
| 9             | 50            | 62       | 15           | 32       | 9             | 45            | 57       | 18           | 40       | 9             | 42,5          | 52       | 17           | 34       |
| 10            | 51,5          | 48       | 16           | 37       | 10            | 46,5          | 53       | 20           | 36       | 10            | 52,5          | 52       | 16           | 38       |
| Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 24,5          | 24       | 6            | 13       | 1             | 23            | 25       | 8            | 17       | 1             | 26            | 25       | 11           | 22       |
| 2             | 38,5          | 33       | 11           | 20       | 2             | 30,5          | 35       | 11           | 21       | 2             | 37,5          | 45       | 14           | 32       |
| 3             | 42            | 46       | 13           | 27       | 3             | 34            | 41       | 13           | 26       | 3             | 32,5          | 80       | 14           | 32       |
| 4             | 35            | 34       | 13           | 25       | 4             | 44,5          | 44       | 13           | 27       | 4             | 36,5          | 100      | 12           | 26       |
| 5             | 50,5          | 55       | 13           | 30       | 5             | 47,5          | 60       | 17           | 30       | 5             | 65            | 75       | 12           | 23       |
| 6             | 50            | 58       | 10           | 22       | 6             | 50            | 76       | 10           | 20       | 6             | 75            | 137      | 12           | 21       |
| 7             | 53            | 60       | 14           | 24       | 7             | 55,5          | 70       | 10           | 22       | 7             | 57            | 92       | 13           | 32       |
| 8             | 49            | 46       | 13           | 22       | 8             | 55            | 46       | 18           | 30       | 8             | 50            | 60       | 15           | 31       |
| 9             | 52            | 60       | 16           | 32       | 9             | 46,5          | 64       | 13           | 31       | 9             | 48,5          | 70       | 18           | 37       |
| 10            | 50            | 45       | 20           | 36       | 10            | 47,5          | 53       | 20           | 45       | 10            | 55            | 70       | 15           | 47       |
| Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 33            | 32       | 6            | 12       | 1             | 33,5          | 30       | 10           | 20       | 1             | 31,5          | 26       | 8            | 16       |
| 2             | 38,5          | 39       | 15           | 28       | 2             | 38            | 38       | 11           | 23       | 2             | 41,5          | 46       | 13           | 27       |
| 3             | 40            | 49       | 9            | 21       | 3             | 44            | 40       | 11           | 23       | 3             | 47,5          | 51       | 11           | 24       |
| 4             | 42,5          | 44       | 15           | 34       | 4             | 50            | 50       | 16           | 31       | 4             | 50            | 70       | 13           | 27       |
| 5             | 57            | 50       | 12           | 33       | 5             | 54            | 58       | 10           | 25       | 5             | 51,5          | 50       | 13           | 24       |
| 6             | 55            | 68       | 10           | 20       | 6             | 57,5          | 68       | 16           | 31       | 6             | 57,5          | 73       | 14           | 31       |
| 7             | 58            | 73       | 15           | 22       | 7             | 62,5          | 87       | 12           | 23       | 7             | 71,5          | 68       | 13           | 30       |
| 8             | 50            | 40       | 15           | 22       | 8             | 70            | 53       | 13           | 21       | 8             | 65,5          | 49       | 15           | 24       |
| 9             | 70            | 75       | 13           | 30       | 9             | 66,5          | 72       | 15           | 29       | 9             | 66            | 70       | 14           | 31       |
| 10            | 49            | 40       | 14           | 40       | 10            | 68            | 63       | 17           | 38       | 10            | 66,5          | 80       | 20           | 38       |
| Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 26            | 19       | 7            | 12       | 1             | 31            | 31       | 8            | 15       | 1             | 35            | 27       | 9            | 18       |
| 2             | 34            | 35       | 9            | 20       | 2             | 42            | 44       | 14           | 25       | 2             | 46            | 47       | 11           | 22       |
| 3             | 45            | 61       | 16           | 27       | 3             | 45            | 48       | 15           | 31       | 3             | 51,5          | 59       | 15           | 29       |
| 4             | 60            | 72       | 12           | 25       | 4             | 50            | 58       | 15           | 31       | 4             | 51,5          | 57       | 15           | 33       |
| 5             | 75,5          | 85       | 10           | 22       | 5             | 65            | 60       | 18           | 35       | 5             | 70            | 113      | 15           | 22       |
| 6             | 56,5          | 80       | 13           | 30       | 6             | 63            | 58       | 16           | 31       | 6             | 61            | 74       | 10           | 26       |
| 7             | 92,5          | 130      | 10           | 22       | 7             | 58,5          | 73       | 20           | 41       | 7             | 73,5          | 92       | 16           | 33       |
| 8             | 52,5          | 53       | 12           | 25       | 8             | 70            | 53       | 10           | 25       | 8             | 60,5          | 60       | 18           | 30       |
| 9             | 60            | 50       | 15           | 30       | 9             | 60            | 70       | 17           | 33       | 9             | 58,5          | 87       | 18           | 39       |
| 10            | 75            | 55       | 21           | 45       | 10            | 80            | 65       | 16           | 35       | 10            | 67,5          | 67       | 14           | 30       |

Tabela 20 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para PVAe.

| R1          |               |          |              |          | R2          |               |          |              |          | R3          |               |          |              |          |
|-------------|---------------|----------|--------------|----------|-------------|---------------|----------|--------------|----------|-------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 27            | 29       | 8            | 21       | 1           | 16,5          | 17       | 9            | 23       | 1           | 23,5          | 20       | 9            | 31       |
| 2           | 22            | 23       | 10           | 34       | 2           | 44,5          | 25       | 10           | 29       | 2           | 29,5          | 28       | 11           | 25       |
| 3           | 29            | 32       | 11           | 28       | 3           | 32            | 26       | 10           | 26       | 3           | 33,5          | 30       | 10           | 29       |
| 4           | 32            | 31       | 10           | 27       | 4           | 29            | 25       | 10           | 30       | 4           | 28            | 30       | 13           | 31       |
| 5           | 35            | 41       | 12           | 33       | 5           | 47            | 48       | 10           | 37       | 5           | 21,5          | 27       | 10           | 31       |
| 6           | 27,5          | 28       | 9            | 32       | 6           | 36            | 32       | 12           | 31       | 6           | 38            | 39       | 12           | 30       |
| 7           | 30,5          | 36       | 13           | 31       | 7           | 26            | 34       | 10           | 33       | 7           | 28,5          | 44       | 9            | 33       |
| 8           | 29            | 29       | 10           | 37       | 8           | 29            | 29       | 10           | 40       | 8           | 26,5          | 38       | 11           | 35       |
| 9           | 48,5          | 54       | 13           | 33       | 9           | 44,5          | 36       | 10           | 35       | 9           | 34,5          | 32       | 10           | 30       |
| 10          | 34,5          | 43       | 14           | 44       | 10          | 34,5          | 44       | 14           | 47       | 10          | 38            | 43       | 14           | 44       |
| Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 22,5          | 24       | 8            | 19       | 1           | 22            | 25       | 9            | 25       | 1           | 25            | 26       | 7            | 21       |
| 2           | 27,5          | 30       | 9            | 27       | 2           | 21            | 22       | 9            | 31       | 2           | 21,5          | 24       | 10           | 30       |
| 3           | 31,5          | 29       | 9            | 30       | 3           | 33,5          | 31       | 11           | 33       | 3           | 19            | 27       | 10           | 36       |
| 4           | 18,5          | 26       | 9            | 36       | 4           | 37            | 48       | 11           | 30       | 4           | 26,5          | 34       | 12           | 35       |
| 5           | 29            | 35       | 12           | 35       | 5           | 37,5          | 39       | 12           | 36       | 5           | 35            | 40       | 12           | 35       |
| 6           | 30,5          | 30       | 11           | 36       | 6           | 34            | 34       | 13           | 38       | 6           | 26,5          | 38       | 13           | 35       |
| 7           | 32,5          | 33       | 11           | 37       | 7           | 45            | 51       | 13           | 34       | 7           | 29            | 27       | 10           | 34       |
| 8           | 42,5          | 42       | 11           | 40       | 8           | 34            | 30       | 11           | 34       | 8           | 40            | 44       | 13           | 42       |
| 9           | 33,5          | 33       | 11           | 34       | 9           | 37,5          | 44       | 11           | 36       | 9           | 32,5          | 32       | 11           | 34       |
| 10          | 30            | 50       | 14           | 42       | 10          | 43            | 49       | 13           | 45       | 10          | 34,5          | 54       | 14           | 42       |
| Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 15            | 21       | 10           | 24       | 1           | 18,5          | 22       | 8            | 28       | 1           | 29            | 26       | 8            | 24       |
| 2           | 31,5          | 37       | 10           | 27       | 2           | 27            | 27       | 10           | 29       | 2           | 53            | 30       | 10           | 29       |
| 3           | 23            | 28       | 10           | 33       | 3           | 29,5          | 25       | 12           | 34       | 3           | 55,5          | 37       | 11           | 32       |
| 4           | 27            | 20       | 8            | 29       | 4           | 31,5          | 26       | 10           | 29       | 4           | 32,5          | 34       | 10           | 28       |
| 5           | 35,5          | 35       | 12           | 33       | 5           | 30            | 34       | 11           | 38       | 5           | 26,5          | 31       | 11           | 32       |
| 6           | 40            | 38       | 11           | 29       | 6           | 50,5          | 45       | 13           | 37       | 6           | 36,5          | 47       | 14           | 36       |
| 7           | 31,5          | 39       | 12           | 36       | 7           | 26            | 39       | 11           | 36       | 7           | 35,5          | 34       | 11           | 35       |
| 8           | 40,5          | 46       | 12           | 43       | 8           | 32            | 40       | 10           | 31       | 8           | 42,5          | 42       | 13           | 41       |
| 9           | 58            | 54       | 11           | 35       | 9           | 32            | 38       | 12           | 36       | 9           | 30            | 39       | 13           | 38       |
| 10          | 50,5          | 49       | 14           | 42       | 10          | 44,5          | 54       | 14           | 45       | 10          | 32            | 48       | 14           | 41       |
| Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 30,5          | 27       | 11           | 27       | 1           | 19,5          | 21       | 10           | 31       | 1           | 45            | 21       | 9            | 28       |
| 2           | 27,5          | 24       | 9            | 27       | 2           | 38            | 32       | 10           | 29       | 2           | 35            | 23       | 10           | 36       |
| 3           | 30,5          | 31       | 11           | 25       | 3           | 47,5          | 32       | 11           | 27       | 3           | 32            | 33       | 15           | 40       |
| 4           | 50            | 58       | 10           | 32       | 4           | 28,5          | 29       | 10           | 40       | 4           | 50,5          | 32       | 11           | 30       |
| 5           | 37            | 32       | 10           | 31       | 5           | 43            | 36       | 14           | 42       | 5           | 39            | 31       | 12           | 40       |
| 6           | 26            | 38       | 12           | 32       | 6           | 50,5          | 39       | 14           | 39       | 6           | 33            | 38       | 13           | 36       |
| 7           | 40,5          | 39       | 11           | 35       | 7           | 52            | 60       | 12           | 40       | 7           | 32,5          | 39       | 12           | 37       |
| 8           | 42            | 38       | 12           | 39       | 8           | 28            | 29       | 11           | 34       | 8           | 46            | 44       | 13           | 40       |
| 9           | 43,5          | 38       | 12           | 39       | 9           | 47,5          | 49       | 12           | 34       | 9           | 38,5          | 34       | 15           | 40       |
| 10          | 48,5          | 56       | 13           | 44       | 10          | 36            | 47       | 14           | 40       | 10          | 37,5          | 48       | 14           | 40       |
| Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 26,5          | 25       | 9            | 27       | 1           | 25,5          | 34       | 10           | 30       | 1           | 29,5          | 18       | 9            | 28       |
| 2           | 10            | 21       | 11           | 28       | 2           | 62            | 39       | 14           | 31       | 2           | 36,5          | 36       | 10           | 30       |
| 3           | 36            | 34       | 13           | 30       | 3           | 40            | 22       | 14           | 25       | 3           | 56,5          | 46       | 14           | 38       |
| 4           | 26            | 28       | 10           | 28       | 4           | 53,5          | 44       | 12           | 33       | 4           | 80            | 62       | 11           | 29       |
| 5           | 23            | 43       | 12           | 36       | 5           | 82            | 82       | 13           | 35       | 5           | 69            | 48       | 12           | 37       |
| 6           | 51            | 50       | 13           | 36       | 6           | 50,5          | 53       | 15           | 36       | 6           | 46,5          | 38       | 15           | 38       |
| 7           | 74,5          | 62       | 16           | 41       | 7           | 58,5          | 52       | 13           | 38       | 7           | 37,5          | 32       | 12           | 37       |
| 8           | 40,5          | 35       | 10           | 24       | 8           | 43            | 28       | 11           | 32       | 8           | 49,5          | 45       | 15           | 40       |
| 9           | 59            | 56       | 12           | 39       | 9           | 82            | 52       | 15           | 38       | 9           | 49            | 39       | 12           | 41       |
| 10          | 44            | 52       | 14           | 50       | 10          | 40,5          | 46       | 14           | 42       | 10          | 55            | 46       | 14           | 43       |

Tabela 21 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para PVA.

| R1          |               |          |              |          | R2          |               |          |              |          | R3          |               |          |              |          |
|-------------|---------------|----------|--------------|----------|-------------|---------------|----------|--------------|----------|-------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 27,5          | 29       | 5            | 12       | 1           | 26            | 31       | 9            | 22       | 1           | 27            | 33       | 9            | 19       |
| 2           | 30,5          | 37       | 9            | 20       | 2           | 29            | 29       | 10           | 28       | 2           | 30,5          | 34       | 8            | 31       |
| 3           | 32,5          | 41       | 10           | 30       | 3           | 32,5          | 27       | 9            | 24       | 3           | 37,5          | 42       | 10           | 29       |
| 4           | 37,5          | 47       | 13           | 32       | 4           | 39,5          | 57       | 14           | 34       | 4           | 44            | 57       | 15           | 32       |
| 5           | 41,5          | 51       | 12           | 30       | 5           | 38,5          | 62       | 14           | 35       | 5           | 42            | 44       | 14           | 31       |
| 6           | 40            | 63       | 13           | 44       | 6           | 38,5          | 45       | 14           | 38       | 6           | 44,5          | 48       | 13           | 48       |
| 7           | 42            | 61       | 15           | 44       | 7           | 38            | 49       | 15           | 38       | 7           | 45,5          | 54       | 15           | 44       |
| 8           | 31            | 50       | 14           | 45       | 8           | 49            | 61       | 15           | 48       | 8           | 47            | 50       | 15           | 49       |
| 9           | 56            | 52       | 15           | 48       | 9           | 52            | 55       | 16           | 45       | 9           | 51            | 58       | 17           | 49       |
| 10          | 57            | 53       | 16           | 50       | 10          | 57,5          | 50       | 15           | 45       | 10          | 54,5          | 58       | 18           | 50       |
| Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 38,5          | 43       | 8            | 19       | 1           | 30            | 27       | 10           | 23       | 1           | 32            | 36       | 12           | 29       |
| 2           | 34,5          | 36       | 11           | 32       | 2           | 36,5          | 37       | 12           | 32       | 2           | 26            | 43       | 12           | 35       |
| 3           | 35            | 35       | 12           | 38       | 3           | 39,5          | 40       | 12           | 33       | 3           | 33,5          | 48       | 10           | 35       |
| 4           | 47,5          | 61       | 13           | 32       | 4           | 43,5          | 59       | 14           | 37       | 4           | 40,5          | 58       | 16           | 32       |
| 5           | 41,5          | 51       | 13           | 30       | 5           | 45            | 50       | 15           | 36       | 5           | 50,5          | 56       | 15           | 33       |
| 6           | 39            | 44       | 14           | 44       | 6           | 48            | 55       | 13           | 41       | 6           | 49            | 45       | 14           | 37       |
| 7           | 53            | 62       | 14           | 40       | 7           | 40,5          | 52       | 15           | 49       | 7           | 52            | 48       | 15           | 42       |
| 8           | 55,5          | 66       | 17           | 54       | 8           | 52,5          | 58       | 15           | 47       | 8           | 55,5          | 64       | 15           | 52       |
| 9           | 52,5          | 57       | 17           | 50       | 9           | 56            | 70       | 18           | 48       | 9           | 62,5          | 65       | 17           | 52       |
| 10          | 59,5          | 58       | 16           | 52       | 10          | 52,5          | 63       | 20           | 50       | 10          | 54            | 58       | 19           | 50       |
| Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 30,5          | 31       | 11           | 28       | 1           | 35,5          | 39       | 10           | 29       | 1           | 27,5          | 38       | 10           | 28       |
| 2           | 37            | 42       | 13           | 34       | 2           | 40            | 41       | 12           | 30       | 2           | 34,5          | 39       | 13           | 36       |
| 3           | 41,5          | 50       | 15           | 39       | 3           | 44,5          | 44       | 13           | 39       | 3           | 43            | 49       | 12           | 33       |
| 4           | 45,5          | 60       | 15           | 40       | 4           | 46            | 62       | 14           | 37       | 4           | 59,5          | 62       | 17           | 34       |
| 5           | 46,5          | 50       | 15           | 35       | 5           | 39,5          | 49       | 15           | 39       | 5           | 49            | 54       | 16           | 36       |
| 6           | 48,5          | 63       | 15           | 57       | 6           | 43            | 48       | 14           | 43       | 6           | 56,5          | 56       | 15           | 40       |
| 7           | 51            | 57       | 17           | 50       | 7           | 51,5          | 54       | 15           | 49       | 7           | 53,5          | 58       | 15           | 47       |
| 8           | 69            | 58       | 15           | 56       | 8           | 49,5          | 53       | 15           | 50       | 8           | 46            | 56       | 15           | 51       |
| 9           | 62,5          | 65       | 17           | 52       | 9           | 75            | 75       | 17           | 50       | 9           | 56            | 57       | 16           | 48       |
| 10          | 68            | 68       | 17           | 50       | 10          | 60,5          | 63       | 19           | 50       | 10          | 52            | 65       | 17           | 53       |
| Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 35            | 35       | 12           | 27       | 1           | 29            | 35       | 11           | 32       | 1           | 40,5          | 39       | 10           | 23       |
| 2           | 43            | 39       | 13           | 35       | 2           | 35            | 39       | 10           | 34       | 2           | 36,5          | 43       | 12           | 37       |
| 3           | 41,5          | 47       | 14           | 39       | 3           | 40,5          | 46       | 11           | 26       | 3           | 37            | 40       | 13           | 34       |
| 4           | 47            | 74       | 14           | 36       | 4           | 43            | 72       | 14           | 38       | 4           | 53,5          | 55       | 17           | 34       |
| 5           | 53            | 60       | 15           | 35       | 5           | 50            | 58       | 13           | 39       | 5           | 48            | 57       | 15           | 33       |
| 6           | 53,5          | 56       | 13           | 44       | 6           | 66            | 67       | 14           | 44       | 6           | 48            | 64       | 15           | 46       |
| 7           | 61,5          | 71       | 15           | 47       | 7           | 62            | 58       | 15           | 50       | 7           | 44,5          | 41       | 15           | 47       |
| 8           | 69            | 77       | 14           | 52       | 8           | 67,5          | 67       | 15           | 50       | 8           | 64            | 75       | 15           | 49       |
| 9           | 62,5          | 70       | 17           | 50       | 9           | 71,5          | 69       | 17           | 50       | 9           | 65,5          | 56       | 14           | 35       |
| 10          | 52            | 65       | 15           | 55       | 10          | 62,5          | 70       | 18           | 55       | 10          | 58,5          | 50       | 17           | 50       |
| Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)   | (cm)          |          |              |          |
| 1           | 43,5          | 43       | 11           | 26       | 1           | 36,5          | 37       | 12           | 28       | 1           | 44            | 41       | 12           | 30       |
| 2           | 47,5          | 42       | 11           | 32       | 2           | 41,5          | 40       | 12           | 34       | 2           | 44,5          | 40       | 12           | 31       |
| 3           | 48            | 47       | 13           | 37       | 3           | 50            | 43       | 13           | 31       | 3           | 47            | 44       | 13           | 35       |
| 4           | 44            | 62       | 14           | 32       | 4           | 49            | 60       | 15           | 39       | 4           | 59            | 58       | 14           | 33       |
| 5           | 50            | 66       | 15           | 38       | 5           | 69            | 62       | 16           | 40       | 5           | 51,5          | 54       | 15           | 34       |
| 6           | 56            | 64       | 15           | 44       | 6           | 39,5          | 64       | 19           | 39       | 6           | 68            | 67       | 14           | 46       |
| 7           | 58,5          | 61       | 17           | 48       | 7           | 72,5          | 99       | 16           | 57       | 7           | 69            | 67       | 15           | 51       |
| 8           | 57            | 65       | 15           | 54       | 8           | 57,5          | 66       | 15           | 55       | 8           | 67            | 69       | 16           | 52       |
| 9           | 57,5          | 74       | 20           | 53       | 9           | 67            | 73       | 17           | 52       | 9           | 75            | 72       | 18           | 53       |
| 10          | 69            | 72       | 18           | 60       | 10          | 74            | 70       | 19           | 57       | 10          | 62,5          | 63       | 19           | 55       |

Tabela 22 Dimensões do bulbo molhado em função da vazão e o tempo em três repetições para VGn.

| R1            |               |          |              |          | R2            |               |          |              |          | R3            |               |          |              |          |
|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|----------|
| Vazão 1/h     | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h     | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1/h     | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 19            | 25       | 10           | 18       | 1             | 21            | 25       | 12           | 28       | 1             | 22            | 30       | 11           | 20       |
| 2             | 25,5          | 28       | 11           | 20       | 2             | 26            | 27       | 10           | 20       | 2             | 26,5          | 27       | 13           | 28       |
| 3             | 27,5          | 34       | 12           | 27       | 3             | 23,5          | 32       | 13           | 30       | 3             | 27            | 30       | 10           | 21       |
| 4             | 25,5          | 44       | 15           | 33       | 4             | 28,5          | 27       | 12           | 32       | 4             | 31            | 40       | 17           | 33       |
| 5             | 24,5          | 45       | 15           | 41       | 5             | 35            | 60       | 15           | 40       | 5             | 35,5          | 48       | 13           | 28       |
| 6             | 29,5          | 45       | 13           | 32       | 6             | 35,5          | 43       | 14           | 38       | 6             | 41,5          | 39       | 16           | 35       |
| 7             | 34            | 59       | 17           | 48       | 7             | 37,5          | 45       | 17           | 40       | 7             | 30            | 45       | 19           | 44       |
| 8             | 31            | 55       | 19           | 50       | 8             | 37,5          | 52       | 18           | 42       | 8             | 32,5          | 52       | 19           | 42       |
| 9             | 40            | 57       | 21           | 48       | 9             | 33            | 52       | 19           | 44       | 9             | 35            | 57       | 21           | 45       |
| 10            | 57            | 55       | 23           | 50       | 10            | 32            | 61       | 21           | 45       | 10            | 38,5          | 55       | 23           | 47       |
| Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 1.5 l/h | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 24            | 25       | 12           | 28       | 1             | 29            | 35       | 8            | 20       | 1             | 24            | 20       | 10           | 25       |
| 2             | 26            | 25       | 10           | 18       | 2             | 27            | 38       | 8            | 26       | 2             | 30            | 38       | 15           | 29       |
| 3             | 29            | 28       | 15           | 26       | 3             | 31            | 27       | 13           | 23       | 3             | 26,5          | 23       | 10           | 33       |
| 4             | 27,5          | 44       | 18           | 42       | 4             | 32,5          | 30       | 12           | 22       | 4             | 33,5          | 36       | 10           | 28       |
| 5             | 33            | 44       | 18           | 30       | 5             | 32,5          | 45       | 15           | 41       | 5             | 30            | 50       | 20           | 44       |
| 6             | 31            | 52       | 14           | 41       | 6             | 28            | 46       | 13           | 34       | 6             | 46,5          | 42       | 14           | 40       |
| 7             | 35,5          | 47       | 18           | 45       | 7             | 45            | 51       | 19           | 40       | 7             | 38,5          | 55       | 19           | 43       |
| 8             | 38,5          | 57       | 19           | 45       | 8             | 45            | 61       | 19           | 42       | 8             | 45            | 54       | 21           | 40       |
| 9             | 36            | 53       | 21           | 47       | 9             | 30,5          | 50       | 21           | 45       | 9             | 38,5          | 59       | 21           | 45       |
| 10            | 52,5          | 58       | 23           | 50       | 10            | 36,5          | 71       | 21           | 48       | 10            | 44            | 61       | 23           | 45       |
| Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 2 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 27,5          | 30       | 10           | 28       | 1             | 30            | 34       | 10           | 31       | 1             | 28            | 33       | 16           | 31       |
| 2             | 30            | 41       | 11           | 30       | 2             | 30            | 38       | 17           | 30       | 2             | 28            | 41       | 10           | 22       |
| 3             | 32            | 42       | 14           | 27       | 3             | 38,5          | 37       | 13           | 30       | 3             | 27,5          | 38       | 10           | 25       |
| 4             | 37            | 48       | 18           | 42       | 4             | 39,5          | 42       | 14           | 38       | 4             | 35            | 50       | 16           | 36       |
| 5             | 37            | 56       | 17           | 37       | 5             | 41            | 51       | 15           | 40       | 5             | 30,5          | 55       | 18           | 43       |
| 6             | 36            | 56       | 13           | 42       | 6             | 36            | 59       | 15           | 37       | 6             | 33            | 50       | 15           | 37       |
| 7             | 40,5          | 68       | 17           | 50       | 7             | 32,5          | 62       | 19           | 45       | 7             | 36            | 56       | 17           | 43       |
| 8             | 44            | 51       | 19           | 51       | 8             | 40            | 69       | 21           | 49       | 8             | 36            | 52       | 20           | 45       |
| 9             | 47,5          | 58       | 21           | 50       | 9             | 43,5          | 57       | 21           | 51       | 9             | 57            | 60       | 21           | 48       |
| 10            | 57            | 61       | 21           | 52       | 10            | 40,5          | 59       | 23           | 50       | 10            | 42,5          | 58       | 23           | 51       |
| Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 3 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 26            | 39       | 12           | 35       | 1             | 26,5          | 41       | 12           | 21       | 1             | 31            | 30       | 11           | 26       |
| 2             | 28            | 40       | 12           | 30       | 2             | 38            | 39       | 13           | 32       | 2             | 32            | 42       | 18           | 34       |
| 3             | 33            | 55       | 15           | 37       | 3             | 42            | 45       | 11           | 34       | 3             | 34,5          | 53       | 17           | 37       |
| 4             | 39            | 50       | 10           | 39       | 4             | 36            | 40       | 13           | 36       | 4             | 40,5          | 56       | 19           | 46       |
| 5             | 43            | 47       | 11           | 39       | 5             | 48            | 55       | 16           | 33       | 5             | 42            | 52       | 15           | 42       |
| 6             | 37            | 57       | 12           | 44       | 6             | 36            | 54       | 16           | 46       | 6             | 42            | 50       | 18           | 43       |
| 7             | 27            | 55       | 17           | 46       | 7             | 44,5          | 64       | 19           | 47       | 7             | 49            | 58       | 19           | 48       |
| 8             | 39            | 59       | 19           | 44       | 8             | 42,5          | 62       | 21           | 49       | 8             | 44,5          | 70       | 20           | 55       |
| 9             | 59,5          | 58       | 19           | 52       | 9             | 51,5          | 64       | 21           | 50       | 9             | 46,5          | 68       | 21           | 55       |
| 10            | 50            | 68       | 21           | 53       | 10            | 55            | 75       | 23           | 55       | 10            | 42,5          | 72       | 23           | 57       |
| Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo | Vazão 4 l/h   | Ø Superficial | Ø máximo | Z (Ø) máximo | Z máximo |
| Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          | Tempo (h)     | (cm)          |          |              |          |
| 1             | 43,5          | 27       | 9            | 28       | 1             | 25            | 26       | 9            | 20       | 1             | 28            | 51       | 13           | 35       |
| 2             | 42,5          | 40       | 10           | 26       | 2             | 39            | 44       | 17           | 38       | 2             | 39,5          | 43       | 17           | 30       |
| 3             | 53,5          | 55       | 15           | 40       | 3             | 44            | 50       | 12           | 30       | 3             | 45,5          | 52       | 11           | 27       |
| 4             | 43            | 50       | 13           | 38       | 4             | 49,5          | 53       | 12           | 32       | 4             | 47            | 58       | 17           | 34       |
| 5             | 50            | 60       | 15           | 42       | 5             | 57,5          | 33       | 14           | 33       | 5             | 50            | 53       | 16           | 40       |
| 6             | 55            | 64       | 14           | 46       | 6             | 48,5          | 60       | 15           | 45       | 6             | 35            | 80       | 15           | 40       |
| 7             | 41            | 67       | 17           | 48       | 7             | 52,5          | 79       | 21           | 49       | 7             | 49,5          | 68       | 18           | 50       |
| 8             | 55            | 60       | 19           | 50       | 8             | 59            | 62       | 21           | 50       | 8             | 54            | 70       | 20           | 52       |
| 9             | 38,5          | 59       | 21           | 51       | 9             | 61,5          | 64       | 21           | 52       | 9             | 41            | 69       | 21           | 55       |
| 10            | 47,5          | 75       | 21           | 55       | 10            | 57,5          | 70       | 23           | 55       | 10            | 49,5          | 73       | 23           | 57       |