

## **SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA E AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO SEM O USO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**VANESSA DE FÁTIMA GRAH<sup>1</sup>; TARLEI ARRIEL BOTREL<sup>2</sup>; ISAAC DE MATOS PONCIANO<sup>3</sup>; ANA PAULA ALVES BARRETO DAMASCENO<sup>3</sup>; CONAN AYADE SALVADOR<sup>3</sup>; DINARA GRASIELA ALVES<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doutoranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas. Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. [vanessagrah@usp.br](mailto:vanessagrah@usp.br)

<sup>2</sup> Professor Titular. Depto de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Doutorando (a) em Engenharia de Sistemas Agrícolas. Depto de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

### **1 RESUMO**

O uso econômico da água garantirá que políticas e práticas de irrigação sejam sustentáveis, para que no futuro um terço da alimentação mundial possa continuar a vir de 15% da superfície terrestre do planeta. Em algumas regiões do Brasil, existem inúmeras propriedades rurais que não possuem o fornecimento público de energia elétrica. Nesses locais, para que a agricultura irrigada moderna e automatizada possa ser introduzida é necessária a utilização de bombas e equipamentos que dispensam o emprego de energia elétrica. Diante deste cenário, idealizou-se um bombeamento da água de irrigação por um sistema de roda hidráulica associado à automação da irrigação por gotejamento a partir, apenas, de energia hidráulico-mecânica. Para isso utilizou-se o mesmo princípio do sistema de acionamento automático para aspersão em malha, desenvolvido por Grah (2011). O objetivo do presente trabalho foi demonstrar a viabilidade técnica de uma alternativa para o bombeamento de água para uma irrigação automatizada sem uso de energia elétrica. O equipamento de automação desenvolvido para aspersão em malha, também pode ser utilizado para sequenciar parcelas de irrigação localizada. Os resultados revelaram que o sequenciador automático é uma alternativa técnica viável, que pode ser aplicada em propriedades de pequeno e médio porte que não possuem disponibilidade de energia elétrica.

**Palavras-Chave:** baixo custo; inovação tecnológica; roda d'água.

**GRAH, V.F.; BOTREL, T.A.; PONCIANO, I.M.; DAMASCENO, A.P.A.B.; SALVADOR, C.A.; ALVES, D.G. ALTERNATIVE SOLUTION FOR PUMPING WATER AND AUTOMATION OF IRRIGATION SYSTEMS**

### **2 ABSTRACT**

Parsimonious use of water will ensure irrigation policies and practices are sustainable, so that into the future one third of the world's food can continue to come from just 15% of the earth's land area. In some regions of Brazil, there are many farms that have no public supply of

electricity. In these places, so that irrigated agriculture modern and automated can be introduced is necessary to use pumps and equipment that do not require the use of electricity. In this scenario, we envisioned the pumping of water of irrigation by a water wheel system associated with the automation of drip irrigation from, only hydraulic-mechanical power. For this we used the principle of automatic drive system for mesh sprinkler, developed by Grah (2011). The aim of this study was to demonstrate the technical feasibility of an alternative to pumping water for irrigation without the use of automated electricity. The automation equipment designed for mesh sprinkler can also be used to sequence portions of trickle irrigation. The results revealed that the automated sequencer is a viable alternative that can be applied to properties of small and medium businesses that do not have availability of electricity.

**Keywords:** low cost; technological innovation; water wheel

### 3 INTRODUÇÃO

A água tem sido chamada de “ouro azul”, sendo seu uso, uma questão crítica do século 21. Globalmente a irrigação é responsável por cerca de 80% do uso deste “ouro azul”, e tem sido vista como grande vilã por parte dos ambientalistas. Assim, o uso racional da água assegura que políticas e práticas de irrigação sejam sustentáveis, para garantir que no futuro um terço do alimento mundial possa continuar a vir de 15% da superfície terrestre do planeta (GREEN et al., 2006).

Em algumas regiões do Brasil, o clima não é favorável para a agricultura durante todo o ano. Nessas localidades as chuvas são deficitárias durante parte do ano e mal distribuídas, o que torna a irrigação uma técnica imprescindível para o desenvolvimento das culturas. São vários os métodos de irrigação disponíveis para serem adotados nos cultivos agrícolas, entretanto, cada sistema adapta-se melhor em situações específicas, ou seja, não existe um método melhor do que outro, mas sim sistemas de irrigação que se adaptam melhor a determinadas situações.

Segundo Ribeiro et al. (2005) o uso da irrigação localizada vem crescendo cada vez mais devido ao avanço tecnológico na agricultura irrigada que procura, sempre, métodos de irrigação que apresentem grande eficiência aliada à redução nos custos de produção, consumo de energia e economia de água.

Na ótica da agricultura sustentável, a irrigação localizada hoje é o método de maior eficiência no uso da água, o que tem atraído a atenção dos produtores. A água é aplicada por gotejadores ou microaspersores de forma pontual, somente a região da raiz é molhada. Desse modo, as perdas de água por evaporação ou deriva são minimizadas, não ocorre o molhamento tanto das partes do solo onde não há cultura plantada, quanto da parte aérea das plantas, que podem provocar doenças fúngicas, como é o caso da irrigação por aspersão. Por isso, o volume de água para irrigação localizada é menor quando comparado aos demais métodos de aplicação, sendo uma vantagem para locais onde os recursos hídricos são escassos ou que enfrentam conflitos pelo uso da água.

Os sistemas de microirrigação são os mais indicados quando se utiliza a fertirrigação (BRESLER, 1987). Tendo em vista que este método de irrigação, por aplicar a água próximo ao sistema radicular das culturas, provavelmente, conduzirá estes produtos ao local desejado. Outra vantagem desses sistemas é que podem ser manejados priorizando a aplicação da solução nutritiva a uma taxa, duração e frequência que maximize a absorção dos nutrientes

pelas plantas, minimizando a lixiviação de nutrientes fora da zona radicular (GÄRDENÄS et al., 2005).

Nogueira et al. (1998) afirmam que, devido a preocupação mundial com a questão do gerenciamento, conservação e racionamento dos recursos hídricos, tem sido recomendado, para a maioria das culturas, o uso do método de irrigação localizada, por ser mais eficiente na aplicação de água e de fertilizantes.

Um dos itens presentes em diversos sistemas de irrigação são as motobombas, equipamentos que fornecem a energia necessária ao líquido para que este possa chegar até os emissores com a pressão de serviço requerida para o funcionamento ótimo destes. Atualmente, as mais utilizadas são as bombas centrífugas movidas por motor elétrico; contudo, alguns locais não possuem disponibilidade de energia elétrica podendo então, substituir as bombas centrífugas por outros tipos de bombas que são movidas por diferentes fontes energéticas como: a solar, a hídrica ou a eólica.

Chakrabarti & Chakrabarti (2002), destacam que é crescente a busca por formas alternativas de energia em áreas rurais irrigadas. Para Ibrahim et al. (2011) a energia hídrica é a fonte de maior potencial quando comparadas com outras fontes de interesse como, células solares, geotérmica, fóssil e sistemas de energia a hidrogênio. Ainda segundo os últimos autores a energia hídrica, em pequena escala, é uma das energias de melhor custo efetivo quando considerados sistemas de energia rural.

O bombeamento por energia hídrica é uma prática muito antiga e bastante utilizada em pequenas propriedades agrícolas onde não há disponibilidade de energia elétrica. A roda d'água como forma de geração de energia hídrica, vem se apresentando como uma alternativa promissora e renovável para áreas isoladas (IKEDA et al., 2010). Adicionalmente, as bombas movidas por roda d'água apresentam alta capacidade de elevação de água, entretanto, a vazão é intermitente devido o princípio de funcionamento da bomba de pistão, a majoritariamente encontrada.

Segundo Fraenkel e Thake (2010) a diferença da energia hidráulica para os combustíveis fósseis ou do fornecimento elétrico, é que a mesma é gratuita e não possui vínculos com problemas oriundos da cadeia de abastecimento de combustível. Em comparação com energia solar e eólica, a diferença está na disponibilidade em tempo integral, dia e noite, durante todo o ano. Diante disso, verifica-se que a energia hidráulica é uma forma limpa e confiável de energia renovável, e em pequenos projetos causa impactos que podem ser desprezados.

É notório que a população rural vem diminuindo ao longo dos anos devido ao êxodo, e como consequência a mão de obra tem reduzido. De acordo com Souza (2001), a falta de mão de obra, faz com que produtores rurais optem por alternativas que tornem o trabalho no campo mais produtivo, ou seja, um menor número de pessoas no campo trabalhando por unidade de área.

Em locais com pouca disponibilidade de água é importante o parcelamento da área de irrigação, todavia, essa divisão da área leva o agricultor a gastar mais tempo mudando as parcelas que irão funcionar. Nesse contexto, a automação torna-se uma ferramenta essencial para reduzir o tempo que o produtor leva para irrigar toda a área. Contudo, nos locais sem eletrificação o uso de automação dos sistemas de irrigação torna-se limitado, uma vez que a maioria dos equipamentos de automação é acionada por energia elétrica, inviabilizando a sua implantação.

Diante do exposto, é de suma importância o desenvolvimento de tecnologias independentes de energia elétrica para que os produtores que vivem nas regiões carentes dessa

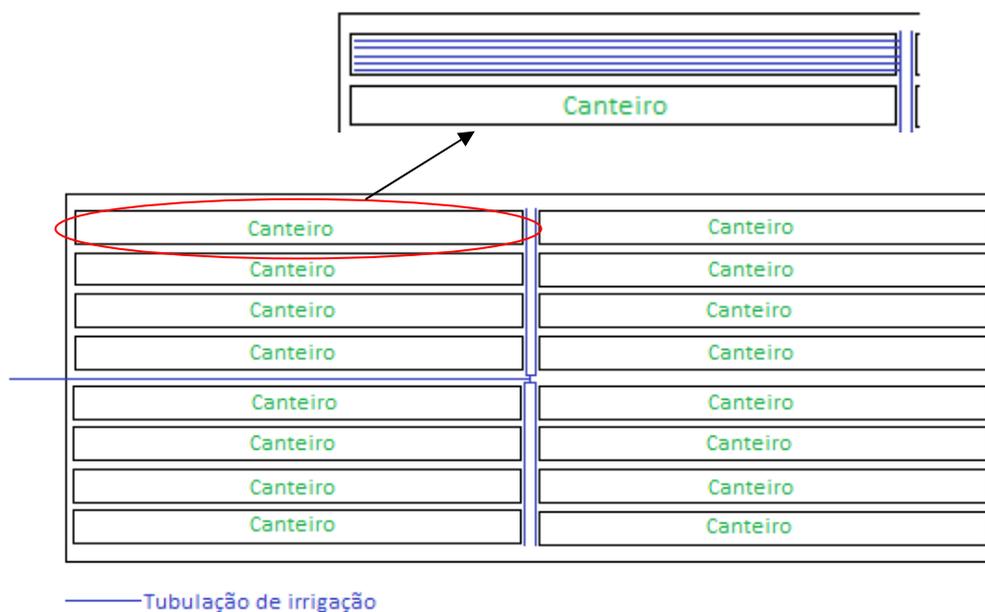
fonte energética possam usufruir de tecnologias como a automação, facilitando as atividades no campo.

De acordo com Alencar et al. (2007), automação é qualquer sistema que substitua o trabalho humano e que vise soluções rápidas e econômicas, a fim de alcançar os objetivos da agricultura. A automação dos sistemas de irrigação atualmente é a técnica fundamental para melhorar a produtividade da mão de obra no campo. Outra vantagem da irrigação automatizada é a maior disponibilidade de tempo para o agricultor planejar suas atividades.

Neste contexto, Grah (2011) apresenta um equipamento de automação sequenciada acionada apenas com energia hidráulica e mecânica, PI 1.104.434-9 (USP, 2012), como solução para essa problemática. Dessa forma, objetivou-se associar a roda d'água, como forma alternativa de bombeamento, a um sistema de automação sequenciado e sem uso de energia elétrica, a fim de demonstrar a viabilidade técnica do bombeamento da água para um sistema de irrigação automatizado e sem o emprego de energia elétrica.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, para o projeto da roda d'água, considerou-se para a determinação da demanda de água um sistema de irrigação por gotejamento, para cultura da alface em ambiente protegido. A disposição da cultura e do sistema de irrigação na estufa pode ser visualizada na Figura 1. A estufa era de 20 x 50 m e o sistema de irrigação composto por 4 parcelas, com 4 canteiros de 1,75 x 24 m. Nos canteiros as plantas estavam espaçadas em 0,35 m entre fileiras e 0,30 m entre plantas, totalizando 5 linhas laterais, com gotejadores de vazão igual a  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  e pressão de serviço de 10 m.c.a (98 kPa).



**Figura 1.** Vista em planta da estufa com a disposição dos canteiros de cultivo e do sistema de irrigação.

No cálculo do volume de água necessário diariamente para suprir a demanda do sistema de irrigação, pelo bombeamento de uma roda d'água, foi utilizado a seguinte equação:

$$VAD = Q_g \times N_{gp} \times H_i \quad (1)$$

em que:

VAD= volume de água demandada (L dia<sup>-1</sup>);

Q<sub>g</sub>= vazão do gotejador (L h<sup>-1</sup>);

N<sub>gp</sub>= número de gotejadores por parcela;

H<sub>i</sub>= horas de irrigação (h dia<sup>-1</sup>).

Ao se elaborar um projeto de bombeamento é importante analisar se a fonte de água utilizada poderá fornecer a vazão necessária para o funcionamento da roda d'água ao longo do ano, pois esta possui uma vazão mínima requerida. Por isso, ao se utilizar um manancial, como fonte de água, faz-se necessário analisar o seu potencial hídrico de abastecimento da demanda hídrica ao longo do ano. Isso pode ser feito com a utilização de uma série histórica anual de vazões médias mensais, compara-se a menor vazão mensal com a vazão de demanda do sistema e se essa for satisfatória a roda d'água selecionada pode ser utilizada sem interrupção do bombeamento por déficit hídrico.

A cota considerada do terreno onde estava instalada a roda d'água foi de 55 m e a cota no nível da lâmina de água dentro do reservatório de abastecimento da água de irrigação foi de 125 m. A cota do terreno da estufa foi de 100 m. A distância entre o manancial e a roda d'água foi considerada como sendo de 18,0 m e da mesma até o reservatório de 1.500 m. Para cálculo da vazão diária do sistema, fez-se o seguinte cálculo:

$$QD = Q_g \times N_{gp} \quad (2)$$

em que:

QD= vazão diária (L h<sup>-1</sup>);

Com os dados de volume diário e altura total de elevação, procedeu-se a seleção da roda d'água a partir do catálogo de uma empresa fabricante do equipamento. Para reservar a água bombeada escolheu-se um caixa d'água com capacidade acima do requerido pelo sistema de irrigação. Para isso foi determinado que a roda d'água funcionaria quatro horas para suprir a demanda de água pelas plantas, nas outras horas do dia, a vazão seria direcionada a fim de suprir as outras demandas da propriedade.

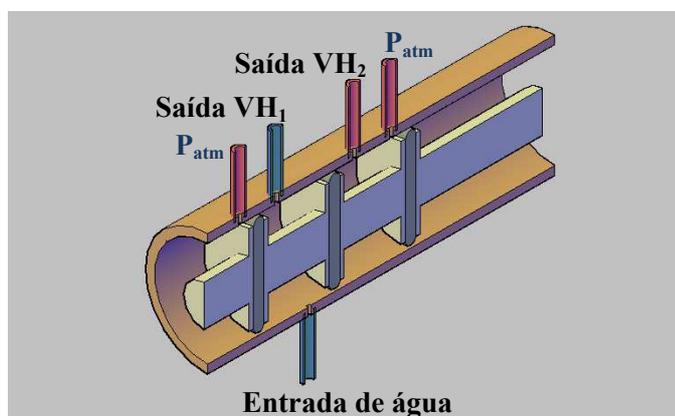
### **Fundamentações prática do equipamento de automação**

Para realizar a automação do sistema de irrigação por gotejamento, utilizou-se um sistema de acionamento automático para parcelas de irrigação, desenvolvido por Grah (2011). Foram construídos quatro protótipos no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), da Universidade do Estado de São Paulo (USP), localizada no município de Piracicaba- SP. Cada protótipo era caracterizado por diferenças construtivas na alavanca do gatilho do êmbolo da válvula de 3 vias, o que acarretou em diferentes tempos de irrigação, como será melhor abordado adiante.

Os equipamentos foram desenvolvidos utilizando-se apenas a energia hidráulico-mecânica, fundamentando o protótipo nos princípios da alavanca e do empuxo. Desse modo, o sistema tornou-se independente de energia elétrica, diminuindo os custos de instalação, operação e de manutenção. Além de automatizar sistemas de irrigação por aspersão em

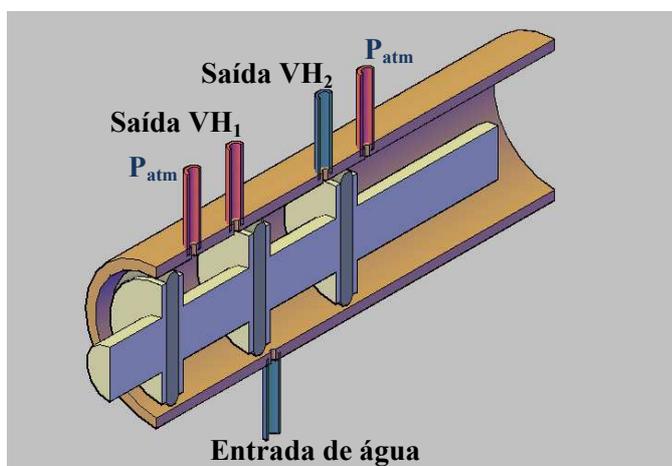
malha, como proposto por Grah (2011), o equipamento também é capaz de automatizar parcelas de irrigação, como é o objeto de estudo do presente trabalho.

Os conjuntos de automação funcionaram do seguinte modo: na tubulação no início da parcela foram instaladas duas válvulas hidráulicas (VH) em série, do tipo normalmente aberta. Para controlar a abertura e o fechamento dessas válvulas, idealizou-se uma válvula de três vias, que por meio de um acionamento hidráulico, comandava a pressão na câmara superior das VH. Esse comando era realizado da seguinte maneira: estando o êmbolo da válvula de 3 vias na posição 1 (Figura 2), a água passava pelo orifício de entrada da água (EA) e saía pelo orifício  $VH_1$  (correspondente a válvula hidráulica direita, da tubulação no início da parcela), pressurizando a mesma mantendo-a fechada. Conseqüentemente, a  $VH_2$  (válvula hidráulica instalada na parte esquerda da tubulação no início da parcela) estava sob condição da pressão atmosférica, permanecendo aberta.



**Figura 2.** Válvula de 3 vias do conjunto de automação sequenciada, na posição 1.

Quando o êmbolo estava na posição 2 (Figura 3), a água entrava por EA e saía por  $VH_2$  (válvula hidráulica instalada na parte esquerda da tubulação no início da parcela) pressurizando a mesma, mantendo-a fechada e encerrando a irrigação desta parcela. Entretanto,  $VH_1$  (correspondente a válvula hidráulica direita, da tubulação no início da parcela subsequente) ficava sob pressão atmosférica, tornando-a aberta, e iniciando a irrigação nessa parcela, que neste momento passava a ser a parcela de controle.



**Figura 3.** Válvula de 3 vias do conjunto de automação sequenciada, na posição 2.

A válvula de 3 vias foi inserida na parte superior de um pequeno reservatório de água, construído com tubulação e tampões de PVC, que continha na parte interna uma boia, a qual estava acoplada por um sistema de eixos a um gatilho conectado ao êmbolo da válvula de 3 vias. Para realizar o acionamento do êmbolo da válvula de 3 vias, a haste da boia com seu movimento no sentido vertical fazia o desarme do gatilho. Isso acontecia quando o tempo de irrigação chegava ao fim e esta haste empurrava o gatilho para cima destravando o êmbolo, e ocorrendo a troca de posição da válvula de 3 vias. Para fazer o nível d'água subir dentro do reservatório e deslocar a boia para cima, foi conectado um gotejador na parede interna do reservatório de água, obtendo-se assim um temporizador para controlar a duração da irrigação. De acordo com a vazão do gotejador e o diâmetro do tubo de PVC empregado na construção do pequeno reservatório de água, definiam-se os tempos de irrigação.

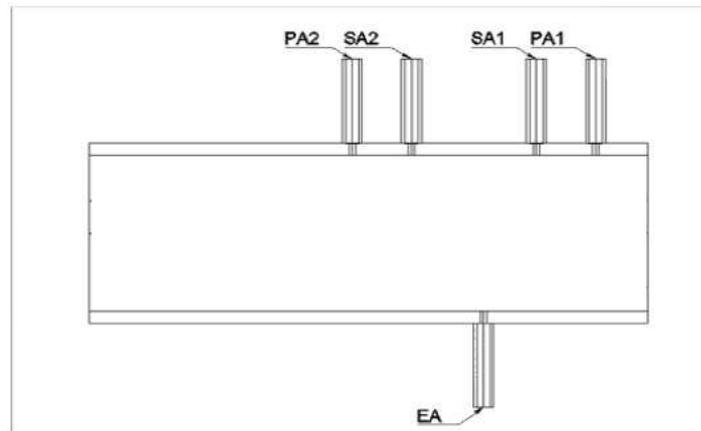
Além do sistema de boia e gatilho, outra parte constituinte do conjunto de automação é o temporizador volumétrico que possui funcionamento do seguinte modo: uma escala de tempos de irrigação (fita azul no tubo de PVC, Figura 4) foi colocada ao lado do microtubo transparente (que formava um vaso comunicante com o reservatório). Assim quando era requerida uma irrigação com duração de uma hora, preenchia-se o reservatório com água até a altura indicada pela seta do meio na escala de tempo da figura. Para uma irrigação de uma hora e meia, era necessário preencher o temporizador com água até a seta correspondente (seta mais inferior).



**Figura 4.** Detalhe do temporizador do conjunto de sequenciamento automático da irrigação.

### ***Lógica do Sequenciamento da irrigação***

Para facilitar a compreensão do funcionamento da válvula 3 vias, nomearam-se as vias de entrada e saída como descritos a seguir: uma entrada de água (EA); uma saída de água (SA1) que pressuriza a válvula hidráulica esquerda, instalada no início da parcela sob controle; uma saída de água (SA2) que pressuriza a válvula hidráulica direita; uma entrada de ar (PA1) permite que a pressão atmosférica despressurize a válvula hidráulica esquerda abrindo a mesma; uma entrada de ar (PA2), que permite que a pressão atmosférica despressurize a válvula hidráulica instalada no início da parcela subsequente, no momento de iniciar a irrigação na mesma (Figura 5).

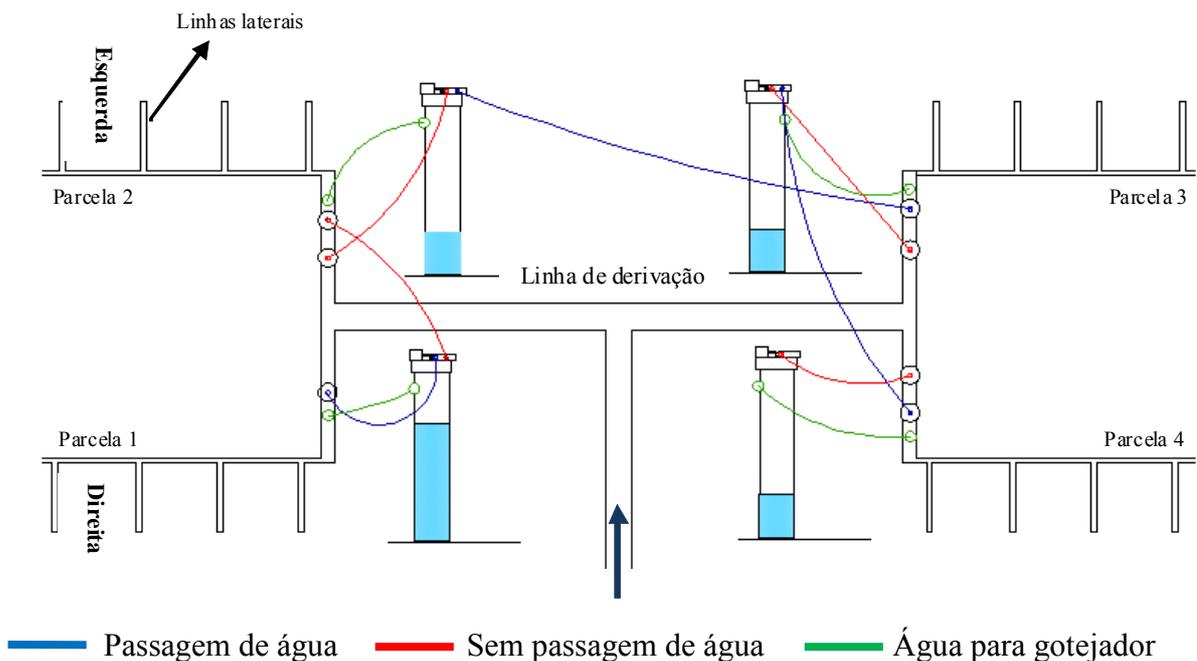


**Figura 5.** Nomenclatura dos orifícios de saída do corpo da válvula multivias.

Após a construção do sistema automático, projetou-se a lógica do sequenciamento de maneira que apenas uma parcela funcionasse por vez, para isso, fez-se as ligações entre os sequenciadores do seguinte modo, como pode ser observado na Figura 6: no sequenciador 1 (instalado na parcela 1) a SA2 estava conectada a VH esquerda da parcela 2 e a SA1 estava conectada a VH da parcela 1; no sequenciador 2 a SA2 estava conectada a VH esquerda da parcela 3 e a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 2; no sequenciador 3 a SA2 estava conectada a VH direita da parcela 4 e a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 3; no sequenciador 4 a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 4. Os gotejadores de cada sequenciador estavam conectados nas tubulações de cada parcela logo ao lado da VH esquerda e as entradas de água (EA) das válvulas de 3 vias estavam conectadas nas tubulações das parcelas logo a direita da VH direita.

Antes de iniciar a irrigação era necessário que todos os sequenciadores estivessem engatilhados, ou seja, com o êmbolo da válvula de 3 vias na posição 1. Desse modo, a única parcela a funcionar foi a primeira, as outras permaneciam fechadas, pois cada válvula de 3 vias pressuriza a VH esquerda da parcela seguinte. Também era necessário que o reservatório do sequenciador estivesse preenchido com água até a altura correspondente ao tempo de irrigação necessário em cada parcela.

Iniciava-se a irrigação com a parcela 1 e simultaneamente o gotejador começava a encher o reservatório do temporizador do sequenciador 1. No fim do tempo de irrigação, a haste da bóia empurrava a alavanca e ocorria a troca para a posição 2 na válvula de 3 vias. Feita a troca de posição, a VH da parcela 1 era pressurizada, encerrando a irrigação na parcela 1 e, conseqüentemente, o gotejamento também parava, a câmara da VH esquerda da parcela seguinte era despressurizada, iniciando a irrigação da parcela 2 e o gotejamento no temporizador do segundo sequenciador.

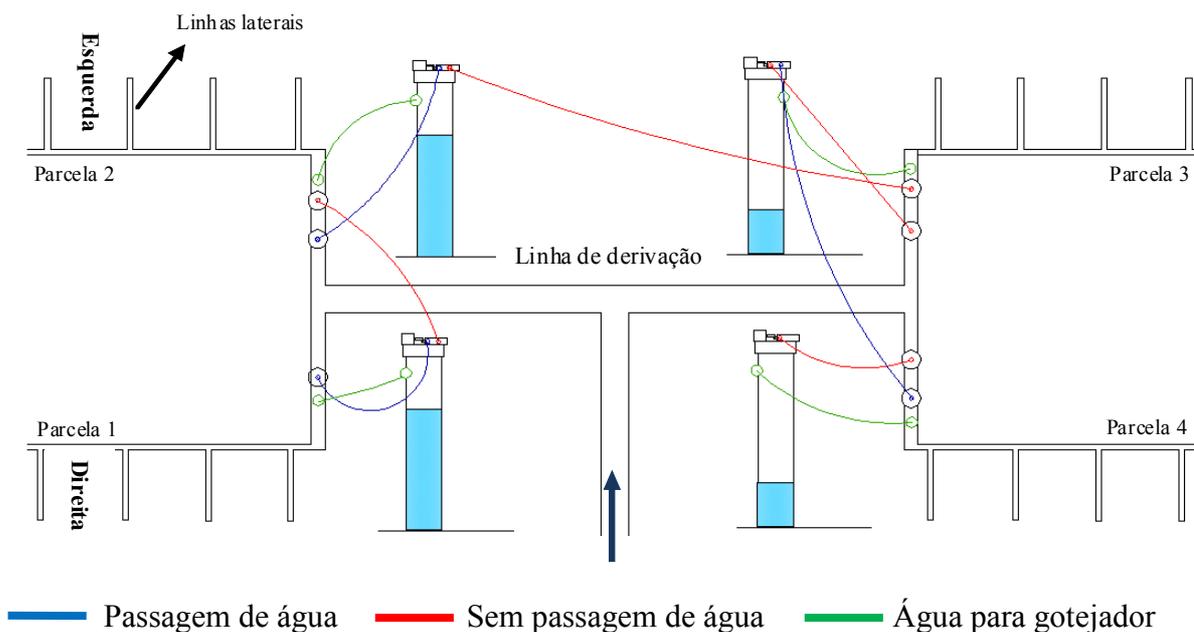


**Figura 6.** Detalhe do fim da irrigação na primeira parcela e início da irrigação na segunda parcela, do sistema de automação sequenciada.

Em seguida, o gotejador do segundo sequenciador enche o temporizador até o nível do tempo de irrigação, quando a haste da bóia empurrava a alavanca, o êmbolo da válvula de 3 vias era acionado mudando para a posição 2. Com isso, a VH direita da parcela 2 era pressurizada parando a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 2, ao mesmo tempo em que a VH esquerda da parcela 3 era despressurizada, iniciando a irrigação e o gotejamento no temporizador do sequenciador 3 (Figura 7).

A parcela 3 funcionava de forma semelhante a parcela 2. No fim do tempo de irrigação, a haste da bóia acionava a válvula de 3 vias, ocorrendo a troca de posição. Desse modo, a VH direita da parcela 3 era pressurizada e parava a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 3, ao mesmo a VH esquerda da parcela 4 despressurizava, iniciando a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 4. No presente projeto de irrigação, havia apenas quatro parcelas, mas esse sistema de automação pode ser utilizado para quantas parcelas forem necessárias.

Conforme descrito, com o sistema de sequenciamento, todo o processo de mudança de qual parcela irá proceder a irrigação se tornou automatizado. Entretanto, faz-se necessário destacar algumas das atividades que o produtor precisa fazer para colocar o sistema de automação em funcionamento. Caso a irrigação nas parcelas ocorra todos os dias, antes de iniciar o funcionamento do sistema, o produtor precisa se dirigir a cada conjunto de automação e esvaziar o reservatório do temporizador, até a altura da seta na escala de tempo, com o tempo de irrigação correspondente. Além disso, precisa colocar o êmbolo da válvula multivias na posição 1, para isso basta empurrar o êmbolo. Feito esses procedimentos em cada conjunto de automação, pode-se iniciar a irrigação das parcelas.



**Figura 7.** Detalhe do fim da irrigação na segunda parcela e início da irrigação na terceira parcela, do sistema de automação sequenciada.

### ***Sistema de automação sem energia elétrica***

A fim de demonstrar o custo aproximado da automação sem o uso de energia elétrica, fez-se uma pesquisa de preços das partes dos componentes do sistema do sequenciamento proposto. Para tanto, levou-se em consideração apenas os custos de aquisição do equipamento propriamente dito (conjunto de automação) e dos componentes necessários para o seu funcionamento, a saber: microtubos, que interligam as válvulas 3 vias do conjunto de automação com as VHs no início de cada parcela de irrigação; e válvulas hidráulicas (do tipo normalmente aberta) instaladas em cada parcela de irrigação. Nota-se que não foram considerados os custos de mão de obra para instalação e operação do sistema.

Em cada parcela de irrigação considerou-se um conjunto de automação, a saber: duas válvulas hidráulicas (com exceção da primeira parcela, em que foi necessária apenas uma VH), um equipamento de automação (válvula 3 vias e temporizador) e os microtubos que interligam os equipamentos. Assim, para um total de 4 parcelas de automação, foram utilizados 4 conjuntos de automação, 7 válvulas hidráulicas e a metragem total de microtubos, obtida somando-se as distâncias entre conjuntos.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na instalação do experimento na estufa determinou-se o número de gotejadores dividindo o comprimento do canteiro pelo espaçamento entre gotejadores na linha lateral, igual a 0,30 m (valor fornecido pelo fabricante), resultando em 80 gotejadores por linha lateral. Como são cinco linhas laterais por canteiro, obteve-se 400 gotejadores e, como cada parcela possuía 4 canteiros, totalizou-se 1600 gotejadores por parcela. Sabendo-se que os gotejadores possuíam a vazão igual a  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  e um tempo de irrigação por parcela, no

período crítico de demanda de água pela cultura, de uma hora, obteve-se, por meio da equação 1, o volume diário de bombeamento de 2.560 L dia<sup>-1</sup>.

De acordo com uma altura total de elevação de 70 metros e um volume diário de bombeamento igual a 2.560 L a bomba selecionada foi a MSG-42F da empresa Rochfer. A roda d'água selecionada tinha as seguintes características técnicas: altura máxima de elevação de 70 m; volume bombeado de 3.500 litros ao dia e potência de 30 RPM; diâmetro da roda de 1,10 m e caçambas de 0,13 m. No caso da propriedade, devido suas atividades agrícolas, necessitar de mais vazão além dos 3.500 L d<sup>-1</sup>, seria necessário selecionar uma bomba com maior rotação. O preço sugerido pelo fabricante de R\$ 2.375,00 (para o ano de 2011), correspondente a bomba, roda d'água e o suporte.

Para a roda d'água selecionada, a qual era acionada pela energia potencial da queda d'água sobre as caçambas da mesma, Sanjuán (1960) afirma que são aplicadas a saltos de 3 a 10 metros e pequenas vazões (até 1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) e com rendimento máximo de 75%, apresentando facilidade de instalação, recebem a água com baixa velocidade (para reduzir os choques com as lâminas) e ao atingi-las ocasionam por seu peso o movimento das mesmas, oposto ao da corrente do canal de adução.

### Automação das parcelas de irrigação

Os conjuntos de automação para sequenciamento das parcelas de irrigação, nos testes realizados por Grah (2011) para o tempo de uma hora de irrigação, apresentaram tempos calculados próximo dos obtidos pelos temporizadores volumétricos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores do tempo de irrigação obtidos na aplicação dos conjuntos de automação, sendo o tempo de irrigação teórico adotado igual a uma hora.

Conjunto de automação	1° Teste	2° Teste	3° Teste	D padrão*	Média
1	51min16s	54min 05s	65min 00s	07min 21s	56min 50s
2	50min 51s	59min 47s	55min 27s	02min 39s	52min 23s
3	59min 29s	56min 36s	57min 24s	01min 12s	58min 47s
4	49min 17s	48min17s	49min 13s	00min 02s	49min 16s

\*D padrão= desvio padrão

A aplicação do protótipo, pela análise da Tabela 1, se mostrou promissora para propriedade que não dispõe de energia elétrica, apesar dos protótipos apresentarem tempos de irrigação diferentes dos tempos calculados. As pequenas diferenças do tempo observado e do tempo calculado podem ser explicadas, em partes, pelo fato de todos os protótipos serem construídos de forma artesanal, sem qualquer tipo de processo industrial, gerando assim diferenças construtivas entre as peças (Figura 8). Todavia, mesmo considerando a rusticidade construtiva, dois dos quatro protótipos testados (1 e 3) apresentaram um erro médio inferiores a 3 min e 10 s, o que representa menos de 5,3% do tempo teórico adotado de irrigação. Na prática agrícola um desvio desta magnitude pode ser aceito sem provocar danos econômicos e ambientais de grande relevância. Porém, ressalta-se que essas diferenças observadas empiricamente podem ser minoradas com o emprego de tecnologias industriais que permitam uma confecção com baixo coeficiente de variação de fabricação entre peças semelhantes.



**Figura 8.** Detalhe da vista lateral do sistema de boia e gatilho do conjunto de sequenciamento automático da irrigação.

Outro fator que pode ter contribuído para obtenção da variação observada nos resultados de tempo de irrigação foi o preenchimento do volume inicial dos temporizadores, realizado antes do início do acionamento do sistema de sequenciamento automático. Como o piezômetro de observação do nível da água no reservatório do temporizador e a escala de graduação, também foram construídos por manufatura, qualquer erro que tenha acontecido durante a execução deste passo pode ter gerado as variações observadas no tempo de irrigação.

A Tabela 2 apresenta os valores dos componentes do sistema de automação sequenciada, por meio do conjunto de automação sem energia elétrica, para as 4 parcelas. Nota-se que na determinação do custo do conjunto de automação, foi necessário fazer uma estimativa do valor, pois o equipamento ainda não é produzido em escala comercial. Em face disto, considerando os custos de fabricação do reservatório feito em PVC, da válvula multivias de latão mais o sistema de gatilho em PVC, encontrou-se um valor aproximado de R\$85,00. Contudo, vale ressaltar que esse valor pode diminuir com a fabricação do equipamento por meio de técnicas que viabilizem a produção em escala do conjunto de automação.

A área total irrigada e automatizada em questão foi de 1.000 m<sup>2</sup>, totalizando um valor de R\$945,00. Para áreas maiores de irrigação como, por exemplo, de 10.000 m<sup>2</sup>, não se pode afirmar que o sistema de automação custaria no total, dez vezes mais. Pois, o único componente da automação que depende do tamanho da área, são os microtubos (parte de menor custo), os outros componentes (conjunto de automação e válvulas hidráulicas) que possuem maior custo de aquisição, dependem somente do número de parcelas. Assim, pode-se

afirmar que o sistema automatizado proposto, sem uso de energia elétrica, terá maior custo de aquisição quanto maior o número de parcelas de irrigação localizada.

**Tabela 2.** Custos dos componentes para uma automação com acionamento hidráulico-mecânico e custo total da automação para as 4 parcelas.

Quantidade	Componentes para automação sem energia elétrica	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
7	Válvulas hidráulicas	80,00*	560,00
30m	Microtubos	1,50*	45,00
4	Conjunto hidráulico-mecânico	85,00	340,00
<b>Total</b>			<b>945,00</b>

\*Média dos valores de mercado, orçamento realizado em 2011.

Além dos custos dos equipamentos, ainda pode-se fazer algumas considerações sobre o conjunto de automação:

- a) A instalação dos conjuntos hidráulicos-mecânicos é mais simples e barata, quando comparada com uma automação com energia elétrica, pois não necessitaria de mão de obra especializada, tendo em vista que não há componentes eletrônicos, fazendo-se necessário apenas das conexões entre microtubos que interligam as válvulas 3 vias e as VHS.
- b) Pode-se ainda prever, que a operação e manutenção dos equipamentos hidráulico-mecânicos são mais econômicas e fáceis do ponto de vista técnico. Por se tratar de equipamentos simples e robustos, são menos suscetíveis a ação das intempéries, além disso, não desligam quando não há energia elétrica. Em contrapartida a automação convencional por ser constituída de componentes frágeis como cabos flexíveis, necessita de maiores cuidados, dificulta a execução das práticas culturais necessárias no decorrer do ciclo da cultura, e são susceptíveis a problemas no fornecimento de energia elétrica.

## 6 CONCLUSÃO

O equipamento de automação desenvolvido para aspersão em malha, também pode ser utilizado para sequenciar parcelas de irrigação localizada. Demonstrando que o sequenciador automático é uma alternativa técnica viável, de fácil operação e manutenção, que pode ser aplicada em propriedades de pequeno e médio porte que não possuem eletrificação. Do mesmo modo, a roda hidráulica é uma alternativa para bombeamento de água para irrigação em propriedades sem energia elétrica.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F.F. da; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; PIZZILOLO, T.A.; OLIVEIRA, R.A. de. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 109-118, abr./jun. 2007.

BRESLER, E. Trickle-drip irrigation. Principles and application to soil-water management. **Advances in Agronomy**, 29, p.343-393, 1987.

CHAKRABARTI, S. CHAKRABARTI, S. Rural electrification programme with solar energy in remote region-a case study in an island. **Energy Policy**, v.30, p. 33-42, 2002

FRAENKEL, P.; THAKE, J. **Dispositivos de Elevación del Agua**. 3ª Ed. México: Alfaomega, 2010. 352 p.

GÄRDENÄS, A. I.; HOPMANS, J. W.; HANSON, B. R.; SIMÛNEK, J. S. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.74, p. 219-242, 2005.

GRAH, V. F. **Desenvolvimento de um sistema hidráulico-mecânico para o acionamento sequenciado da irrigação por aspersão em malha**. 2011. 67 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GREEN, S. R.; KIRKHAM, M. B.; CLOTHIER, B. E. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v.86, p. 165-176, 2006.

IBRAHIM, G.A.; CHE HARON, C.H.; AZHARI, C.H. Sustainable rural energy: tradicional water wheels in Pandang (PWWp, Indonesia). **Int. J. Renewable Energy Technology**, v. 2, n. 1, p. 23-31, 2001.

IKEDA T, LIO S, TATSUNO K. Performance of nano-hydraulic turbine utilizing waterfalls. **Renew Energy**, v. 35, p. 293-300, 2010.

NOGUEIRA, L.C.; NOGUEIRA, L.R.Q.; MIRANDA, F.R. Irrigação do coqueiro. In: FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa/SPI; Aracaju: Embrapa/CPATC, 1998. p.159-187.

SANJUÁN, R. **Elementos de Hidráulica general y aplicada con Motores hidráulicos**. Quinta Edição. Barcelona: Labor, 1960. 630 p.

SOUZA, R.O.R.M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais**. 2001. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M.J.M. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2005, vol.9, n.4, pp. 450-456. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400002>.

Nogueira et al. (1998)

TESTEZLAF, R. MATSURA, E.E. FERNANDES, A.T.L. & CÂNDIDO, D.H. **Técnicas, Usos e Impactos**. Capítulo 12: Sistemas automáticos de controle em irrigação. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2002. Disponível em : <<http://webensino.unicamp.br/disciplinas/FA876-055506/apoio/14/Automa.pdf>> Acesso em: 29 de junho de 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (São Paulo) . T.A. Botrel, F.C. Mendonça, V.F. Grah . Dispositivo de acionamento de válvula de três vias e sistema de acionamento hidráulico-mecânico para controle automático de sistemas de condução de água. n.PI 1.104.434-9. 14 out . 2011. **Revista da Propriedade Industrial**. Seção I, Rio de Janeiro, n. 2143, p. 65, 2012.