

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“EPANET-IRRIG: APRESENTAÇÃO DE NOVAS FUNCIONALIDADES PARA O EPANET VOLTADAS AO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO”

Kennedy Flávio Meira de Lucena (1)

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Avenida 1º de Maio, 720 – Jaguaribe – João Pessoa (PB), kennedyflavio@yahoo.com.br

RESUMEN

Los sistemas de riego a presión, particularmente los fijos, requieren una alta inversión inicial en compra de componentes de la extensa red de tuberías y accesorios. Por otra parte, dependiendo de las demandas de evapotranspiración, el bombeo puede convertirse en un factor de costo operativo de inviabilidad económica. Por lo tanto, el diseño que tiene en cuenta la optimización de los costes es un desafío para los investigadores. Herramientas computacionales pueden ayudar a la hora de desarrollar alternativas técnica y económicamente viable. Sin embargo, el uso de estas tecnologías ha sido muy común en el sector del distribución de agua, donde el EPANET es un punto de referencia en términos de simulación hidráulica. Varias propuestas de mejora al EPANET ya se han implementado, pero siempre orientados a sistemas de distribución de agua. Observando esta brecha se presenta el modelo computacional llamado EPANET-IRRIG versión 1.0, que es una mejora del software EPANET 2.0, en el que se incluyeron nuevas características con el fin de ayudar al diseño y evaluación hidráulico-económica de las redes de riego. Los resultados obtenidos a partir de la EPANET-IRRIG ya permiten la fiabilidad del usuario para el diseño y el rendimiento de los sistemas de riego, por goteo y micro aspersión. El módulo de interfaz mejorada permite a las grandes redes de riego con numerosos puntos emisores pueden ser más fáciles de modelar. El análisis de la viabilidad económica del proyecto se hace posible con los cálculos del coste de la red de riego y la electricidad, lo que permite un análisis más cuidadoso del diseño. Un módulo de optimización se debe incorporar en el paso futuro el EPANET-IRRIG.

Palabras clave: sistemas de riego, diseño, análisis económico, EPANET-IRRIG.

ABSTRACT

Pressurized irrigation systems, particularly the fixed, require high initial investment in purchase of components from the extensive network of pipes and accessories. Furthermore, depending on the demands of evapotranspiration, pumping can become operational cost a factor of economic infeasibility. Therefore, we seek to design a design technique that considers the optimization of these costs. Computational tools can assist the designer in developing alternatives technically and economically viable. However, the use of these technologies has been very common in the sector of water supply, where the EPANET is a benchmark in terms of hydraulic simulation. Several proposals for improvement to the EPANET already been implemented, but always aimed to supply systems. Noting this gap we present the computational model called EPANET-IRRIG version 1.0, which is an improvement of the software EPANET 2.0, in which new features were included in order to assist the design and performance of hydraulic-economic irrigation networks. The results obtained from the EPANET-IRRIG already allow the user reliability for the design and performance of irrigation systems, drip and micro sprinkler. The improved interface module enables extensive irrigation networks with numerous points emitters can be more easily modeled. The analysis of the economic viability of the project becomes possible with the calculations of the cost of the irrigation network and electricity, thus allowing a more careful analysis of the design. An optimization module should be incorporated in the future step in the EPANET-IRRIG.

Keywords: irrigation systems, design, economic analysis, EPANET-IRRIG.

INTRODUÇÃO

A irrigação tornou-se indispensável na garantia da segurança alimentar do planeta. O planejamento das colheitas e elevada produtividade são mais facilmente obtidas graças às técnicas de irrigação, o que possibilita menos riscos econômicos na produção.

No Brasil o setor agrícola merece destaque e, em termos de consumo de água doce, o setor é responsável por aproximadamente 70% da totalidade da água usada. Mesmo sendo um país com abundância hídrica, algumas regiões apresentam escassez, sendo de grande relevância a obtenção de estratégias que visem à economia desse recurso.

A irrigação é um grande usuário de água e se for mal conduzida além de promover elevados índices de perdas de água tem implicações sérias do ponto de vista ambiental e econômico. Dentre as medidas eficazes para reduzir o elevado consumo de água na irrigação tem-se a aplicação de técnicas modernas de condução, distribuição e aplicação da água. Os sistemas de gotejamento e de microaspersão, destacam-se por promoverem um uso mais racional da água, o que é proporcionado pelo maior controle na distribuição d'água ao longo da rede, porém tem elevados custos de implantação.

Projetos de irrigação eficientes necessariamente exigem dimensionamentos hidráulicos mais criteriosos dos sistemas. No dimensionamento de sistemas de irrigação pressurizados, a definição do layout é um dos aspectos que afeta os custos do projeto e deve ser definido conjuntamente ao dimensionamento da rede hidráulica (LUCENA, 2003). O dimensionamento hidráulico permite inúmeras possibilidades de configurações de redes que atendem às restrições físicas do problema. No entanto, o dimensionamento deve atender todas as restrições e promover a otimização econômica.

Em função dos layouts dos sistemas de irrigação, normalmente, o dimensionamento e operação se tornam menos complexos que em sistemas abastecimento urbano. Podem ser citadas como as principais diferenciações entre esses sistemas: as redes de irrigação são na sua grande maioria ramificadas; a topografia é mais homogênea; as demandas instantâneas são praticamente invariáveis; não permitem grandes variações nas vazões dos emissores; possuem pouca variabilidade operacional e menos incertezas nos processos hidráulicos (LUCENA, 2005).

Devido ao elevado consumo de água e ao requerimento de pressões, a operação dos sistemas de irrigação exige grande quantidade de energia com bombeamento, que pode tornar os custos operacionais maiores até que os custos fixos. É objeto de pesquisa a busca por dimensionamentos de redes hidráulicas para irrigação com a combinação entre custos fixos e variáveis, mais viável técnica e economicamente.

De acordo com Lucena (2005) o principal ponto objetivo hidráulico dos sistemas de irrigação o principal é a uniformidade na distribuição da água. Esse objetivo dependerá de dois fatores principais: da variação de pressão na rede, provocada pelas perdas de carga nas tubulações e pela topografia da área, e, pela qualidade dos emissores (aspersores, microaspersores, gotejadores e outros). Esses fatores influenciarão diretamente nos custos dos sistemas, pois quanto maior a uniformidade de distribuição da água maior o custo do sistema.

Diversos trabalhos com ênfase no dimensionamento econômico de redes hidráulicas foram desenvolvidos, visando soluções mais precisas e eficientes computacionalmente. Dentre estes podem-se citar os estudos de Alperovitz e Shamir (1977) com a programação linear, Gessler e Walski (1985) usaram a enumeração exaustiva, (Granados, 1986) aplicou a programação dinâmica, Cirilo (1997) e Lucena (2003) usaram a programação não linear.

Os modelos computacionais para a análise e dimensionamento de redes hidráulicas tem sido uma ferramenta essencial para pesquisadores e técnicos que atuam na área de sistemas de abastecimento de água, podendo-se exemplificar o uso do EPANET (Rossman, 2002). Este software é de uso livre e evidencia grande visibilidade e aceitabilidade no setor de abastecimento, para o qual foi prioritariamente desenvolvido. Em se tratando de redes hidráulicas o EPANET também tem aplicabilidade para sistemas de irrigação. No entanto, não se tem presenciado esse tipo de aplicação, o que poderia ser justificado pela ausência de ferramentas próprias ao dimensionamento desses sistemas.

O objetivo deste trabalho é propor uma versão aprimorada do EPANET para auxiliar no dimensionamento e avaliação de sistemas de irrigação, denominada EPANET-IRRIG. Nesta versão apresenta-se a incorporação ao EPANET de novas funcionalidades para o dimensionamento hidráulico, a análise de performance e o cálculo de custos dos sistemas.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Os sistemas de irrigação são projetados na sua maioria em redes ramificadas, em função das particularidades operacionais e, principalmente, por questões econômicas. Uma das características dos sistemas de microirrigação ou localizados é a necessidade de uma extensa rede de tubulações para cobrir toda área irrigada. Esse aspecto impõe aos mesmos um elevado custo de investimento com emissores, tubulações, sistema de tratamento de água, entre outros.

Uma das variáveis que mais afeta o dimensionamento é a definição da configuração topológica do sistema, ou seja, a sua forma e a divisão da rede em unidades operacionais (Lucena, 2003). Porém, na maioria das situações a topologia do sistema é imposta pela topografia do terreno.

Uma estratégia de projeto apontada por muitos pesquisadores para a redução dos custos desses sistemas é a divisão da área em subunidades e a operação do sistema em unidades operacionais (Keller e Bliesner, 1990; Lucena, 2003). Embora os custos de implantação sejam os mais importantes para elaboração do projeto desses sistemas é cada vez maior a atenção dada aos custos energéticos, que podem reduzir ou até inviabilizar o empreendimento.

A busca da melhor concepção de projeto é complexa por envolver inúmeras variáveis de decisão, objetivos conflitantes como o custo da rede e o custo energético, não linearidade dos fenômenos e o elevado número de possibilidades de soluções de projeto, esses fatores convergem para a necessidade do desenvolvimento de modelos computacionais. Dentre as principais variáveis de interesse para o dimensionamento dos sistemas de microirrigação destacam-se: o lay out ou topologia da rede, o número de subunidades; o número de unidades operacionais, os comprimentos e diâmetros de tubulações, a pressão média de operação dos emissores na subunidade, os tempos e horários de operação e espaçamento entre emissores (LUCENA, 2005).

Hidraulicamente, o dimensionamento de um sistema de irrigação tem como objetivo principal a distribuição da água o mais uniforme possível ao longo de toda a área irrigada. A uniformidade de distribuição ou de emissão está diretamente relacionada às variações de pressão nas subunidades e às características de fabricação do emissor quando

novo e as alterações funcionais provocadas com o uso.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de obter o melhor desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação, de modo que os cálculos sejam mais precisos e explícitos, a exemplo do cálculo das perdas de carga nas tubulações que possibilita o conhecimento da linha de energia e conseqüentemente uma maior certeza na estimativa da uniformidade de emissão (Lucena, 2000 e 2002; Ravikumar et al., 2003; Valiantzas, 2003). Outra abordagem da pesquisa científica aplicada é o desenvolvimento de modelos que melhorem a performance da otimização econômica do sistemas de irrigação (LUCENA et al., 2000 e 2001; AJAI SINGH et al., 2000).

Dandy e Hassanli (1996) desenvolveram um modelo para o dimensionamento e operação ótimos de sistemas por gotejamento que considerou várias possibilidades de divisão do sistema em subunidade e unidades operacionais e obteve o custo mínimo de cada alternativa de rede. A técnica empregada foi a enumeração exaustiva e o modelo é aplicável áreas retangulares e em nível. Holzapfel et al. (1990), Saad e Frizzone (1996), Saad e Mariño (2002) utilizaram a programação não linear no dimensionamento de sistemas de microirrigação. Dandy e Hassanli (1996) utilizaram algoritmos genéticos para o dimensionamento ótimo de sistemas com múltiplas subunidades. O modelo foi usado para otimizar o lay out e os diâmetros maiores da rede, enquanto o dimensionamento das subunidades foi realizado através da enumeração exaustiva.

DESENVOLVIMENTO DO EPANET- IRRIG

Características gerais

O EPANET-IRRIG é o modelo computacional EPANET 2.0 acrescido de novas funcionalidades específicas para a elaboração e avaliação de projetos de sistemas de irrigação pressurizados (Figura 1).

Desse modo, o EPANET-IRRIG apresenta novidades importantes que visam facilitar a implementação de redes destinadas à irrigação e o dimensionamento hidráulico-econômico. Portanto, além de melhorias na interface, o EPANET-IRRIG traz incorporadas ferramentas importantes para elaboração e avaliação de projetos de irrigação.

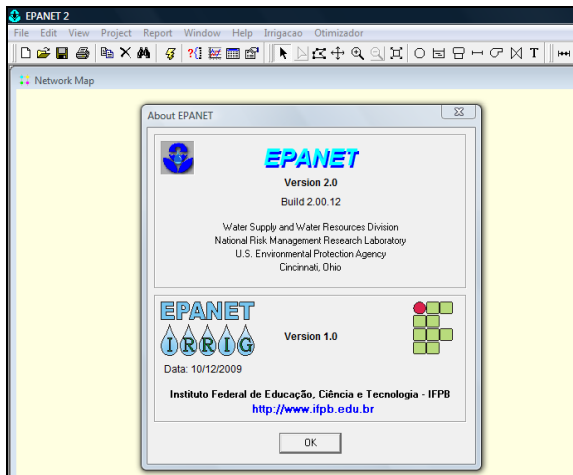


Figura 1. Apresentação da versão EPANET-IRRIG.

O EPANET-IRRIG tem, portanto, as mesmas potencialidades do EPANET 2.0, somadas àquelas direcionadas à elaboração e avaliação de projetos de irrigação. Permite executar simulações do comportamento hidráulico da água com ou sem bombeamento. Podem ser modelados: tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável, entre outros elementos físicos.

As principais contribuições do EPANET-IRRIG podem ser resumidas em:

- Maior agilidade na implementação de uma rede para irrigação;
- Dimensionamento de redes de irrigação considerando objetivos hidráulicos e econômicos;
- Ferramenta para avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, aspersão e microaspersão;
- Determinação da variação de vazão dos emissores na parcela irrigada;

- Determinação variação de pressão dos emissores na parcela irrigada;
- Determinação da uniformidade de emissão.

O EPANET-IRRIG pode ser empregado para o dimensionamento de subunidades (ou parcelas) de irrigação, sistemas de irrigação por aspersão ou localizados, assim como, no dimensionamento de redes adutoras para alimentação das áreas irrigadas.

Para modelagem de um sistema de irrigação através do EPANET-IRRIG são utilizados os seguintes passos:

- Desenhar uma representação esquemática do sistema de irrigação;
- Editar as propriedades dos objetos (componentes) que constituem o sistema;
- Editar as propriedades de entrada para o dimensionamento;
- Executar simulação hidráulica;
- Emitir os relatórios do dimensionamento.

UTILIZAÇÃO DO EPANET-IRRIG

Elementos que compõem uma rede de irrigação

Assim com no EPANET 2.0 o EPANET-IRRIG modela um sistema de irrigação como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os Trechos (links) representam as Tubulações, Bombas e Válvulas de controle. Os Nós representam Conexões, Reservatórios de Níveis Fixos (RNF) e *Emissores*. Os nós emissores são os elementos mais importantes na modelagem e devem ser configurados de acordo com as características técnicas fornecidas pelo fabricante. A Figura 2 ilustra a concepção de uma rede.

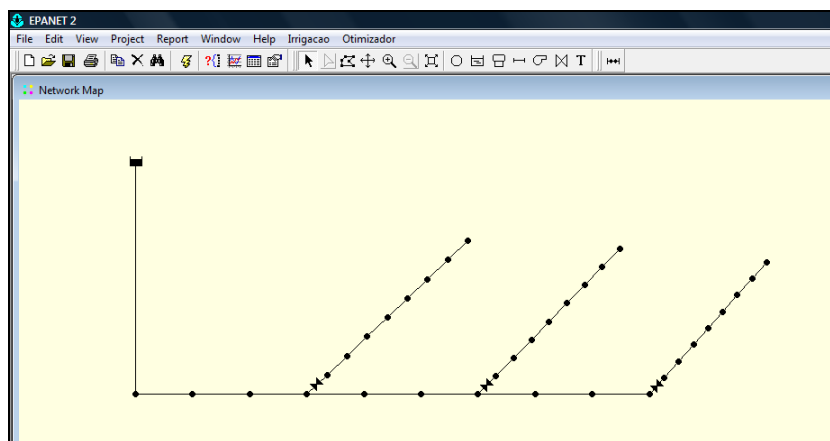


Figura 2. Elementos que compõem uma rede de irrigação no EPANET-IRRIG.

Traçado de uma rede de irrigação

Na modelagem de uma rede de irrigação são necessários os seguintes componentes (Figura 3):

- Reservatório de nível fixo (Add Reservoir);
- Nós de conexão e nós emissores (Add Junction);
- Tubulação (Add Pipe);
- Válvulas de controle de fluxo (Add Valve).

Passos para desenhar a rede:

O primeiro passo é adicionar o reservatório de nível fixo (Add Reservoir), bastando acionar o botão Add Reservoir, para selecioná-lo. A seguir, tocar com o *mouse* no ponto do mapa onde pretende inserir este componente (lado esquerda do mapa). A seguir, adicionar os nós. Usar o botão Add Junction, para selecioná-lo e, em seguida, indicar os pontos do mapa onde pretende colocar os nós.

Para criar os tubos basta ativar Add Pipe para selecioná-lo e com o mouse ligar um nó a outro.

Caso se deseje dividir um tubo em vários segmentos menores pode-se utilizar a nova funcionalidade *Dividir Tubo* (Figura 4). Com o mouse clique no tubo que se pretende dividir e em seguida no botão *Dividir Tubo*, que solicitará a informação do número de trechos. Cada segmento do tubo terá o comprimento *default*. Essa funcionalidade é particularmente importante para os tubos que contém os emissores como gotejadores, microaspersores e aspersores (Figura 8), pois reduz significativamente o trabalho de desenho da rede.

As válvulas de controle de fluxo devem ser inseridas sempre no início de uma tubulação que conduz o fluxo para uma parcela ou subunidade de irrigação. Para criar as válvulas clique em Add Valve, para selecioná-la, e com o mouse ligue um nó a outro.

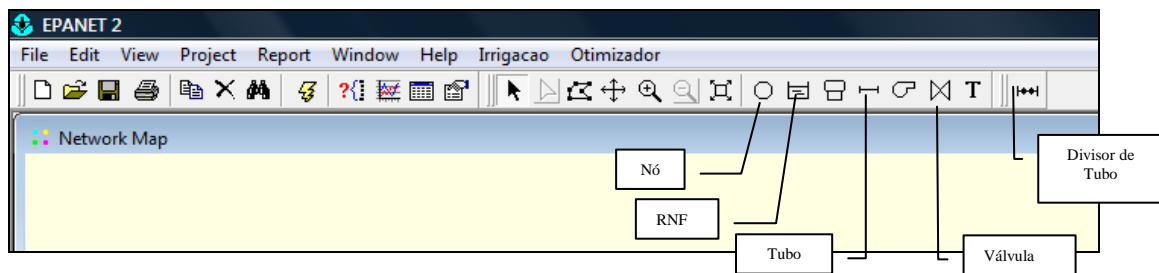


Figura 3. Principais funções usadas no desenho de uma rede no EPANET-IRRIG.

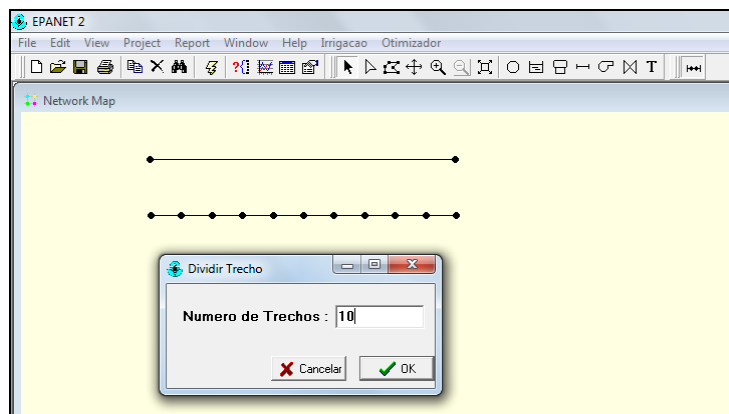


Figura 4. Criação de tubulação com vários trechos no EPANET-IRRIG.

Uma *nova funcionalidade* desenvolvida, especificamente para o EPANET-IRRIG, foi a possibilidade de alteração do comprimento (*Lengh) de um grupo de tubos, permitindo ao modelador maior rapidez na edição da malha e na elaboração de

projetos quando dimensionando por tentativa uma rede (Figura 5). Essa função é particularmente importante para sistemas de irrigação que tem tubulações com comprimentos uniformes ou padrões.

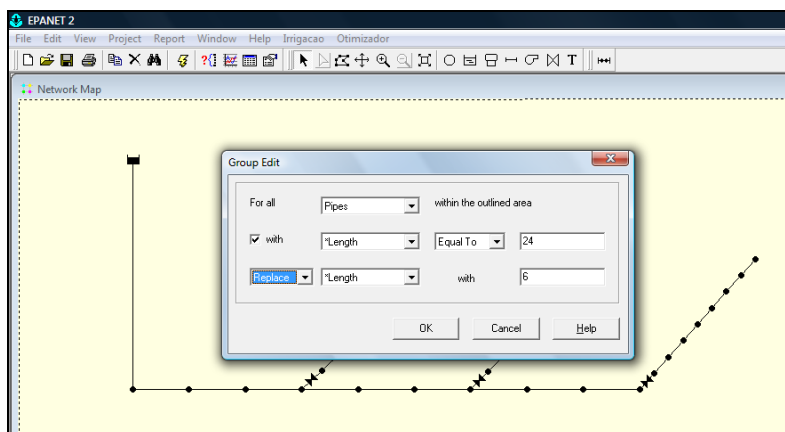


Figura 5. Alteração dos comprimentos de tubos no EPANET-IRRIG.

Entrada de dados de projeto

Ao iniciar um novo projeto o usuário deverá inserir os *diâmetros internos* de tubos comerciais que poderão ser selecionados no dimensionamento, antes ou após o desenho da rede. A partir dessa informação a rede de irrigação deve ser desenhada com diâmetros que existem na entrada de dados de projeto, caso contrário os diâmetros não coincidentes não terão seus custos computados. Ou seja, os diâmetros finais do dimensionamento devem constar dos diâmetros da entrada de dados (Figura 6).

Os custos com as tubulações serão computados pelo somatório (Equação 1):

$$C_{TUB} = \sum C_{pvc} L_{pvc} + C_{pe} L_{pe} \quad (1)$$

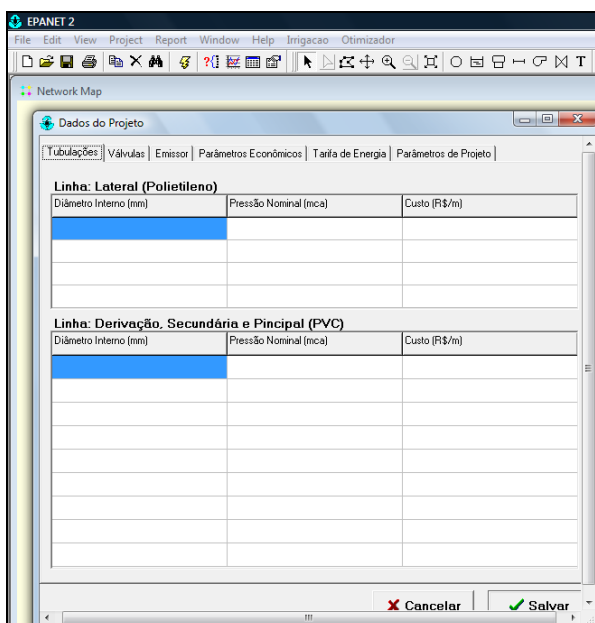


Figura 6. Entrada de dados de tubulações comerciais aplicáveis ao dimensionamento.

São necessárias as seguintes informações dos tubos de polietileno (*Pe*) e de *PVC*: diâmetro interno (mm), pressão nominal (mca) e custo do tubo (R\$/m). Com todos os comprimentos (*L*) e custos (*C*) dos tubos, logo após o desenho da rede, já se obtém o custo total das tubulações.

As válvulas empregadas no dimensionamento têm a função de controlar as unidades em operação com a abertura e fechamento total. As unidades em funcionamento têm suas válvulas abertas. O custo da válvula é obtido em função do seu diâmetro e sua classe de pressão. O custo total das válvulas é obtido por (Equação 2):

$$C_{VAL} = \sum C_i V_i \quad (2)$$

Poderão ser inseridos até seis diâmetros de válvulas (Figura 7).

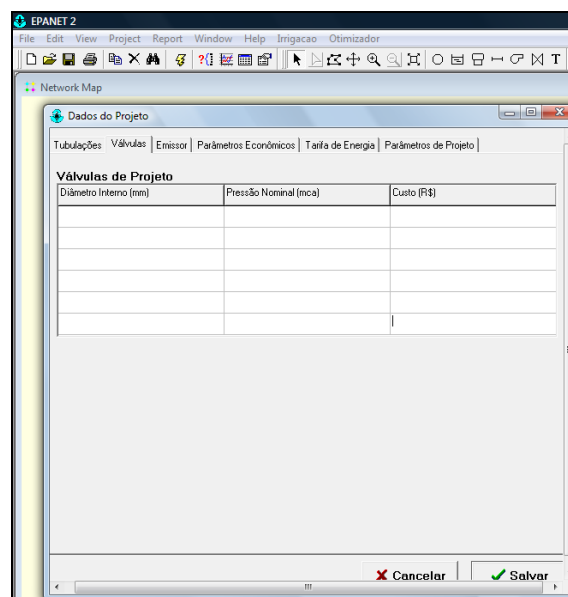


Figura 7. Entrada de dados de válvulas comerciais aplicáveis ao dimensionamento.

Com relação aos emissores são necessárias as seguintes informações: pressão nominal (mca), vazão respectiva (L/h), diâmetro molhado (m),

coeficiente de variação de fabricação e custo do emissor (Figura 8). Atualmente o modelo só utiliza no dimensionamento os dados de custo e do coeficiente de variação de fabricação. O coeficiente e expoente da equação do emissor são inseridos diretamente no EPANET, mas pretende-se que no futuro esses parâmetros sejam obtidos diretamente dos dados do emissor. Assim como, os parâmetros da equação do diâmetro molhado poderão ser obtidos.

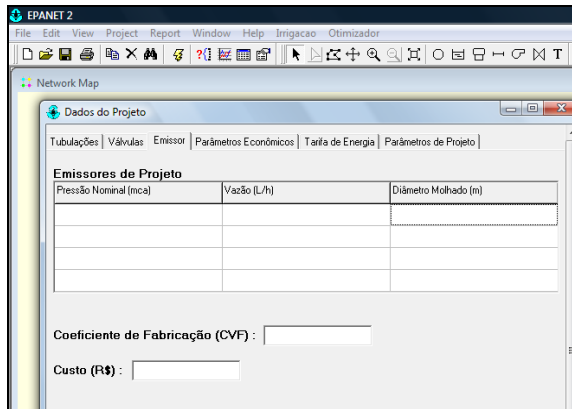


Figura 8. Entrada de dados do emissor.

Para calcular o custo dos emissores o modelo computa o número de emissores (N_{em}) com o coeficiente de descarga fornecido na entrada de dados. Sabendo-se do custo unitário (C_{em}), através da Equação 3, obtém-se o custo total dos emissores.

$$C_{EMIS} = \sum C_{em} N_{em} \quad (3)$$

Os custos fixos ou de investimentos compreendem os custos com tubulações, emissores, válvulas, sistema de bombeamento e sistema de filtragem (Equação 4). Esses são amortizados (F_a) anualmente sendo necessários os dados sobre tempo de amortização e taxa de juros (Figura 9).

$$C_{INVEST} = (C_{TUB} + C_{EMIS} + C_{VAL} + C_{SB} + C_{SF}) F_a \quad (4)$$

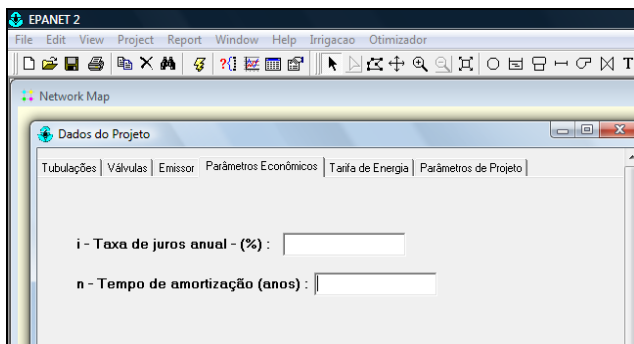


Figura 9. Entrada de dados relacionados aos custos financeiros do projeto.

Os custos operacionais com energia elétrica poderão ser obtidos com diferentes tarifas, com ou sem desconto, que foram consideradas como tarifa normal e tarifa reduzida (Figura 10). A tarifa

reduzida é usada no cálculo do custo com o tempo de irrigação no período do dia de menor tarifação e o tempo que ultrapassar será usado na tarifa normal. Caso não haja a possibilidade de redução de tarifa, as duas terão o mesmo valor inserido. O valor da tarifa da demanda será inserido após a obtenção do dimensionamento final do sistema.

O custo operacional (C_{op}) devido ao consumo de energia é obtido pela Equação 5. Onde N_{di} – estimativa do número de dias irrigados ao ano; C_E - custo da tarifa de energia elétrica em $\$ kW^{-1} h^{-1}$; T_I - tempo total diário de irrigação com tarifa reduzida, h; e P_{OT} - potência requerida pelo sistema de bombeamento, kW.

$$C_{OP} = C_E T_I N_{di} P_{OT} \quad (5)$$

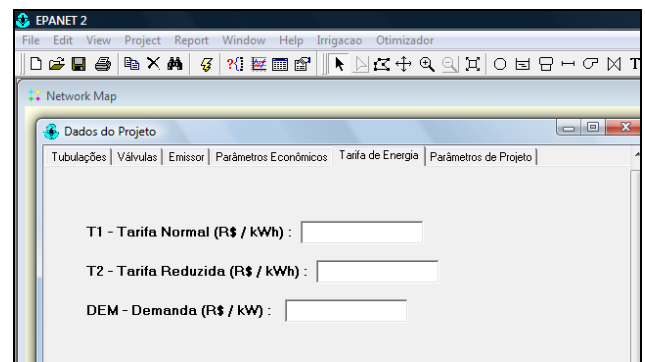


Figura 10. Entrada de dados relacionados ao custo da energia elétrica.

Na Figura 11 são apresentados alguns parâmetros importantes relacionados ao dimensionamento e à operação do sistema de irrigação.

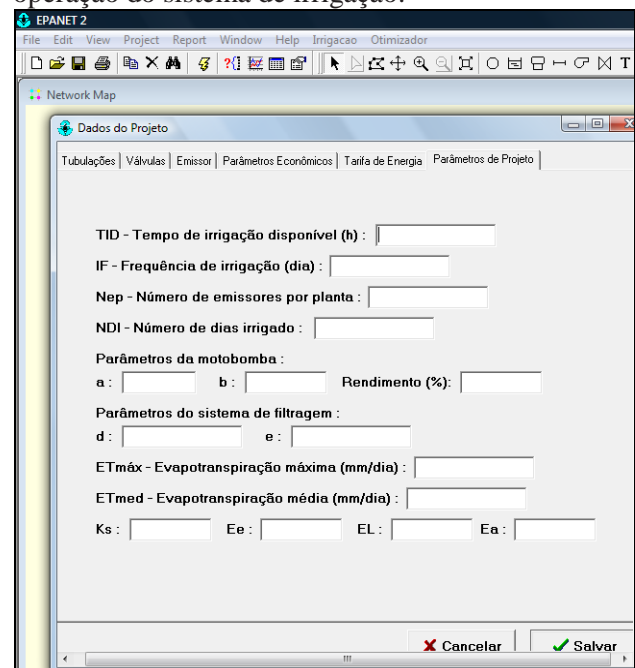


Figura 11. Entrada de dados relacionados a parâmetros de operação e custos de equipamentos.

As principais informações são: tempo disponível diário de operação (h), frequência de irrigação (dia), número de emissores por planta, número de dias irrigados por ano, parâmetros para o cálculo do custo do conjunto motor-bomba, parâmetros para o cálculo do custo do sistema de filtragem, evapotranspiração máxima (mm/dia), evapotranspiração média (mm/dia), coeficiente de sombreamento (Ks), espaçamento dos emissores na linha (Ee) em m, espaçamento dos emissores entre linhas (EL) em m e eficiência de aplicação (Ea) em %. Os parâmetros do conjunto motor-bomba e do sistema de filtragem devem ser obtidos para um modelo potencial com os dados do mercado. Caso não se deseje esses custos pode-se inserir o valor zero para os mesmos.

Desenhada a rede e concluída a entrada de dados o EPANET-IRRIG já permite fornecer alguns dados importantes sobre os custos da rede antes mesmo de se executar uma simulação. Executando-se uma simulação os dados relativos aos custos com a operação (energia elétrica) e dos equipamentos, cujos custos dependem de resultados da simulação (ex. conjunto motor-bomba, sistema de filtragem), são apresentados (Figura12). Para obtenção da potência requerida do sistema de bombeamento o modelo utiliza a cota piezométrica no início da tubulação principal do sistema e a vazão que escoar nessa tubulação. Desse modo, no dimensionamento o projetista provoca variações na cota do reservatório de nível fixo para obter as pressões, vazões e tempos de operação desejados. Ou seja, a pressão de operação do emissor, os limites de variação de pressão de uma unidade operacional e o tempo de irrigação total.

| ITEM | CUSTO (R\$) | (%) |
|-------------------|------------------|------------------|
| 1. SISTEMA : | 694.217115137934 | 59.9545922673613 |
| - TUBULAÇÕES | 2133.2 | 41.7496950385811 |
| - VÁLVULAS | 600 | 11.7428356568295 |
| - EMISSORES | 1792 | 35.0719358283974 |
| - CONJ. MOTOBOMBA | 421.736634086666 | 8.25397330757357 |
| - SIST. FILTRAGEM | 162.561765910500 | 3.18156016861847 |
| 2. OPERAÇÃO : | | |
| - ENERGIA | 463.687707301929 | 40.0454077326387 |
| 3. CUSTO TOTAL : | 1157.90482243986 | 100 |

Figura 12. Relatório dos custos do sistema após uma simulação.

Na Figura 13 são apresentados os parâmetros de avaliação do sistema de irrigação como a uniformidade de emissão e a variação de vazão.

| ITEM | VALOR |
|---|-------|
| Uniformidade de emissão (%) | |
| Variação de pressão na subunidade (%) | |
| Variação de vazão na subunidade (%) | |
| Número de subunidades | |
| Número de unidades operacionais | |
| Tempo de irrigação por UO (h) | |
| Tempo de irrigação diário (h) | |
| Pressão média de operação (mca) | |
| Potência necessária (KW) | |
| Volume aplicado por planta diário (L/dia) | |
| Número de dias irrigados (dia) | |
| Pressão Média do Emissor (mca) | |
| Vazão Média do Emissor (L/h) | |

Figura 13. Relatório com indicadores de desempenho do dimensionamento e operação do sistema.

Além dos custos do sistema o EPANET-IRRIG fornece um relatório final da operação que proporciona ao projetista uma avaliação do dimensionamento realizado em termos de performance hidráulica do sistema e das condições gerais da condução da irrigação. Dessa forma, essa funcionalidade permite que sejam avaliados não apenas os novos projetos, mas também sejam avaliados os sistemas em uso serve como importante ferramenta para a reabilitação de redes de irrigação.

EXECUTANDO O MODELO

O modelo inicialmente foi testado em projetos de sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e microaspersão para avaliação do EPANET-IRRIG. Embora ainda existam diversas limitações a serem eliminadas, o modelo já permite auxiliar o dimensionamento e avaliação de sistemas.

Uma das vantagens do modelo está principalmente na facilidade de modelagem e na obtenção de custos discriminados em termos absolutos e percentuais, possibilitando uma análise mais detalhada do projeto.

Para ilustrar o uso do EPANET-IRRIG apresenta-se um exemplo de dimensionamento de sistema de microaspersão com seis subunidades.

Dados de entrada:

- Espaçamento entre linhas: 7 m
- Espaçamento entre plantas na fileira: 7 m
- Equação de perda de carga: Hazen-Williams

- Comprimento da linha lateral: 35 m
- Comprimento da linha de derivação: 42 m
- Área irrigada por subunidade: 0,3430 ha
- Área irrigada total: 2,058 ha
- Número de emissores por planta: 1
- Coeficiente do emissor: 0,3795
- Expoente do emissor: 0,4841
- Coeficiente de variação de fabricação: 0,05
- Custo do emissor: R\$ 3,00
- Número de emissores: 420
- Número de dias irrigados: 300

Nas Figuras 14, 15, 16 e 17 estão apresentados os principais resultados do dimensionamento. Pode-se observar que os relatórios gráficos do EPANET não foram modificados.

Com base nas informações geradas pelos relatórios de dados da hidráulica do sistema e dos custos, o projetista pode promover os ajustes na rede para que

se obtenha os objetivos desejados em termos de performance e de custos.

Na Figura 16 tem-se a representatividade dos custos do sistema, demonstrando que os componentes do sistema são responsáveis por 73,5% do custo total e a energia 26,5%. Enquanto, na Figura 17 verifica-se que o sistema tem elevada uniformidade de emissão (92,6%), consequência da baixa variação de pressão e vazão dos emissores. Esses dois relatórios são, portanto, as principais funcionalidades do EPANET-IRRIG, pois possibilita de forma rápida e simplificada uma análise do dimensionamento.

Uma interface para construção de um módulo de otimização já foi criada, sendo desafio para o futuro o desenvolvimento dessa ferramenta, inicialmente idealizada para a técnica de algoritmos genéticos (Figura 3).

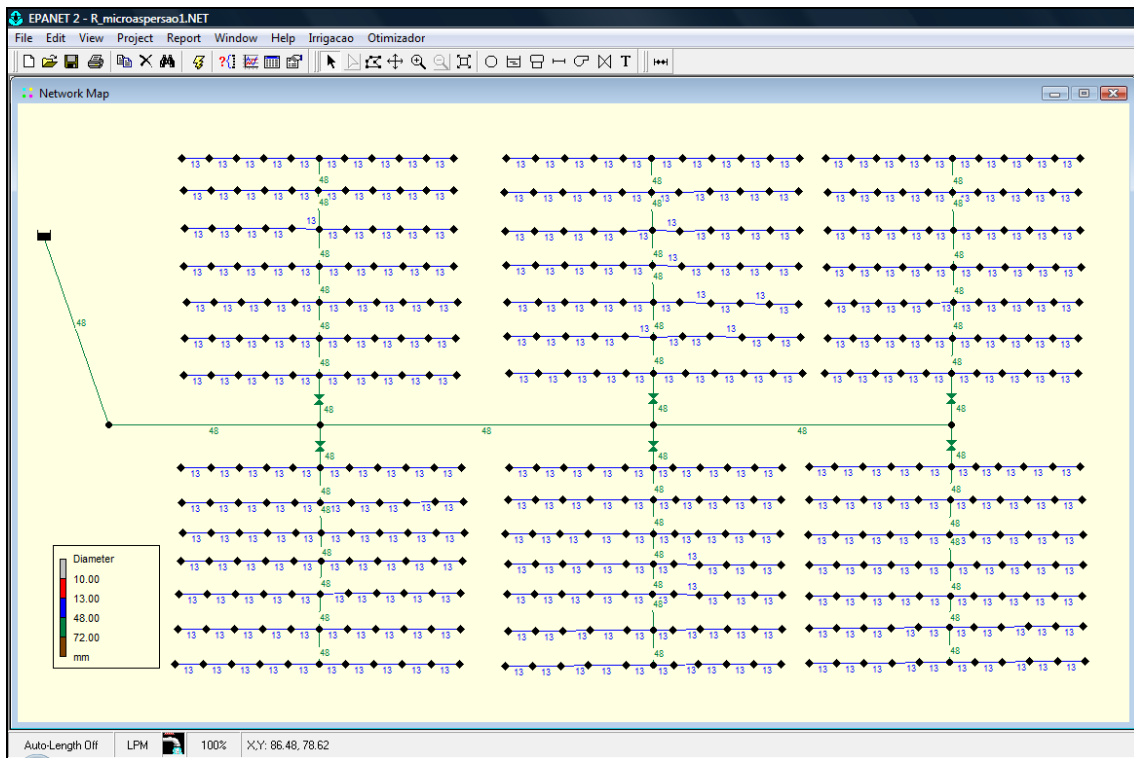


Figura 14. Diâmetros (mm) do dimensionamento do sistema.

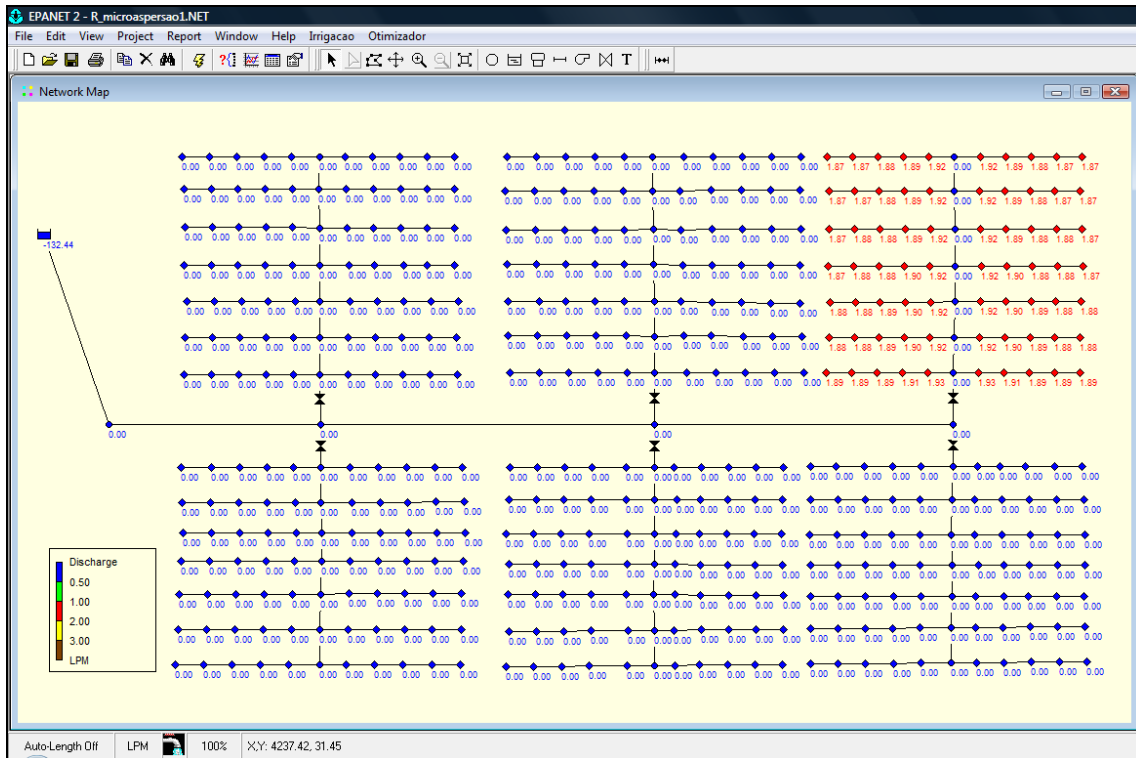


Figura 15. Descarga (L/min) dos emissores no sistema.

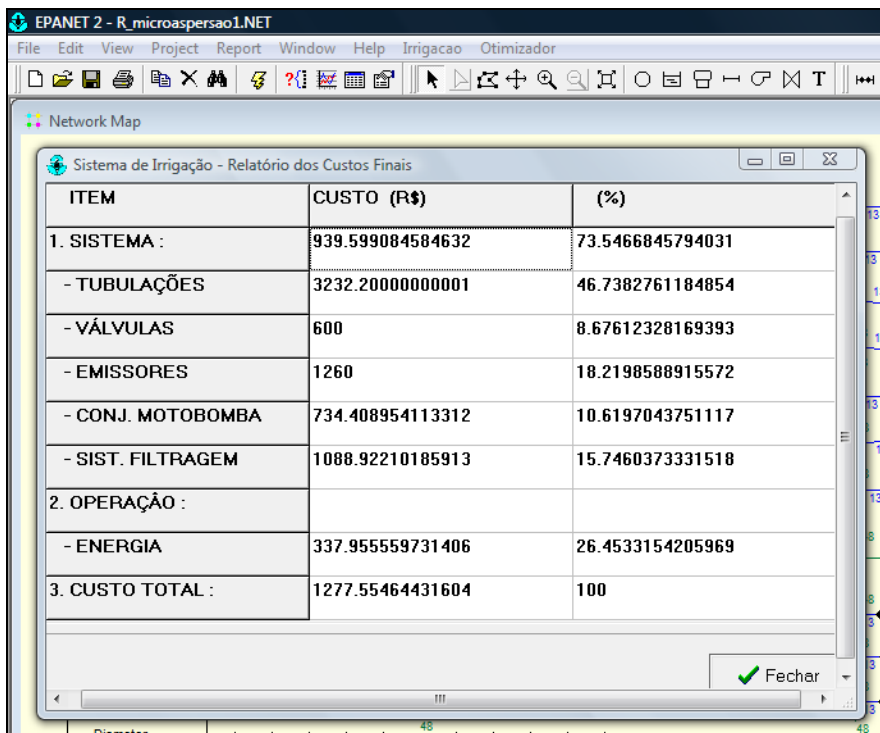


Figura 16. Apresentação dos custos do sistema.

The screenshot shows the EPANET 2 interface with a window titled 'Epanet Irrig - Relatório Final de Operação'. The window contains a table with two columns: 'ITEM' and 'VALOR'. The table lists various operational parameters and their corresponding values.

| ITEM | VALOR |
|---|------------------|
| Uniformidade de emissão (%) | 92.6630139172209 |
| Varição de pressão na subunidade (%) | 6.38596495686686 |
| Varição de vazão na subunidade (%) | 3.07425195703835 |
| Número de subunidades | 6 |
| Número de unidades operacionais | 1 |
| Tempo de irrigação por UO (h) | 1.91859135428426 |
| Tempo de irrigação diário (h) | 11.5115481257056 |
| Pressão média de operação (mca) | 27.6186852046422 |
| Potência necessária (kW) | 1.44209223768446 |
| Volume aplicado por planta diário (L/dia) | 217.777777777778 |
| Número de dias irrigados (dia) | 300 |
| Pressão Média do Emissor (mca) | 27.6186852046422 |
| Vazão Média do Emissor (L/h) | 113.53812396722 |

Figura 17. Resultados operacionais do dimensionamento do sistema.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de técnicas e de modelos computacionais é impulsionado pela melhoria dos projetos de sistemas de distribuição de água, visando o uso mais racional de recursos financeiros, naturais e humanos. O EPANET destaca-se por sua capacidade de cálculos, simplicidade de uso e ser um software livre, o que tem motivado sua utilização em grande escala nos projetos de sistemas de abastecimento. No entanto, quando se trata de redes para irrigação isso não se verifica, por dois motivos principais, o desconhecimento dos técnicos da potencialidade do software e das limitações do software para irrigação. Diversos modelos ou funcionalidades foram acoplados ao EPANET com finalidades variadas, mas para fins de irrigação não se tem observado esses procedimentos.

Considerando-se as vantagens do EPANET, procurou-se inserir ferramentas que proporcionassem maior aplicabilidade para o dimensionamento e análise de sistemas de irrigação. Essas novas funcionalidades deram origem ao que se denominou EPANET-IRRIG. Esperasse com isso, promover o uso mais efetivo do software para o dimensionamento de novos sistemas de irrigação pressurizados ou na avaliação da performance dos sistemas. Os primeiros experimentos realizados permitem afirmar que o modelo facilita a

modelagem de sistemas de irrigação e a realização de cálculos de indicadores hidráulicos e econômicos possibilita a realização de dimensionamentos mais precisos. Em se tratando de uma primeira versão também foram constatadas limitações e inconsistências que deverão ser eliminadas. O desenvolvimento de uma ferramenta de otimização é também objeto de trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro ao projeto.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba pelo apoio à participação no evento.

REFERÊNCIAS

- Ajai S.; Singh, R. P.; Mahar, P. S.; Singh, K.K. (2000). "Optimal design of tapered microirrigation submain manifold." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v. 126, pp. 371–374.
- Alperovitz, E. e Shamir, U. (1977). "Design of optimal water distribution systems." Water Resources Research, vol. 13, pp. 885-900.

- Cirilo, J. A. (1997). Programação não linear aplicada a recursos hídricos. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Organizador: Rubem Laina Porto. Editora da Universidade. UFRGS.
- Dandy, G. C. e Hassanli, A. M. (1996). “Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems.” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 122, pp. 265-275.
- Gessler, J. e Walski, T. M. (1985). Technical Report EL-85-11: Water distribution system optimization, DC, USA: U.S. Army Corps Engineers, Washington.
- Granados, A. (1990). Infraestructuras de regadíos – Redes colectivas de riego a presión. Servicio de Publicación de la E.T.S.I. de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Holzapfel, E.A. e Mariño, M.A.; Valenzuela, A. (1990). “Drip irrigation nonlinear optimization model.” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.116, pp. 479-496.
- Keller, J. e Bliesner, R. D (1990). Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lucena, K. F. M. (2005). Uso do EPANET no dimensionamento de um sistema de irrigação. V SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valencia.
- Lucena, K. F. M. e Matos, J. A. (2001). “Análise econômica em subunidades de irrigação localizada.” XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Lucena, K. F. M. (2002). “Dimensionamento e operação de sistemas de irrigação localizada considerando diferentes tarifas de energia elétrica e tempos de irrigação.” Seminário Planejamento, projeto e operação de redes de abastecimento de água, o estado da arte e questões avançadas, João Pessoa, Brasil.
- Lucena, K. F. M. (2003). Modelo de otimização para o dimensionamento e operação de sistemas de microirrigação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.
- Lucena, K.F.M.; Galvão, C.O.; Gomes, H.P.; MATOS, J.A. (2000). “Otimização de subunidades de irrigação localizada.” XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza, Brasil.
- Ravikumar, V. e Ranganathan, C.R; Bosu, S.S. (2003). “Analytical equation for variation of discharge in drip irrigation laterals.” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York v. 129, pp.295–298.
- Rossman, L. A. (2002). Manual do utilizador EPANET 2.0. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- Saad, J.C.C. e Frizzone, J.A. (1996). “Design and management optimization of trickle irrigation systems using non-linear programming.” Journal of Agricultural Engineering Research. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, v.64, pp. 109 – 118.
- Saad, J.C.C. e Mariño, M.A. (2002). “Modelos de programação linear e não linear para otimização do dimensionamento de sistemas de irrigação localizada.” XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Salvador, Brasil. pp. 978-981.
- Valiantzas, J.D. (2003). “Explicit Hydraulic design of microirrigation submain units with tapered manifold and laterals.” Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York v. 129, pp. 227–236.