

Sete Lagoas, MG / Setembro, 2024

## Componentes de um sistema inteligente de irrigação por pivô central



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 1518-4277 / e-ISSN 0000-0000

# **Documentos 280**

Setembro, 2024

## **Componentes de um sistema inteligente de irrigação por pivô central**

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade  
Paulo Emílio Pereira de Albuquerque  
Edson José Rennó Ribeiro  
Lucas Rennó Ribeiro*

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Sete Lagoas, MG  
2024

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rodovia MG 424, KM 65  
Caixa Postal 151  
35701-098 Sete Lagoas, MG  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>  
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

**Comitê Local de Publicações**

**Presidente**

*Maria Marta Pastina*

**Secretário-executivo**

*Antônio Carlos de Oliveira*

**Membros**

*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso  
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e  
Maria Cristina Dias Paes*

**Edição executiva**

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

**Revisão de texto**

*Antonio Claudio da Silva Barros*

**Normalização bibliográfica**

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)*

**Projeto gráfico**

*Leandro Sousa Fazio*

**Diagramação**

*Márcio Augusto Pereira do Nascimento*

**Foto da capa**

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*

Publicação digital: PDF

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Nome-síntese da Unidade catalogadora

---

Componentes de um sistema inteligente de irrigação por pivô central / Camilo de  
Lelis Teixeira de Andrade ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo,  
2024.

PDF (17 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, e-ISSN 000-  
0000; 280).

1. Irrigação por aspersão. 2. Equipamento de irrigação. 3. Sustentabilidade. I.  
Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de. II. Albuquerque, Paulo Emílio Pereira de. III.  
Ribeiro, Edson José Rennó. IV. Ribeiro, Lucas Rennó. V. Série.

CDD (21.ed.) 631.7

---

*Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)*

©2024 Embrapa

## Autores

---

### **Camilo de Lelis Teixeira de Andrade**

Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

### **Paulo Emílio Pereira de Albuquerque**

Engenheiro agrícola, doutor em Manejo de Irrigação, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

### **Edson José Rennó Ribeiro**

Engenheiro eletricitista, tecnologia, IoT, engenheiro da ATIVA Soluções Tecnológicas Ind. Com. S.A., Santa Rita do Sapucaí, MG

### **Lucas Rennó Ribeiro**

Engenheiro eletricitista, tecnologia, IoT, engenheiro da ATIVA Soluções Tecnológicas Ind. Com. S.A., Santa Rita do Sapucaí, MG.

## Apresentação

---

A maior parte da produção de grãos no Brasil ocorre no regime de sequeiro, estando, portanto, sujeita às instabilidades do regime de chuvas. Para garantir segurança alimentar para a população do Brasil e do mundo, o uso da irrigação é indispensável. Em termos médios, utilizar irrigação costuma dobrar a produtividade das culturas. Porém, como a água é um recurso limitado, apresentando escassez e conflitos pelo uso em muitas regiões, o seu manejo eficiente é crucial. Adicionalmente, o custo da energia, os requerimentos de eficiência e as preocupações ambientais têm aumentado. Espera-se, portanto, que os usuários de água e energia empreguem soluções inteligentes para tornar os sistemas irrigados mais sustentáveis.

A maioria dos sistemas de irrigação é baseada em uma rede de tubulações que inclui uma ou mais bombas trabalhando a velocidades constantes, e o

controle de vazão e o destino da água são feitos por meio da abertura manual de válvulas.

Dentre os sistemas de irrigação por aspersão existentes hoje no Brasil, os pivôs centrais representam a maior área. São 25.292 máquinas cobrindo uma área de 1.612.617 hectares. A maioria do equipamento, entretanto, demanda mão de obra para ligar e desligar e para supervisionar a operação, uma vez que podem ocorrer problemas como falta de energia, parada súbita ou desalinhamento da lateral. Como os equipamentos inteligentes já apresentam um bom nível de autonomia na operação e há no mercado tecnologia disponível, a sua automação completa fica facilitada.

A indicação dos sensores, e eventuais atuadores, necessários para implementar a irrigação inteligente em um pivô central, ainda requer esclarecimentos, que serão mostrados neste Documento.

Frederico Ozanan Machado Durães  
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

## Sumário

---

<b>Introdução</b>	8
<b>Componentes na estação de bombeamento</b>	8
<b>Componentes de monitoração de nível</b>	8
<b>Monitoração de nível em poços artesianos ou profundos</b>	10
<b>Monitoração de pressão</b>	11
<b>Monitoração de vazão</b>	11
<b>Componentes de controle de fluxo</b>	12
<b>Componente de variação de velocidade da motobomba</b>	14
<b>Componente de monitoração de corrente e tensão de motores elétricos</b>	14
<b>Componentes na adutora</b>	14
<b>Componentes na torre central do pivô</b>	14
<b>Componentes na lateral do pivô</b>	15
<b>Outros componentes relevantes</b>	15
<b>Sistema de manejo da irrigação</b>	15
<b>Plataforma de gerenciamento da operação do pivô central</b>	15
<b>Geração fotovoltaica de energia</b>	15
<b>Considerações finais</b>	16
<b>Referências</b>	16

## Introdução

A população mundial deverá atingir 9,7 bilhões de habitantes até 2050 (População [...], 2023), o que demandará um aumento no suprimento de alimentos. A maior parte da produção de grãos do Brasil ocorre no regime de sequeiro, estando sujeita às condições climáticas favoráveis, ao volume e à distribuição de chuvas regulares e às temperaturas normais, para ser bem-sucedida.

Para garantir segurança alimentar para a população mundial, o uso da irrigação é indispensável, inclusive no Brasil. Em termos médios, o uso da irrigação costuma dobrar a produtividade das culturas (Estadão, 2022).

Como a água é um recurso limitado, o seu manejo eficiente é crucial. Adicionalmente, o custo da energia, os requerimentos de eficiência e as preocupações ambientais exigem que os usuários de água e energia empreguem soluções inteligentes para tornar os sistemas irrigados mais sustentáveis.

Um dos agravantes é o aquecimento global, que impõe novos desafios aos usuários de água e energia. A eficiência energética ainda é o modo mais eficaz e econômico de combater o aquecimento global e os desafios no suprimento de energia (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

A maioria dos sistemas de irrigação é baseada em uma rede de tubulações que inclui uma ou mais bombas hidráulicas trabalhando a velocidades constantes, com o controle de vazão e o destino da água sendo feitos através da abertura manual de válvulas. Apesar de funcionar, esse sistema não é energeticamente o mais eficiente, pois é necessário abrir e fechar as válvulas manualmente, de acordo com a demanda, além de estar suscetível a frequentes quedas de energia e picos de tensão das companhias elétricas.

Dentre os sistemas de irrigação por aspersão disponíveis no Brasil, os pivôs centrais são os que apresentam o maior grau de automação. Entretanto, a maioria opera de forma manual para ligar e desligar o sistema e para supervisionar a operação, uma vez que podem ocorrer problemas como falta de energia, parada súbita ou desalinhamento da lateral.

A indicação dos sensores, e eventuais atuadores, necessários para implementar a irrigação inteligente em um pivô central, ainda requer esclarecimentos. Com maior oferta de tecnologias, redução do custo, melhor rede de assistência técnica e maior disponibilidade de internet, em relação ao passado,

a automação de sistemas de irrigação do tipo pivô central pode ser facilitada.

Este Documento tem o objetivo de auxiliar na tomada de decisão sobre quais sensores devem compor o sistema de automação.

## Componentes na estação de bombeamento

### Componentes de monitoração de nível

A captação de água para irrigação pode ser feita em reservatórios, como açudes e represas, canais, cursos d'água e poços artesianos. Ela pode ser de forma direta, da fonte de água para o sistema, ou de forma indireta, a partir de um reservatório-pulmão ou cilíndrico. Em todos esses tipos de fonte, há a possibilidade de ocorrer falta d'água, que pode levar a danos irreparáveis à bomba. Exceto no poço artesiano, nos demais tipos de fonte pode também ocorrer elevação excessiva do nível da água, causando danos às estruturas de captação de água. Em ambos os casos, se não houver monitoração do nível da água, fica impossibilitada a total automação do sistema de irrigação.

Diferentes tipos de sensores de nível da água estão disponíveis no mercado e podem ser utilizados para monitorar, tanto falta, quanto excesso de água na fonte, entre os quais flutuadores, sondas condutoras, transdutores de pressão, transdutores ultrassônicos, borbulhadores, sensores de radar (Romtec Utilities, 2023), sensores a laser e sensores capacitivos (Metrópole Digital, 2024).

Os mais simples e de menor custo são os do tipo flutuadores. Os flutuadores mecânicos acionam um interruptor quando a haste passa da posição vertical para a horizontal. Eles são fáceis de ajustar e substituir e, além disso, podem ser inspecionados visualmente para fins de manutenção. Eles se prestam para indicar, tanto o nível máximo, quanto o mínimo da água na fonte. Outros interruptores de nível, baseados em flutuadores, são muito comuns no mercado hoje em dia.

Assim como os flutuadores, as sondas condutoras ficam suspensas dentro de um poço e entram em contato com a água. Utilizam uma série de pontos de contato que transmitem uma pequena corrente à medida que a água preenche o poço. As sondas

custam mais do que os flutuadores, pois fornecem uma solução durável. Normalmente, não são afetadas por turbulência ou acúmulo de detritos na água. São normalmente fáceis de instalar e manter porque podem ser inspecionadas visualmente.

Os transdutores de pressão (Figura 1) operam com base em uma suposição matemática básica. Se você conhece o líquido que está sendo bombeado, é possível correlacionar a pressão hidrostática com a profundidade da água. Eles utilizam um diafragma para medir a pressão do líquido num poço de estabilização e assumem sua profundidade correspondente. Podem, desta forma, transmitir informações aos controles da estação elevatória para executar as ações apropriadas. Os transdutores de pressão são extremamente precisos e podem ser ajustados com detalhes. Como exigem computação para funcionar, esse meio de detecção de nível é uma excelente opção para adicionar controles de estações elevatórias. São unidades muito robustas que, normalmente, não requerem muita manutenção, embora necessitem calibração.

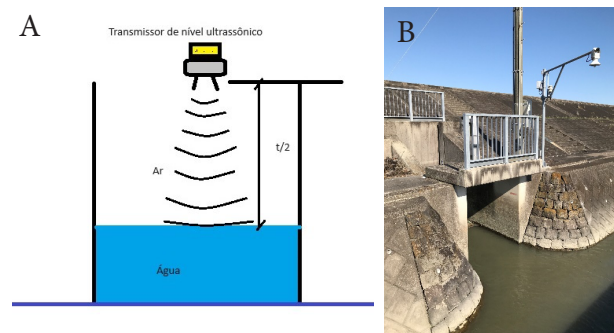


**Figura 1.** Sensor de nível baseado em transdutor de pressão.

Fonte: Lefoo Brasil (2024).

Outro tipo de sensor de nível da água é o transdutor ultrassônico, que é um dispositivo de detecção de nível confiável e robusto. Os sensores ultrassônicos não entram em contato com efluentes, tornando o desgaste uma pequena preocupação. Eles funcionam enviando ondas sonoras, com frequência de 20 a 200 kHz, que criam um eco na superfície do líquido no poço de observação. O sensor, então, mede o intervalo de tempo entre o envio do sinal e o recebimento do eco. Esse intervalo de tempo é diretamente proporcional à distância do sensor ao nível

do líquido no poço úmido. O som refletido é convertido em sinal elétrico, que pode ser armazenado ou utilizado para tomar decisões. Esse sensor pode ser extremamente preciso, mas requer manutenção adequada. O dispositivo em si é bastante confiável, mas espuma, teias de aranha, poeira, névoa e outros impedimentos podem afetar as funções normais dele. Os transdutores ultrassônicos exigem um campo de visão claro da superfície da água (Figura 2).



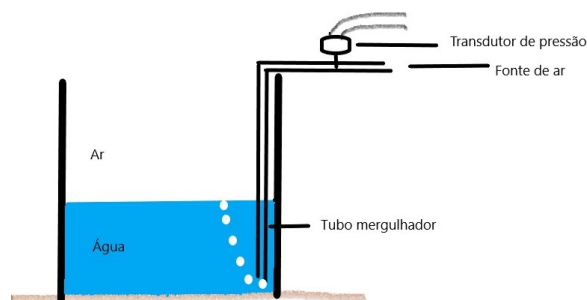
**Figura 2.** (A) Esquema de um sensor ultrassônico. (B) Sensor ultrassônico instalado para medir o nível da água.

Fonte da fotografia: Sensor ultrassônico de nível de água em dique em Kashima, Saga.jpg.

Ilustração: Camilo L. T. Andrade.

Fonte: Wikimedia Commons (2024).

Os sistemas borbulhadores são uma tecnologia simples que foi testada ao longo do tempo e comprovadamente funciona sob muitas condições. Um compressor de ar fora do poço de observação bombeia o ar através de um “tubo de imersão” que vai até o fundo do poço. À medida que o poço enche de água, o compressor deve bombear mais ar para manter o fluxo de bolhas. Outro tubo de ar sai do tubo de imersão e é conectado a um transdutor de pressão que mede o aumento da pressão do ar à medida que o poço enche. A pressão se correlaciona com o nível da água no poço. O tubo de imersão precisa ser verificado quanto a acúmulos de detritos e possíveis bloqueios que possam representar incorretamente a pressão no poço (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema de funcionamento de um sensor de borbulhamento.

Ilustração: Camilo L. T. Andrade.

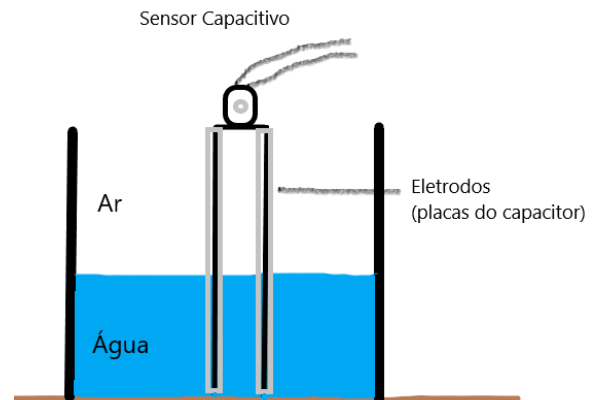


Os sensores de radar operam de maneira semelhante aos transdutores ultrassônicos. A diferença é que os dispositivos de radar utilizam ondas de rádio, na faixa de 3 a 30 GHz, em vez de ondas sonoras para criar um eco ou, neste caso, uma reflexão de onda. Os dispositivos têm a mais ampla gama de uso com diferentes tipos de água e geralmente não são afetados por mudanças de viscosidade, pH, pressão, temperatura, densidade, etc. Os dispositivos de radar não requerem manutenção pesada e podem até ser programados para ignorar objetos em seu campo de visão. Isso significa que a engenharia da estação elevatória não tem de fornecer um campo de visão 100% claro para esse dispositivo, tornando possíveis configurações simplificadas. O radar é normalmente um dos dispositivos mais caros para instalação. No entanto, os custos de operação e manutenção ao longo da vida são mais baixos e, com o tempo, podem compensar o investimento. Esses dispositivos são extremamente inteligentes. Eles não exigem recalibração frequente e podem utilizar seus sistemas operacionais para controles primários ou redundantes de estações elevatórias. No caso em que o espelho d'água da fonte é facilmente visualizado, os sensores mais utilizados são os do tipo ultrassônicos, que medem a distância entre a superfície da água e o próprio sensor (Arattano; Marchi, 2008).

O sensor a laser funciona de forma semelhante ao medidor ultrassônico (Figura 2). O nível da água é determinado com base no tempo de deslocamento de um feixe de laser, que é uma onda de luz, do sensor até a superfície da água. O sensor, posicionado na parte superior, emite um feixe de laser que é refletido pela água e, posteriormente, é detectado junto ao ponto de emissão ou do lado. O tempo gasto pelo feixe de laser para ir e voltar à superfície da água é proporcional ao nível da água. Diferentemente do sensor por radar, o medidor a laser não depende da constante dielétrica do material, no caso, a água. O feixe de laser é estreito, o que permite a medição em locais com dimensões reduzidas e, assim, reduz o problema dos falsos ecos. Esse tipo de sensor pode sofrer influência de poeira, sujeira e fumaça do revestimento do transmissor e receptor. O custo é, geralmente, elevado (Metrópole Digital, 2024).

Outro tipo de sensor de nível é o que se baseia no efeito dielétrico da água e do ar mantido entre duas placas ou dois eletrodos. Esse sistema funciona como um capacitor cuja capacitância varia com a proporção entre água e ar mantida entre os eletrodos (Figura 4). Quanto mais baixo o nível da água, menor é a capacitância do capacitor. Dessa forma, medindo-se a capacitância, estima-se o nível da

água. São instrumentos simples e de baixa manutenção. Entretanto, apresentam a desvantagem de a temperatura afetar a constante dielétrica da água, o que causa erro na estimativa do nível de água. Há possibilidade, todavia, de compensação do erro por meio da medição da temperatura da água (Metrópole Digital, 2024).



**Figura 4.** Esquema de funcionamento de um sensor capacitivo.

Ilustração: Camilo L. T. Andrade.

Um problema adicional, que pode ocorrer nos pontos de captação de água, são os fluxos de sedimentos ou *debris* que acompanham as enchentes. Sensores específicos para esse tipo de fluxo são descritos por Arattano e Marchi (2008). Entretanto, esse tipo de fenômeno deve ser antecipado com tempo suficiente para se desligar o sistema de bombeamento. Esses autores descrevem um sistema de alerta de fluxo de sedimentos que pode ser utilizado para desligar o sistema de bombeamento antes que danos sejam causados à bomba.

## Monitoração de nível em poços artesianos ou profundos

No caso de bombeamento de água de poços profundos, é crucial a monitoração do nível da água para evitar que a bomba seja acionada na ausência de água e quando o excesso de água pode ter alcançado componentes elétricos. O mais simples sensor de nível para poços ou cisternas consiste em um fio paralelo que desce até a superfície da água. Quando as duas pontas do fio tocam a água, o circuito elétrico é fechado, indicando que o espelho d'água foi atingido. Da mesma forma, quando os terminais do fio paralelo (normalmente dotado de um peso) saem da água, abrindo o circuito elétrico, indica que o nível da água baixou além do limite. Esse sensor simples pode ser utilizado para indicar

que o nível da água está abaixo de certo limite em que se poderia operar uma bomba hidráulica.

Um sensor de nível bastante utilizado, normalmente baseado em transdutor ou transmissor de pressão, é do tipo submersível, que pode ser conectado a um datalogger ou a algum controlador que toma decisões nos sistemas de irrigação inteligentes. No mercado, é possível encontrar sensores, de pequeno diâmetro, que medem a profundidade da água desde 2,5 m até 250 m. Pode ser alimentado por energia da rede elétrica ou, em regiões remotas, por energia solar. Os mais recentes empregam telemetria para, continuamente, enviar informações sobre o nível da água no poço. Geralmente são acompanhados de um sensor de falta de energia e de um atuador que liga e desliga bombas hidráulicas (Sercu, 2023).

Existe também um sensor não submersível baseado na tecnologia de ultrassom. Ele é um pouco diferente do sensor ultrassônico utilizado para medir nível em águas superficiais, pois foi projetado especificamente para medição em poços de água subterrânea. O sinal é injetado do duto do medidor para o revestimento do poço. Ele desce pelo poço, ricocheteando no revestimento, e é refletido pela superfície da água de volta ao microfone do medidor.

## Monitoração de pressão

Um dos principais atributos que deve ser monitorado em um sistema de irrigação inteligente é a pressão. Sabe-se que a variação de pressão entre o início e o final de cada ramal hidráulico não deve exceder 20% da pressão de serviço dos emissores. Portanto, controlar este atributo é crucial.

O medidor de pressão mais simples é o chamado manômetro de bourdon, que, entretanto, apresenta limitações quanto aos procedimentos de automação. Sensores eletrônicos de diversos tipos estão disponíveis no mercado, sendo os mais comuns os que se baseiam em transdutores ou transmissores de pressão (Figura 5). São simples de aplicar nos sistemas de monitoração e automação de equipamentos de irrigação e cobrem uma larga faixa de pressão de operação. Sensores de pressão podem ser empregados para, como os sensores de nível da água na fonte, detectar falta d'água e, assim, atuar para evitar danos à bomba. Alterações na pressão de projeto podem indicar vazamentos ou entupimentos na rede hidráulica. Transdutores de pressão podem ser associados a controladores de velocidade de rotação da bomba e, com isso, refinar

a operação do sistema de irrigação, economizando água e energia.

A seleção de transdutores de pressão para sistemas de irrigação inteligente deve considerar os seguintes critérios (ADM Instrument Engineering, 2023): a) A faixa de operação; a maioria opera abaixo de 60 bar. b) Material das partes em contato com a água, que deve ser resistente à corrosão. c) Alta proteção contra intempéries. d) Saída elétrica de 4-20 mA, que é mais adequada para cabos longos.



**Figura 5.** Transmissor de pressão de água de tamanho reduzido.

Fonte: Lefoo Brasil (2024).

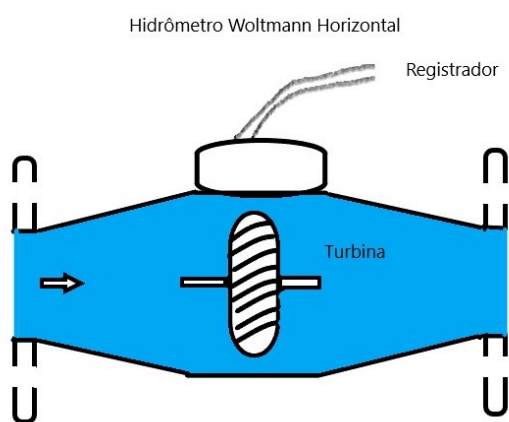
## Monitoração de vazão

Assim como a pressão, a vazão é um atributo importante para o bom desempenho dos sistemas de irrigação. Uma regra na concepção do projeto de irrigação é que a variação da vazão entre o primeiro e último emissor de um certo ramal não deve ultrapassar 10%. Ademais, é relevante quantificar o volume de água aplicado na lavoura para que se possa determinar a produtividade da água ou o volume de água utilizado para se produzir certa massa de produto.

Os sensores de vazão e volume podem ser inseridos através de um furo na tubulação de água ou serem um segmento da tubulação, como são os hidrômetros domésticos. Podem ser do tipo hidrômetros, com turbinas verticais ou horizontais, que acionam contadores mecânicos ou elétricos de forma direta ou empregando um dispositivo eletromagnético. A maioria deles acumula as leituras, sendo que o volume pode ser determinado pela diferença entre leituras consecutivas. A vazão pode ser estimada considerando-se o tempo entre a leitura inicial e final, embora os dotados de mecanismo eletrônico determinem a vazão instantânea. Todo esse procedimento pode ser realizado eletronicamente e

comunicado a algum dispositivo de armazenamento de dados ou controlador da irrigação.

O hidrômetro tipo Woltmann (Figura 6) utiliza uma turbina, cujo eixo é alinhado ao fluxo de água. Dotado de bateria, também determina a vazão que passa pela tubulação. Os dados são registrados eletronicamente ou usando um registrador magnético. Atende a uma ampla faixa de vazões. Esse hidrômetro geralmente apresenta grande durabilidade e baixa manutenção. Fluxos reversos de água podem ser descontados do totalizador de volume. Alguns medidores, dotados de pequenas turbinas, podem ser inseridos em um furo feito na tubulação, especialmente em instalações existentes e em tubulações de grande diâmetro.



**Figura 6.** Hidrômetro tipo Woltmann horizontal. Ilustração: Camilo L. T. Andrade.

Outro tipo de mecanismo integra um hidrômetro com turbina vertical e registrador acionado magneticamente, com uma válvula de controle hidráulico, acionada por diafragma. Quando acoplado a um controlador, esse dispositivo controla as irrigações com base no volume de água que passa pela tubulação. A abertura e o fechamento são realizados em resposta a um sinal elétrico.

Há também os medidores do tipo eletromagnéticos, que são mais precisos que os anteriores, especialmente para vazões reduzidas e com algum sedimento. São medidores leves e compactos, que podem ser instalados sem respeitar as distâncias mínimas de tubulações retas, como nos demais medidores. Outra vantagem desse tipo de medidor é a pequena perda de carga que ele proporciona na rede hidráulica. Duas bobinas elétricas são posicionadas na parte superior e inferior do corpo do medidor. Quando uma corrente elétrica passa pelas bobinas, uma diferença de potencial elétrico é gerada entre os eletrodos do dispositivo. Essa diferença de potencial é proporcional à vazão que passa pelo

medidor. Todo o processo de medição da vazão é operado com bateria.

Um dispositivo, baseado no princípio de medição eletromagnética, do mesmo fabricante, pode ser acoplado em válvulas controladoras existentes nas tubulações. Dessa forma, o sistema de monitoração fica compacto e mais completo.

Sensores ultrassônicos consistem em medidores que utilizam, para determinar a vazão, o tempo que um sinal ultrassônico (Figura 7), que é aplicado no fluido em movimento, gasta para se deslocar. Alguns deles são instalados sem a necessidade de perfurar ou cortar a tubulação onde a vazão será medida. Têm a grande vantagem de não apresentarem partes móveis. Podem ser portáteis ou permanentemente instalados nas tubulações, sendo dotados de mecanismos de coleta de dados.



**Figura 7.** Medidor de vazão do tipo ultrassônico que requer acoplamento na tubulação, como os hidrômetros. Fonte: Dalian Yoke Instrument & Meter (2024).

## Componentes de controle de fluxo de proteção

Dentre os principais problemas que podem ocorrer na operação de estações de bombeamento, citam-se a sobrecarga nos motores e rede elétrica, os golpes de aríete e a inversão de fluxo verificados nos momentos de partida e parada da bomba, além das interrupções abruptas decorrentes de falta de energia. Existem no mercado válvulas capazes de contornar esses problemas. São válvulas controladoras de bomba e retenção ativa. Esse equipamento incorpora as funções da válvula de retenção e do controlador da operação da bomba. A válvula existente no mercado brasileiro opera hidráulicamente,

acionada por diafragma que abre e fecha completamente, em resposta a sinais elétricos. Ela protege a bomba durante a partida e a parada, evitando golpes de aríete na tubulação. O fluxo de água é vedado, de forma estanque, por solenoide. A abertura e o fechamento da válvula são comandados por circuito elétrico e ocorrem de forma suave.

Durante a partida da bomba, a válvula está fechada hidráulicamente, embora esteja aberta eletricamente. Ao se dar a partida no motor da bomba, a válvula abre suavemente, como é recomendado. Na parada, o comando elétrico é dado primeiro no controlador, que se conecta à solenoide, fazendo a válvula fechar gradativamente. Posteriormente, o motor é desligado e o sistema fica preparado para uma nova partida. No caso de falta de energia durante o funcionamento da motobomba, a válvula é fechada antes que o fluxo de água mude de direção e cause danos. Ao final, a válvula é reconfigurada para uma nova partida.

É importante lembrar que os projetos hidráulicos bem concebidos devem prever a instalação de válvulas tipo ventosa de dupla função, que permitem a entrada e saída de ar das tubulações, evitando assim o colapso das tubulações e o fluxo turbulento durante a expulsão do ar.

## Componente de variação da velocidade da motobomba

A principal função de um inversor de frequência numa bomba d'água é variar a velocidade do motor, com a intenção de manter a vazão requerida pelo sistema de irrigação, sem gasto excessivo de energia (Figura 8). O dispositivo altera a frequência da energia que entra na motobomba, fazendo com que a velocidade e o campo elétrico em que o motor da bomba trabalha sejam alterados simultaneamente; o inversor pode ficar na entrada de energia do motor ou dentro da própria motobomba. Dessa forma, o inversor permite aumentar ou diminuir a rotação da bomba, dependendo da demanda por pressão e vazão do sistema de irrigação. Durante a partida, a rotação do motor aumenta gradativamente ao invés de acionar a bomba com a sua capacidade máxima de velocidade. Na parada, o inverso ocorre, ou seja, o motor desacelera gradativamente. Essas duas condições protegem o conjunto motobomba e a rede elétrica que fornece energia. O mais importante, todavia, é que durante a operação normal do sistema de irrigação a rotação da bomba pode ser alterada para atender as demandas por pressão e vazão requeridas no momento. Assim, a motobomba não

operará de forma desnecessária, e o motor dela não trabalhará fora das condições normais, descritas no manual.



**Figura 8.** Sistema de inversores de frequência aplicado em duas bombas que podem ter a velocidade de funcionamento variável e operarem em conjunto, alternadamente ou individualmente.

Fonte: MegaPress Automação Industrial (2023).

Em uma pesquisa realizada com a utilização de um inversor de frequência instalado em um conjunto motobomba que atendia um pivô central, verificou-se que a posição da linha lateral influenciou significativamente na rotação do conjunto motobomba, na lâmina de água aplicada e no consumo de energia, porém não foram verificadas diferenças nos valores de uniformidade de distribuição de água (Lima et al., 2009).

## Componentes de monitoração de corrente e tensão de motores elétricos

Condições importantes de serem monitoradas são a corrente e a tensão do suprimento de energia elétrica na estação de bombeamento e em outros pontos de um sistema de irrigação inteligente. O aumento da corrente elétrica pode levar ao superaquecimento, causando danos aos cabos e aos motores. Por outro lado, quedas de tensão levam ao mau funcionamento dos equipamentos elétricos e causam a elevação da corrente elétrica quando o sistema tenta manter a mesma potência. Transmissores e transdutores para diferentes classes de amperagem e de voltagem estão disponíveis no mercado. Eles podem ser empregados para monitorar as condições elétricas durante a operação do sistema de irrigação em motobombas, motorreductores e em outros pontos onde a energia elétrica é utilizada.



Quando conectados a programadores PLC, podem ser utilizados para desligar o sistema de irrigação. A maioria é conectada com fiação. Entretanto, transmissores sem fio também estão disponíveis. A tendência atual é de utilização de componentes o mais eficientes possível do ponto de vista elétrico e hidráulico. O uso de inversores de frequência no conjunto motobomba favorece uma maior eficiência elétrica e de irrigação.

## Componentes na adutora

Alguns dos sensores descritos anteriormente podem ser utilizados também nas adutoras e nas torres centrais dos pivôs centrais, sobretudo em sistemas complexos em que uma mesma estação de bombeamento atende a mais de um equipamento localizado a distâncias e condições topográficas distintas. Dentre os sensores, destacam-se os transmissores ou transdutores de pressão e, eventualmente, sensores de vazão.

## Componentes na torre central do pivô

O sensor mais comum que se deve colocar na torre central do pivô é o transmissor ou transdutor de pressão, para que se possa certificar se a estação de bombeamento está fornecendo a pressão de projeto no início da lateral de irrigação. Uma comparação da pressão nesse ponto com a pressão de operação indicada no projeto permite inferir se há obstrução ou vazamento na adutora que alimenta o equipamento de irrigação.

## Componentes na lateral do pivô

Está cada vez mais comum o furto de componentes dos pivôs centrais, especialmente cabos elétricos (Histel, 2014). Diante disso, seria desejável que se instalasse, no final do pivô, um transmissor ou transdutor de tensão e corrente elétrica. Dessa forma, ao se tentar ligar o equipamento, seria possível verificar se os cabos estão interrompidos. Adicionalmente, um transmissor ou transdutor de pressão deve ser instalado no final da lateral do pivô central, para aferir se a pressão de operação é a esperada ou se algum problema de entupimento ou de vazamento pode ter ocorrido ao longo do equipamento.

Também é bastante comum o desalinhamento dos segmentos da lateral do pivô central, por algum fator como patinação dos pneus de alguma torre,

obstrução que impede o movimento de certa torre ou mesmo erro no dimensionamento, em que o equipamento está aplicando água a uma taxa acima da velocidade de infiltração básica (VIB) do solo. Pivôs centrais muito grandes, instalados em solos com baixa VIB, podem apresentar problemas de taxa elevada de aplicação de água na parte mais distal da lateral, estando, portanto, propensos ao desalinhamento nessa região. Ao se ultrapassar certo ângulo entre o segmento anterior e o próximo, o microrruptor, presente na junção dos dois segmentos, envia um comando para parar o movimento da lateral do pivô e desligar a motobomba. Essa tecnologia já existe em todos os pivôs centrais e deve, então, ser incorporada na plataforma de gerenciamento do projeto de irrigação.

Pelo menos um pluviômetro, dotado de transmissor ou transdutor, deve ser instalado ao longo da lateral para monitorar a lâmina de irrigação sendo aplicada na lavoura. Se o projeto de irrigação não contemplar uma estação meteorológica próxima, deve-se também instalar um pluviômetro automatizado fora da área do pivô ou sobre a lateral, para se acompanhar o volume de chuva que cai no local. As informações dos pluviômetros, aplicadas em um algoritmo apropriado, permitem que se tome a decisão de desligar o equipamento, caso o volume de chuva seja suficiente para suprir a necessidade da cultura prevista no sistema de manejo da irrigação. Da mesma forma, informações de um anemômetro automatizado podem ser empregadas para se tomar, automaticamente, a decisão de desligar o equipamento caso a velocidade do vento ultrapasse certo limite.

## Outros componentes relevantes

É desejável que se tenham câmeras de segurança para monitorar a torre central do pivô e a estação de bombeamento. Outras câmeras podem também ser posicionadas ao longo da lateral, principalmente para se tentar evitar furto de cabos e de outros componentes do equipamento e para o acompanhamento da lavoura.

A posição da lateral do pivô, em relação a um raio de referência, deve ser indicada em um gráfico ou mapa, juntamente com a porcentagem de área irrigada. O usuário final deve ser capaz de acionar o pivô sem água para que ele pare em uma posição específica, que pode ser o raio de referência ou outra qualquer. A porcentagem de área irrigada ou a posição atual do pivô central pode, além da contagem do tempo e do volume de água aplicado,

também ser empregada para a tomada de decisão de quando a irrigação deve ser encerrada.

## Sistema de manejo da irrigação

Há diferentes métodos para realizar o manejo da irrigação em um pivô central, isto é, para indicar o momento de irrigar e qual lâmina de água a ser aplicada. Dentre eles, o que se destaca é o que se baseia no balanço de água no solo. De uma forma simplificada, nesse método, as entradas no volume de controle de solo, onde está o sistema radicular da cultura, são a chuva e a irrigação, enquanto a saída é a evapotranspiração da planta. Demais entradas e saídas são desprezadas. A evapotranspiração da cultura é estimada por métodos que utilizam dados meteorológicos diários, como o Penman-Monteith, parametrizado pela FAO, e um coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que varia ao longo do ciclo (Allen et al., 1998). O cálculo diário do balanço de água no solo determina a variação do armazenamento de água na zona radicular da cultura irrigada. A reposição da água armazenada no solo, até atingir a capacidade de campo, corresponde à lâmina líquida de irrigação a ser aplicada. A irrigação, para repor o armazenamento de água do solo, pode ser realizada desde duas vezes por dia até por vários dias, dependendo do solo, da cultura e do nível de esgotamento que se pode tolerar. Todos os procedimentos de cálculo diário do balanço de água no solo devem ser executados pela plataforma de gerenciamento do projeto de irrigação.

Outra forma de se fazer o manejo da irrigação se baseia em informações de sensores de solo, que podem medir, tanto o potencial da água, quanto a umidade no solo. Com base nas leituras dos sensores (geralmente instalados em duas profundidades), os algoritmos na plataforma de controle indicam o momento de iniciar e parar a irrigação. A combinação dos dois métodos de manejo da irrigação também pode ser empregada. O sensor de solo indica o momento de iniciar a irrigação e o balanço de água no solo define a lâmina a ser aplicada.

## Plataforma de gerenciamento da operação do pivô central

Uma plataforma deve ser capaz de gerenciar toda a operação do sistema de irrigação por pivô central, de forma inteligente, ou seja, de forma autônoma, com nenhuma ou com mínima interferência humana. A plataforma deve determinar o requerimento de água da cultura em certo dia, acumular

os valores ao longo do tempo, calcular o balanço de água no solo ou obter dados de sensores de solo, e decidir se é o momento de irrigar e qual quantidade de água deve ser aplicada. Esta quantidade de água expressa, geralmente, em milímetros, deve ser associada a um tempo de funcionamento e velocidade do pivô central. A plataforma deve ter a capacidade de receber os sinais elétricos analógicos ou digitais de todos os sensores e emitir comandos para, por exemplo, fechar a válvula na saída da bomba e ligar o motor, via inversor de frequência, de forma a preservar a integridade do conjunto motobomba e da rede elétrica que alimenta a estação de bombeamento. Todas as informações de nível de água na fonte, voltagem e amperagem do motor elétrico e dos cabos do pivô, pressão na saída da bomba, na torre central e no final da lateral, vazão do sistema, lâminas de chuva e de irrigação instantâneas e acumuladas desde o início dos eventos, dados de clima, entre outros, devem ser disponibilizados, via interface amigável, ao usuário final e armazenados para posterior análise. O usuário deve ser capaz de atuar remotamente para modificar a velocidade do pivô central, desligar e ligar o conjunto motobomba e modificar a direção de caminhamento da lateral. Assim, por exemplo, um desalinhamento acidental da lateral do pivô central pode ser reparado à distância.

## Geração fotovoltaica de energia

Estão disponíveis no mercado soluções para a utilização de energia fotovoltaica nos sistemas de irrigação por pivô central, sejam de forma totalmente independente (off-line) sejam híbridas (misto de fotovoltaica com outras fontes). A vantagem desse tipo de fonte de energia é a possibilidade de descarbonização das matrizes energéticas em resposta à questão das mudanças climáticas (Brasil, 2020). Adicionalmente, existe a maior digitalização na produção e o uso de energia nos projetos de irrigação. O processo de digitalização para implementação dos componentes abordados nesta publicação torna-se cada vez mais economicamente viável, considerando o uso de baterias para o armazenamento da energia gerada por módulos fotovoltaicos e a oferta de plataformas de gerenciamento da operação do pivô central embarcadas com algoritmos de controle e monitoramento modelado por inteligência artificial. Isso ocorre principalmente no controle de fluxo e velocidade de operação de motobomba. A queda dos preços das baterias tornou os sistemas fotovoltaicos, com armazenamento em bateria, cada

vez mais acessíveis. Destaca-se que, para otimizar o custo nivelado da eletricidade (LCOE) e o custo nivelado de armazenamento (LCOS), é importante estudar antecipadamente o comportamento desses componentes utilizados em projetos de irrigação por pivô central, a fim de dimensionar corretamente o sistema.

O desafio de adicionar armazenamento em bateria à simulação vem do fato de que diferentes estratégias de despacho são possíveis, deslocando o uso da energia solar gerada para momentos em que é necessário consumo ou injeção próximo a carga, com escolha correta da estratégia de despacho: a maximização do autoconsumo e a falta de suporte da rede.

Medições realizadas em área de irrigação de pivô central na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, auxiliam no dimensionamento do arranjo fotovoltaico e da bateria adequada, para as características locais e o impacto na performance do sistema-modelo.

Por fim, reforça-se a utilização de modelagem para o dimensionamento correto da capacidade fotovoltaica e de armazenamento, que depende de fatores climáticos, localização geográfica e estratégia de despacho de energia (Mermoud; Lejeune, 2010; Mermoud et al., 2019, 2020). Uma simulação confiável necessita das diversas variáveis sob diversas condições que, durante os estudos, permite realizar boas escolhas de design de projeto.

## Considerações finais

Os sensores e atuadores estão disponíveis no mercado nacional e internacional. Um dos desafios é selecionar sensores com tecnologia adequada e custo compatível com a situação do produtor rural. Boa parte dos sensores foi desenvolvida para a indústria em que a conexão com controladores e atuadores é realizada com fios. Na área agrícola, em que as distâncias são maiores, a tendência é de se empregarem técnicas de telemetria e sensores e atuadores que operam sem fio. Além disso, é crucial que a qualidade da internet no local seja a melhor possível. O uso da energia fotovoltaica em sistemas de irrigação inteligente tem se tornado cada vez mais viável por causa da redução dos custos, sobretudo das baterias. Ainda com relação a custos, vale ressaltar que sistemas de irrigação inteligentes dispensam a supervisão de uma ou mais pessoas, o que está alinhado com a

escassez e o custo da mão de obra rural. Sistemas de irrigação automáticos têm custo mais elevado do que aqueles que requerem mão de obra para abrir e fechar válvulas, ligar e desligar bombas, mudar laterais de lugar e mesmo para supervisionar a operação dos equipamentos. Entretanto, o custo de operação é, seguramente, mais barato nos sistemas automáticos.

## Referências

- ADM INSTRUMENT ENGINEERING. **Irrigation pressure transducers**. Disponível em: <https://www.adminstrumentengineering.com.au/blog/irrigation-pressure-transducers>. Acesso em: 2 out. 2023.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ARATTANO, M.; MARCHI, L. Systems and sensors for debris-flow monitoring and warning. **Sensors**, v. 8, n. 4, p. 2436-2452, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3390/s804246>.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, DF, 2020. 230 p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Eficiência energética**. Brasília. 2024. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- DALIAN YOKE INSTRUMENT & METER. **Ultrasonic heat meter/water meter**. Disponível em: <https://www.yokemeter.com/products/ultrasonic-heat-meterwater-meter.html>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- ESTADÃO. **O que é irrigação e quais são suas vantagens?** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/o-que-e-irrigacao-e-quais-sao-suas-vantagens>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- HISTEL, M. **The theft of irrigation machines**. Aix-en-Provence: Irrigazette, 2014. Disponível em: <https://irrigazette.com/en/news/theft-irrigation-machines>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- LEFOO BRASIL. **Transmissores**. Disponível em: <https://www.lefoo.com.br/loja>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- LIMA, A. dos S.; ZOCOLER, J. L.; MAGGI, M. F.; LIMA, H. K. de. Uso de inversor de frequência em sistema de irrigação do tipo pivô central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 119-125, 2009.

MEGAPRESS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Sistemas de pressurização para irrigação de água**: principais vantagens e benefícios. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.megapress.com.br/sistemas-de-pressurizacao-para-irrigacao-de-agua-principais-vantagens-e-beneficios/#>. Acesso em: 5 jun. 2024.

MERMOUD, A.; LEJEUNE, T. Performance assessment of a simulation model for PV modules of any available technology. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 25., 2010, Valencia. **Proceedings[...]**. München: WIP-Renewable Energies, 2010.

MERMOUD, A.; VILLOZ, A.; WITTMER, B.; APAYDIN, H. Economic optimization of PV systems with storage. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 37., 2020. **Proceedings[...]**. München: WIP-Renewable Energies, 2020. Evento online.

MERMOUD, A.; VILLOZ, A.; WITTMER, B. Simulation of grid-tied PV systems with battery storage in PVsyst. In: EUROPEAN PV SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, 36., 2019, Marseille. **Proceedings[...]**. München: WIP-Renewable Energies, 2019.

METRÓPOLE DIGITAL. **Sensores de nível - parte II**. Aula do curso de Automação Industrial, oitava aula da disciplina Instrumentação e Sensores. Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/52/8/9>. Acesso em: 10 jul. 2024.

POPULAÇÃO global pode atingir pico em 2050 e depois decair, diz estudo. **Revista Galileu**, 28 mar. 2023. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/um-so-planeta/noticia/2023/03/populacao-global-pode-atingir-pico-em-2050-e-depois-decair-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 5 jun. 2024.

ROMTEC UTILITIES. **Level sensing options for packaged pump stations**. Disponível em: <https://romtecutilities.com/level-sensing-options-for-packaged-pump-stations/>. Acesso em: 22 set. 2023.

SERCU, J. **Effortless groundwater level monitoring**. Disponível em: <https://www.crodeon.com/blogs/news/groundwater-level-monitoring>. Acesso em: 25 set. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Ultrasonic water level sensor at levee in Kashima, Saga**. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ultrasonic\\_water\\_level\\_sensor\\_at\\_levee\\_in\\_Kashima,\\_Saga.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ultrasonic_water_level_sensor_at_levee_in_Kashima,_Saga.jpg). Acesso em: 5 jun. 2024.



