



## USO DO EPANET 2.0 NA DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PRESSÃO EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL

V. B. S. Baptista<sup>1</sup>, A. Colombo<sup>2</sup>, B. D. S. Barbosa<sup>3</sup>, L. A. Alvarenga<sup>4</sup>, L. C. Faria<sup>5</sup>,  
D. S. A. de Araújo<sup>6</sup>

**RESUMO:** O uso de inversores de frequência para aumento da eficiência energética de equipamentos do tipo pivô central, sem prejuízo da sua uniformidade de aplicação da água, só é alcançado com o conhecimento adequado do comportamento do ponto de mínima pressão da linha lateral em toda a área irrigada. O objetivo deste trabalho é descrever uma estratégia que permite incorporar o Software EPANET 2.0 na determinação precisa do valor e da posição do ponto de pressão mínima da linha lateral de um pivô central. O EPANET 2.0 foi utilizado para simular a distribuição espacial da pressão de um pivô central de 58,8ha, em 18 diferentes posições da linha lateral. Nestas simulações, foram consideradas características da curva da bomba, das tubulações, das válvulas reguladoras de pressão, dos emissores e informações topográficas. Neste sistema, quando a velocidade de rotação da bomba é mantida constante, a carga de pressão mínima da lateral assume valores que bem superiores ao mínimo necessário (13m), variam entre 24,1 e 34,5m, em pontos localizados entre 0 e 428,67m do ponto do pivô. Estes resultados ilustram a adequação do uso do EPANET 2.0 na simulação hidráulica de sistemas de irrigação do tipo pivô central.

**PALAVRAS-CHAVE:** economia de energia, inversor de frequência, bombeamento com velocidade variável.

## USE OF EPANET 2.0 IN DETERMINING THE SPATIAL PRESSURE DISTRIBUTION IN A CENTRAL PIVOT IRRIGATION SYSTEM

**ABSTRACT:** The use of variable frequency drives to increase the energy efficiency of center pivot irrigation systems, without prejudice to their uniformity of water application, is only achieved with adequate knowledge of the behavior of the point of minimum lateral line pressure

<sup>1</sup> Doutorando PPGRHS/UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35)38291490. E-mail: victor.buonosb@deg.ufla.br

<sup>2</sup> Professor Associado DEG/UFLA, Lavras, MG

<sup>3</sup> Doutorando PPGEA/UFLA, Lavras, MG.

<sup>4</sup> Professora Adjunta DEG/UFLA, Lavras, MG.

<sup>5</sup> Professor Adjunto CDTEC/UFPeL, RS.

<sup>6</sup> Acadêmico de Engenharia Agrícola UFLA, Lavras, MG.

throughout the irrigated area. The objective of this work is to describe a strategy that allows EPANET 2.0 Software to be incorporated in the precise determination of the value and position of the point of minimum lateral line pressure throughout the irrigated area. EPANET 2.0 was used to simulate the spatial pressure distribution of a of 58.8ha center pivot, at 18 different positions assumed by the lateral line. In these simulations topographic data, pump performance curve, pipeline, pressure regulators, and emitter hydraulics characteristics were considered. According to the results, when the pump rotational speed is kept constant along the lateral rotation, the minimum lateral lane pressure head assumes values in the range of 24.1 and 34.5m, that are much higher than the minimum necessary (13m), at distances varying from 0 to 428.67m of the center pivot point. These results illustrate the advantages of using EPANET 2.0 in the hydraulic simulation of center pivot irrigation systems.

**KEYWORDS:** energy savings, variable frequency drive, variable speed pump.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento do ponto de mínima pressão da linha lateral móvel de um pivô central, nas diversas posições assumidas pela lateral na área irrigada, é de fundamental importância para determinação de uma estratégia de controle da rotação que resulte em aumento da eficiência energética, sem prejuízo da uniformidade de aplicação da água do sistema (Brar et al., 2017). Diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas com a finalidade de simular o comportamento hidráulico de um pivô central. Algumas destas ferramentas são softwares comerciais, destacando-se entre estes o AquaFlow, HydroCalq, IrriCAD, Irri-Maker, IRRIPRO, Land FX e Rain CAD. Softwares gratuitos são também disponíveis. No entanto, alguns destes softwares são de difícil acesso, como é o caso do DEPIVOT (Valim et al, 2012) e outras não são adaptáveis aos novos sistemas operacionais, como é o caso do USUPIVOT (Allen, 1998) e SPRINKMODE (Andrade & Allen, 1999). Mais recentemente, foram também disponibilizados, gratuitamente, o CPED-USDA (Heerman & Stahl, 2006), que foi atualizado para uma nova versão que roda no Excel com VBA (Visual Basic for Applications) e o PivNoz (Kincaid & Dinges, 2017). Dentre os Softwares gratuitos, destaca-se o EPANET 2.0 (Rossmann, 2000), que desde a sua criação em 1993, tem sido escolhido por diversos pesquisadores e centros de pesquisa em hidráulica ao redor do mundo. A qualidade das simulações obtidas com EPANET já foi extensivamente comprovada em diversos trabalhos (García-González et al., 2015; Córcoles et al., 2016; García et al., 2017). Além disso, o EPANET 2.0 é um software de código aberto e de livre distribuição (a sua versão

brasileira pode ser obtida em [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page\\_id=34](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=34)). Tendo em vista as vantagens do EPANET 2.0, objetivo deste trabalho foi descrever uma estratégia que permite incorporar este Software na determinação precisa do valor e da posição do ponto de carga de pressão mínima da linha lateral de um pivô central.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Características do sistema de irrigação

Neste estudo, foi simulado o comportamento de um pivô central, da marca VALLEY, modelo 4871-8000-VSL, instalado na Fazenda Invernada, pertencente à Itogras Agrícola Alta Mogiana Ltda, no município de Bom Sucesso–MG. A linha lateral deste equipamento opera sem canhão final, irrigando uma área com raio total de 432,6 m. A lateral é composta de oito vãos, com diâmetro interno da tubulação de 168mm e um lance em balanço de 20 m. Ao longo da lateral existem 189 emissores, do tipo I-Wob, todos dotados de reguladores de pressão com valor nominal de 68,95 kPa (10 psi), espaçados de aproximadamente 2,30m, montados na extremidade de tubos de descida flexíveis, com diâmetro interno de 19,05 mm e coeficiente de rugosidade ( $C_{HW}$ ) de 140, a uma altura de 1,80 m da superfície do solo. As torres possuem altura fixa de 3,54m e o maior arqueamento dos vãos apresentam o valor de 0,7m de altura. De acordo com as especificações do modelo do pivô, a sua vazão total é de  $240,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (1060gpm). Uma adutora de 840 m de comprimento, composta por tubos de PVC, com diâmetro nominal de 200 mm, conduz até o ponto do pivô a água proveniente da unidade de bombeamento, que é composta de uma bomba da marca KSB, modelo WKL 125/3, com rotores de 300 mm, acionada por um motor elétrico trifásico, da marca WEG, de 380 volts, com valores nominais de potência e rotação de 150 cv e 1785 rpm, respectivamente. O desnível topográfico entre a bomba e o ponto de pivô é de 56,0 m e o desnível entre o ponto do pivô e do pivô ao ponto mais alto de 2,0 m. As estimativas de perda de carga na lateral nos pendurais e na adutora foram computadas com base em valores de coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams ( $C_{HW}$ ) de, respectivamente, 130, 140 e 130.

### Características do sistema de irrigação no EPANET 2.0

Conforme ilustrado na Fig. 1, o EPANET 2.0 exige que a linha lateral de um pivô central seja representada por uma série de Nós (Junctions) e Links (Pipes), adequadamente identificados e descritos quanto às suas propriedades específicas. No caso de uma linha lateral de pivô central dotada de pendural e válvula reguladora de pressão, em cada um dos seus

emissores de água, o EPANET 2.0 requer a descrição de seis elementos (3 links e 3 nós) de rede por emissor.

Na Figura 1, é possível observar que, neste trabalho, todos estes seis elementos de rede foram identificados por um nome cujo componente inicial indica o vão no qual está instalado o emissor considerado, seguido de letras, que identificam o tipo de elemento de tubulação considerado, e do número de ordem do emissor no vão: (i) V1L1, para o link que representa o trecho da Linha lateral, imediatamente anterior à tomada de água do primeiro emissor do primeiro Vão; (ii) V1T1 para o nó que representa a primeira Tomada de água na linha lateral do primeiro Vão; (iii) V1P1 para link correspondente ao Pendural do primeiro emissor do primeiro vão; (iv): V1JP1, para o nó a Jusante do Pendural do primeiro emissor do primeiro vão; (v) V1VRP1, para o link representativo da Válvula Reguladora de Pressão instalada a montante do primeiro emissor do primeiro Vão; (vi) V1E1 para o nó representativo do primeiro Emissor do primeiro Vão.

Para a identificação dos nós e links representativos dos emissores instalados ao longo do lance em balanço da lateral do pivô, a letra V do início do nome foi substituída pelo conjunto de letras BAL (Ex: BALL3; BALT3; BALP3; BALJP3; BALVRP3 e BALE3 para os elementos do terceiro emissor do balanço).

Na Fig. 1 é também possível observar que todos os links (Tubos e Válvulas) exigem a descrição dos respectivos nós de início e fim. No caso particular dos trechos de tubulação, foi preciso também descrever o comprimento do trecho (m), o seu diâmetro interno (mm) e o coeficiente de rugosidade da fórmula de perda de carga de Hazen-Williams ( $C_{HW}$ ). No caso particular dos links representativos das válvulas reguladoras de pressão, além da descrição dos nós de início e fim e do diâmetro interno, foi também necessário descrever os parâmetros relativos ao comportamento do tipo da válvula a ser considerado pelo EPANET 2.0. Neste trabalho, foram consideradas válvulas do tipo PRV, com carga de pressão de acionamento de 7,031 m (68,95 kPa ou 10 psi). Esta opção (Rossman, 2000) permite que a carga de pressão transmitida ao emissor não exceda 7,031m, sendo transmitido ao emissor um valor de carga de pressão igual ao da carga disponível no nó de Jusante da válvula, sempre que esta carga seja menor que 7,031m.

Os nós requerem a descrição de sua elevação topográfica (cota arbitrária em m) e os pares de valores das coordenadas X e Y que caracterizam o posicionamento destes nós na área de trabalho da tela do EPANET 2.0, conforme mostrado na Fig. 1.

As cotas (elevações) de cada nó foram atribuídas de acordo com o levantamento topográfico feito previamente na área experimental. Para as 18 posições angulares da linha

lateral do pivô central, foram definidas as cotas de cada torre e assim foi atribuída a elevação de cada nó considerando desnível constante entre as torres. Deve-se ressaltar que para atribuição da elevação de cada nó, foram levados em conta os comprimentos do pendural e da VRP.

As coordenadas X, Y, dos nós, tem a função de posicionar o layout da rede hidráulica na área de trabalho da tela do EPANET 2.0. Como os trechos de tubulação, bombas e válvulas são tomados como links que ligam dois nós (inicial e final), são necessário apenas as coordenadas dos nós. Os valores de coordenadas X, Y, foram assumidos de acordo com os comprimentos dos links, e majorados, com um fator de escala fixo, para que a visualização do desenho (layout da rede hidráulica) na tela do EPANET 2.0, seja adequada com o tamanho da área de trabalho do programa, em coordenadas absolutas X, Y (-5600,0 a 15600, 10000).

No caso particular dos Nós que representam os emissores, foi descrito o parâmetro da constante de proporcionalidade ( $K$ , *emitter coefficient*) (Rossman, 2000) determinado a partir da relação entre a vazão de cada emissor, conforme listagem de bocais utilizados neste pivô central, e a carga de pressão disponível à jusante da válvula reguladora de pressão (7,031m):

$$K_i = \frac{q_i}{h^x} \quad (1)$$

Em que:

$K_i$  – constante de proporcionalidade do emissor  $i$ ,  $m^{2,5}.h^{-1}$ ;

$q_i$  – vazão do emissor  $i$ ,  $m^3 h^{-1}$ ;

$h$  – carga de pressão nominal da VRP, m;

$x$  – expoente da carga de pressão, neste caso, com o valor de 0,5.

Para o caso do conjunto motobomba, o par de valores vazão-pressão informado ao EPANET 2.0, foi de  $242 m^3 h^{-1}$  e 107 m. Vale ressaltar que o EPANET 2.0 ajusta o ponto de equilíbrio entre a curva vazão-pressão da bomba e do sistema. A linha de adução de água simulada para este pivô central no EPANET 2.0 foi caracterizada através de 3 trechos de tubulação (Tad1, Tad2 e Tad3) e ainda uma ligação de pressão (LIG.P) para assumir uma perda de carga localizada decorrente das peças especiais utilizadas na linha de adução.

Com o propósito de tornar a utilização do EPANET 2.0 eficaz, para a simulação de sistemas de irrigação do tipo pivô central, foram utilizadas planilhas do Microsoft Excel para facilitar a edição dos dados de entrada requeridos pelo software. Estas planilhas do Excel foram agrupadas para o formato de arquivo texto requerido pelo EPANET 2.0, e carregadas no software para que fossem realizadas as simulações hidráulicas.

### **Localização do ponto de mínima pressão com o EPANET 2.0**

Depois de realizadas no EPANET 2.0 as simulações hidráulicas do pivô central, operando nas 18 diferentes posições da linha lateral, os resultados foram exportados para planilhas do Excel, nas quais foram identificados os nós anteriores às válvulas reguladoras de pressão (VRP) contidas nos pendurais que apresentavam o menor valor de carga de pressão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Simulação da linha lateral no EPANET 2.0**

Na Fig. 2a é mostrada a representação gráfica gerada no EPANET 2.0 da linha lateral do pivô central considerado neste estudo. Na Fig. 2b é mostrado uma vista ampliada do arqueamento da linha lateral nos vãos e os conjuntos pendural-VRP-emissor do vão considerado.

### **Localização dos pontos de mínima pressão**

A distância do ponto de mínima pressão, em relação ao ponto pivô, variou entre 0 e 428,67m, com valores de carga de pressão de 34,5 e 24,1m, respectivamente. A localização do ponto de mínima pressão em 18 diferentes posições da linha lateral, espaçadas de 20°, é mostrada na Fig. 3. Esta figura deixa clara a movimentação do ponto de mínima pressão ao longo do comprimento da linha lateral. King & Wall (2000), ao estudarem a distribuição espacial da pressão na lateral de um pivô central, de 392m de comprimento com um desnível de 18m entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto, também observaram que o ponto de menor pressão da linha lateral não se encontrava necessariamente na sua extremidade, estando em constante movimentação. Fato este que dificultou a instalação de sensores de pressão para controle da rotação da unidade de bombeamento com um inversor de frequência. Scaloppi & Allen (1993), apresentam as bases teóricas para o cálculo desta movimentação do ponto de mínima pressão em um terreno de declividade constante. Brar et al., (2017), após analisarem o comportamento da distribuição da pressão em mais de 1000 pivôs instalados no estado americano de Nebraska, concluíram que a colocação de sensores de pressão na extremidade dos pivôs não é recomendada porque em 50% dos casos a pressão mínima ocorria em outras posições da linha lateral.

Na Fig. 4 são apresentadas as distribuições da carga de pressão, disponível na entrada da válvula reguladora instalada na extremidade dos pendurais de cada emissor, correspondentes às posições angulares 16°, 76°, 136°, 196°, 256° e 316°. Nesta figura é mais fácil observar a distorção que o desnível topográfico entre torres adjacentes causa na distribuição espacial dos valores de carga de pressão. É importante ressaltar também que não só a topografia distorce a

esta distribuição. Na Fig. 4, é possível observar que há um aumento de pressão nos últimos 3 emissores da linha lateral. Este ganho de pressão pode ser explicado devido ao fato dos bocais destes emissores possuírem menor diâmetro em relação aos anteriores, uma vez que o espaçamento entre estes três últimos emissores é menor que o espaçamento entre os demais emissores do balanço. Tendo em vista que os pendurais do balanço apresentam o mesmo comprimento, e o mesmo diâmetro interno, a perda de carga no pendural dos últimos três emissores, que são de menor vazão, é menor que aquela observada no pendural dos demais emissores do balanço. Desta forma, considerando que as diferenças de carga de pressão no interior do tubo do balanço são muito pequenas, a menor perda de carga no pendural dos últimos três emissores resulta no pequeno aumento de carga de pressão indicado nas curvas da Fig. 4.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo mostram que o EPANET 2.0 pode ser uma ferramenta eficaz para determinação da distribuição da carga de pressão ao longo da linha lateral do pivô central.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. USUPIVOT: Centre Pivot and Linear Move Nozzle Selection Program. **User's Manual. Department Biological and Irrigation Engineering. Utah State University, Logan, Utah**, 1991.
- ANDRADE, C. L. T.; ALLEN, R. G. SPRINKMOD - pressure and discharge simulation model for pressurized irrigation systems. 1. Model development and description. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 18, p. 141-148, 1999.
- BRAR, D., KRANZ, W.L., LO, T., IRMAK, S., MARTIN, D .L. Energy conservation using variable-frequency drives for center-pivot irrigation: standard systems. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, n. 60, v. 1, p. 95–106, February; 2017
- CÓRCOLES, J. I.; TARJUELO, J. M.; MORENO, M. A. Methodology to improve pumping station management of on-demand irrigation networks. **Biosystems Engineering**, Amsterdam v. 144, p. 94-104, April 2016.

GARCÍA, I. F.; MONTESINOS, P.; POYATO, E. C.; DÍAZ, J. R. Optimal design of pressurized irrigation networks to minimize the operational cost under different management scenarios. **Water Resources Management**, Athens, v. 31, n. 6, p. 1995-2010, 2017.

GARCÍA-GONZÁLEZ, J. F., MORENO, M. A., MOLINA, J. M., MADUEÑO, A., RUIZ-CANALES, A. Use of software to model the water and energy use of an irrigation pipe network on a golf course. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 151, p. 37-42, March, 2015.

HEERMANN, D. F.; STAHL, K. M. CPED: Center Pivot Evaluation and Design. **New version release**, <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm>, USDA-ARS-NPA-WMU, Ft. Collins, CO, USA, 2006.

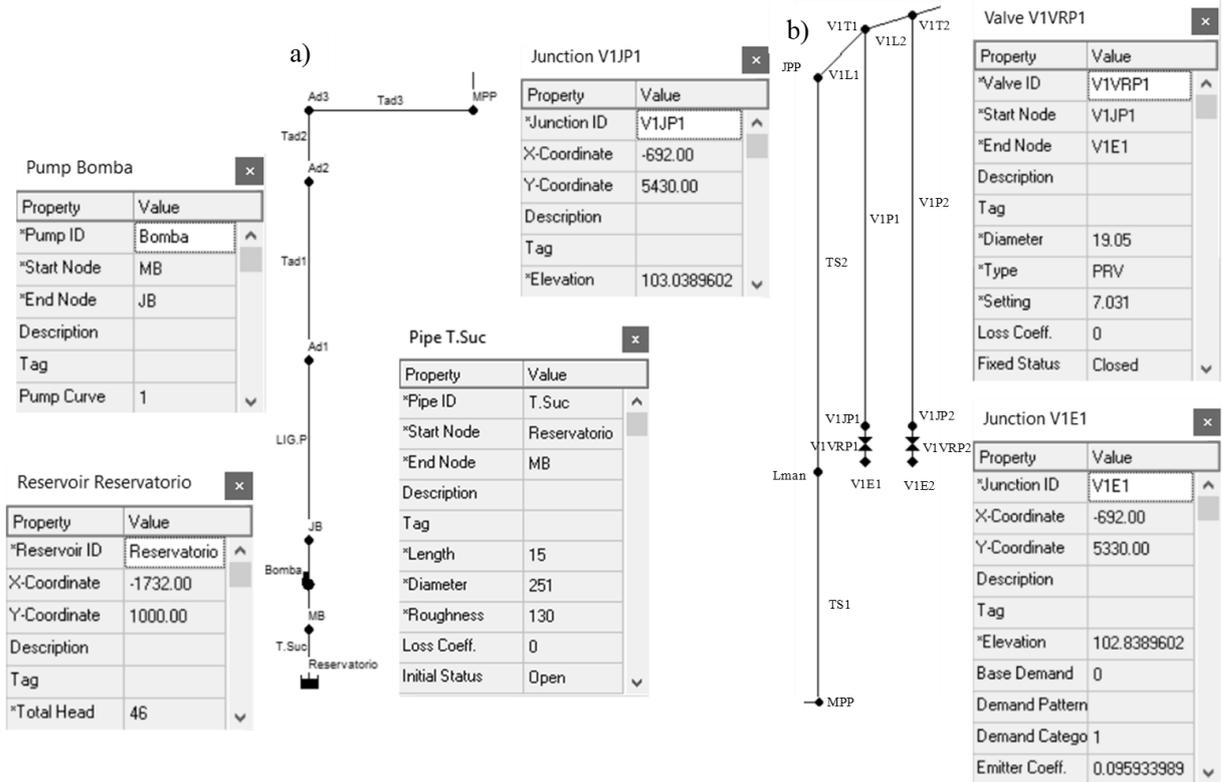
KINCAID, D.C.; DINGES, R. PivNoz. Disponível em <https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=206#downloadForm>. Acesso em 01 de julho de 2017.

KING, B. A.; WALL, R. W. Distributed instrumentation for optimum control of variable speed electric pumping plants with center pivots. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 45, 2000.

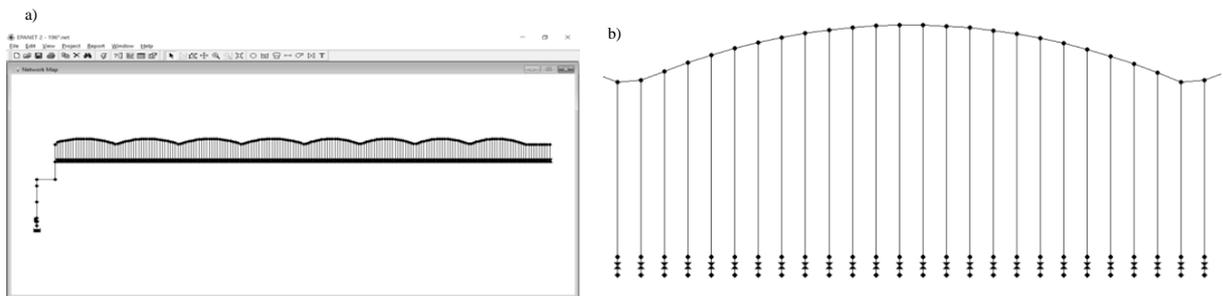
ROSSMAN, L. A. **EPANET 2. user's manual**. Cincinnati, National Risk Management Research Laboratory - US Environmental Protection Agency (EPA), 2000. 200 p.

SCALOPPI, Edmar J.; ALLEN, Richard G. Hydraulics of irrigation laterals: Comparative analysis. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 119, n. 1, p. 91-115, 1993.

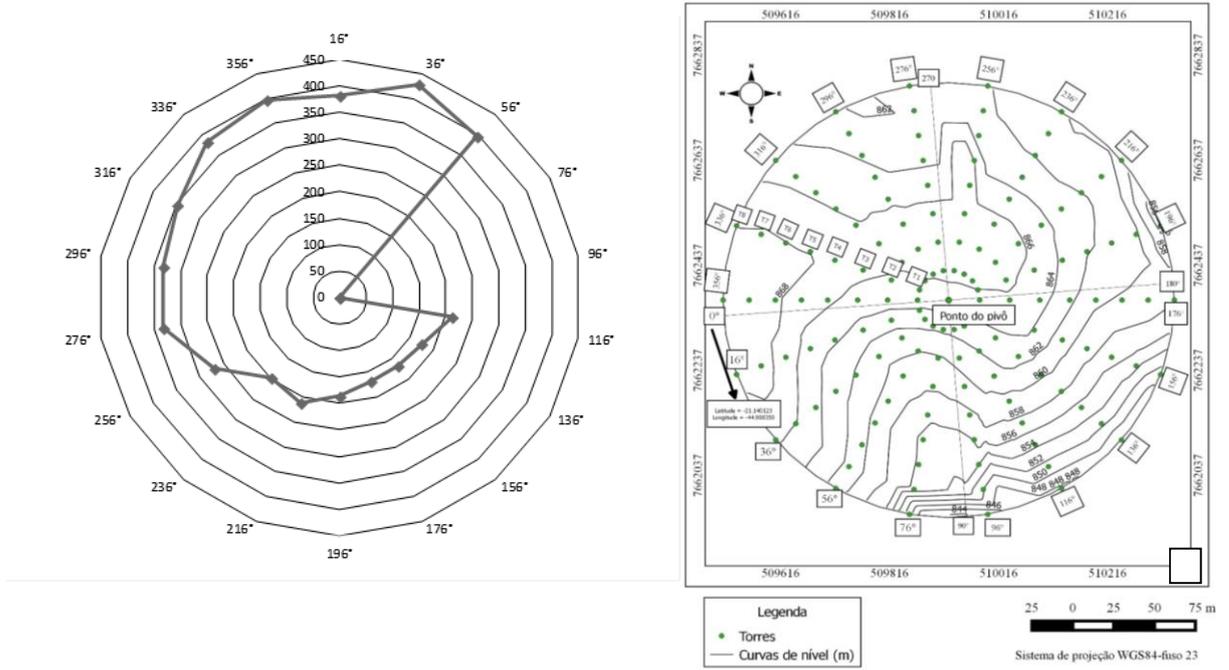
VALÍN, M. I.; CAMEIRA, M. R.; TEODORO, P. R.; PEREIRA, L. S. DEPIVOT: A model for center-pivot design and evaluation. **Computers and electronics in agriculture**. Oxford, v. 87, p. 159-170, 2012.



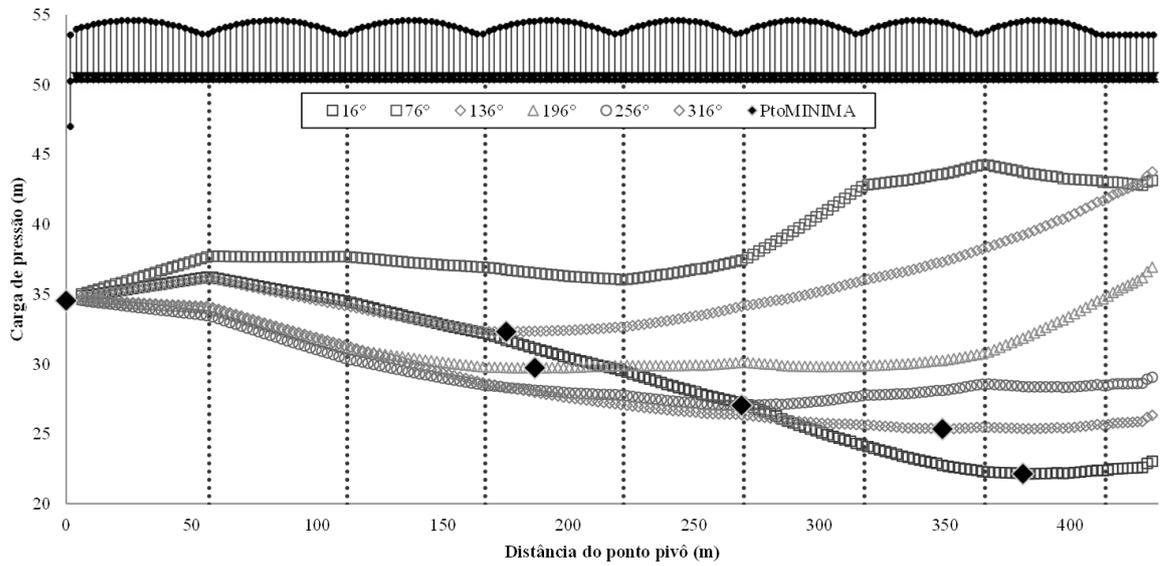
**Fig. 1.** Nós e links de um pivô central no EPANET 2.0. a) a linha de adução. b) do ponto pivô e os dois primeiros conjuntos pendural-VRP-emissor do primeiro vão.



**Fig. 2.** Vista geral do pivô central simulado no software EPANET 2.0 (a). Detalhe de um dos vãos que compõe a linha lateral do pivô central (b).



**Fig. 3.** Localização do ponto de mínima pressão em diferentes posições angulares da linha lateral do pivô central e topografia da área irrigada.



**Fig. 4.** Distribuição da carga de pressão para 6 diferentes posições angulares da linha lateral