

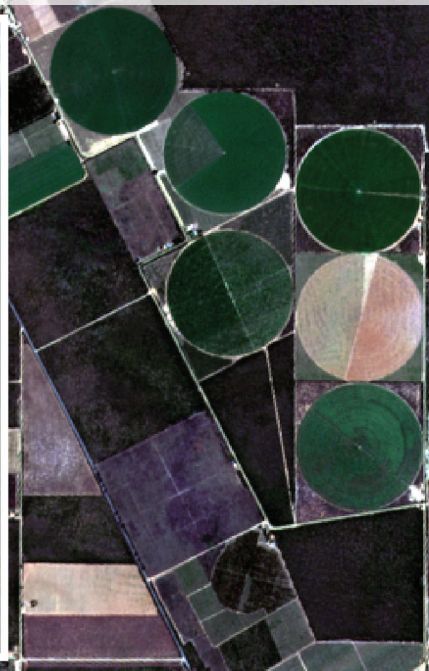


INFORME AGROPECUÁRIO

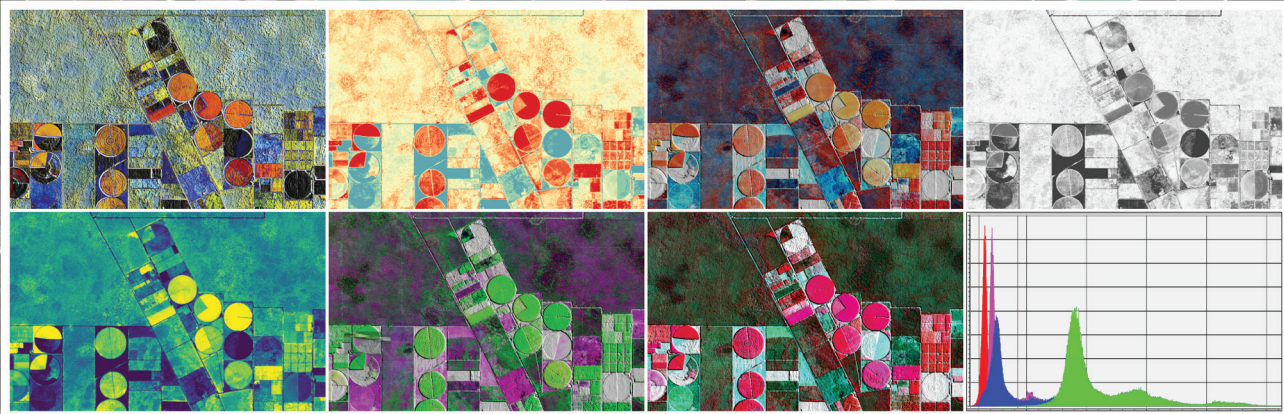
v. 42, n. 313, 2021

ISSN 0100-3364

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Governo de Minas Gerais



Avanços tecnológicos na irrigação



ISSN 01003364



9 177010 133600 2 00313

RS 15,00



Cultivar da EPAMIG 1º LUGAR

no 8º Concurso de
Qualidade de Café do Cerrado

Dos 10 primeiros colocados, 5 posições foram conquistadas com cultivares de café EPAMIG.

1º, 2º, 3º, 7º e 10º lugares.

Cultivares Paraíso h419, MGS Paraíso 2 e Topázio MG 1190.

Onde comprar

ASAGRO - Assessoria de Negócios Agropecuários

(31) 3489-5060 | ☎(31) 99564-0855
asagro@epamig.br

Horário de funcionamento:
segunda a sexta de 9h às 16h45



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.



Informe Agropecuário

Uma publicação da EPAMIG

v. 42, n. 313, 2021

Belo Horizonte, MG

Apresentação

A história da civilização confunde-se com a da irrigação. O homem vem utilizando as técnicas de irrigação há milênios, como forma de garantir e aumentar tanto a produção como a produtividade das lavouras. A tecnologia da irrigação manteve-se com base no método por superfície até a metade do século passado, sendo aos poucos incorporados os métodos de irrigação por aspersão nas suas diversas modalidades e de irrigação localizada a partir da terceira década do século passado. Entretanto, o uso maciço da mão de obra humana para o seu manejo ainda era comum até o início dos anos 2000.

Com a globalização, a produção e o comércio tornaram-se muito intensos e facilitados em função do advento da comunicação via internet, fazendo com que a concorrência se acirrasse e obrigando a todos fabricantes de equipamentos, produtores rurais e demais participantes da cadeia produtiva buscarem soluções que permitissem a redução dos custos, da necessidade de mão de obra, bem como do consumo de água e energia necessários à produção.

Diante desse cenário, os equipamentos de irrigação passam a ser desenvolvidos com maior tecnologia, focando na fabricação de emissores e de sistemas de automação mais eficazes, e na disponibilização de sistemas de irrigação potencialmente mais eficientes e com facilidade de uso. Aliado a isso, o forte apelo ambiental exigido pela sociedade atual levou ao desenvolvimento de tecnologias que permitem o uso de sensoriamento remoto, com vistas ao gerenciamento da irrigação mais preciso e de longo alcance territorial. Todas as tecnologias modernas estão hoje à disposição para o uso da agricultura irrigada pensando sempre no bom planejamento dos recursos hídricos e energéticos disponíveis, levando em consideração os aspectos sociais, ambientais e econômicos, sendo os pontos-chave abordados nesta edição do Informe Agropecuário.

João Batista Ribeiro da Silva Reis
Flávio Gonçalves Oliveira
Polyanna Mara de Oliveira

Sumário

| | |
|---|-----|
| EDITORIAL | 3 |
| ENTREVISTA | 4 |
| Análise da disponibilidade hídrica e agricultura irrigada <i>Everardo Chartuni Mantovani e Aziz Galvão da Silva Júnior</i> | 7 |
| Metodologias de estimativa da evapotranspiração da cultura: tecnologias atuais <i>Reinaldo Lúcio Gomide, João Batista Ribeiro da Silva Reis, Fúlvio Rodriguez Simão, Mário Sérgio Paiva de Araújo, Elias Fernandes de Sousa e Flávio Gonçalves Oliveira</i> | 17 |
| Avaliação do uso da água para irrigação no estado de Minas Gerais <i>Marília Carvalho de Melo, Marcelo Fonseca, Marcus Vinicius Araujo Mello de Oliveira, Fúlvio Rodriguez Simão, Flávio Gonçalves Oliveira e Ana Silvia Pereira Santos</i> | 31 |
| Uso de águas de qualidade inferior para a irrigação <i>Claudio Augusto Uyeda, Flávio Gonçalves Oliveira, Fúlvio Rodriguez Simão e Pedro Robinson Fernandes de Medeiros</i> | 46 |
| Avanços tecnológicos dos equipamentos e emissores de irrigação <i>Marcus Vinicius Viana Schmidt, Carlos Barth, Marcus Henrique Tessler, Flávio Gonçalves Oliveira, João Batista Ribeiro da Silva Reis e Mário Sérgio Paiva de Araújo</i> | 56 |
| Uso de sensoriamento remoto: imagens de satélite e Vants no gerenciamento da agricultura irrigada <i>Roberto Filgueiras, Luan Peroni Venancio, Silvânio Rodrigues dos Santos, Willer Fagundes de Oliveira, Flávio Gonçalves Oliveira e João Batista Ribeiro da Silva Reis</i> | 69 |
| Uso de energia solar fotovoltaica na agricultura irrigada <i>Vânia Reis de Souza Sant'Anna, Flávio Gonçalves Oliveira, Maria Joselma de Moraes e João Batista Ribeiro da Silva Reis</i> | 79 |
| Análise da viabilidade econômica na implantação de sistemas de irrigação <i>Flávio Gonçalves Oliveira, Allan Cunha Barros, Marcelo Rocha dos Santos e João Batista Ribeiro da Silva Reis</i> | 91 |
| Projeto de piscinões para armazenamento de água para irrigação <i>Luiz Antonio Lima, João Batista Ribeiro da Silva Reis, Polyanna Mara de Oliveira e João Paulo Gomes Ferraz Pinheiro</i> | 101 |

ISSN 0100-3364

| | | | | | |
|----------------------|----------------|-------|--------|----------|------|
| Informe Agropecuário | Belo Horizonte | v. 42 | n. 313 | p. 1-108 | 2021 |
|----------------------|----------------|-------|--------|----------|------|

© 1977 Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

ISSN 0100-3364

INPI: 006505007

CONSELHO DE PUBLICAÇÕES E INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

Nilda de Fátima Ferreira Soares

Trazilbo José de Paula Júnior

Marcelo Ribeiro Malta

Vânia Lúcia Alves Lacerda

COMISSÃO EDITORIAL DE PUBLICAÇÕES E INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

Trazilbo José de Paula Júnior

Vânia Lúcia Alves Lacerda

Marcelo Ribeiro Malta

Marcelo Abreu Lanza

EDITORES-TÉCNICOS

João Batista Ribeiro da Silva Reis

Flávio Gonçalves Oliveira

Polyanna Mara de Oliveira

CONSULTOR-TÉCNICO

Marcelo Abreu Lanza (EPAMIG Centro-Oeste)

PRODUÇÃO

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

EDITORA-CHEFE

Vânia Lúcia Alves Lacerda

DIVISÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL

Fabriciano Chaves Amaral

REVISÃO LINGUÍSTICA E GRÁFICA

Rosely A. R. Battista Pereira

NORMALIZAÇÃO

Fátima Rocha Gomes

PRODUÇÃO E ARTE

Diagramação/formatação: *Ângela Batista P. Carvalho e Fabriciano Chaves Amaral*

Coordenação de Produção Gráfica

Ângela Batista P. Carvalho

Capa: *Fabriciano Chaves Amaral*

Fotos: *Sandro C. Buist - Fazenda Esperança*

Dimas Renato Esteves

Contato - Produção da revista

(31) 3489-5075 - dpit@epamig.br

Impressão: *EGL Editores Gráficos Ltda.*

Circulação: *março 2021*

Informe Agropecuário é uma publicação trimestral da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização escrita do editor. Todos os direitos são reservados à EPAMIG.

Os artigos assinados por pesquisadores não pertencentes ao quadro da EPAMIG são de inteira responsabilidade de seus autores.

Os nomes comerciais apresentados nesta revista são citados apenas para conveniência do leitor, não havendo preferências, por parte da EPAMIG, por este ou aquele produto comercial. A citação de termos técnicos seguiu a nomenclatura proposta pelos autores de cada artigo.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

AQUISIÇÃO DE EXEMPLARES

Livraria EPAMIG

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - União

CEP 31170-495 Belo Horizonte - MG

www.informeagropecuario.com.br; www.epamig.br

(31) 3489-5002 - publicacao@epamig.br

CNPJ (MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

DIFUSÃO INTERINSTITUCIONAL

Dorotéia Resende de Moraes e Maria Lúcia de Melo Silveira

Biblioteca Professor Octávio de Almeida Drumond

(31) 3489-5073 - biblioteca@epamig.br

EPAMIG Sede

Informe Agropecuário. - v.3, n.25 - (jan. 1977) - . - Belo Horizonte: EPAMIG, 1977 - .
v.: il.

Bimestral - até 2017, Trimestral - a partir de 2018
Cont.de Informe Agropecuário: conjuntura e estatística. - v.1, n.1 - (abr.1975).
ISSN 0100-3364

1. Agropecuária - Periódico. 2. Agropecuária - Aspecto Econômico. I. EPAMIG.

CDD 630.5

O Informe Agropecuário é indexado na AGROBASE, CAB INTERNATIONAL e AGRIS

**Governo do Estado de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**



Conselho de Administração

Ana Maria Soares Valentini (Presidente)
Nilda de Fátima Ferreira Soares
Celso Luiz Moretti
Reginério Soares de Faria

Suplentes

Guilherme Henrique de Azevedo Machado
João Ricardo Albanez

Conselho Fiscal

Márcio Maia de Castro
Giovani Gilberto Lopes
Ernane Santos Lima

Suplentes

Adriana Araújo Couto
Martinho Rodrigues da Silva
Pedro D'Angelo Ribeiro

Presidência

Nilda de Fátima Ferreira Soares

Diretoria de Operações Técnicas

Trazilbo José de Paula Júnior

Diretoria de Administração e Finanças

Leonardo Brumano Kalil

Gabinete da Presidência

Thales Santos Terra

Assessoria de Comunicação

Fernanda Nivea Marques Fabrino

Assessoria de Governança e Estratégia

Luciana Pereira Junqueira Simão

Assessoria de Informática

Andrezza Pacheco Pereira

Assessoria Jurídica

Thiago José Teixeira de Assis Coelho

Assessoria de Negócios Agropecuários

Clenderson Corradi de Mattos Gonçalves

Auditoria Interna

Adriana Valadares Caiafa

Departamento de Administração

Mauro Lúcio de Rezende

Departamento de Gestão de Pessoas

Marcelo Ribeiro Gonçalves

Departamento de Gestão e Finanças

Polliette Alcileia Leite

Departamento de Informação Tecnológica

Vânia Lúcia Alves Lacerda

Departamento de Pesquisa

Marcelo Ribeiro Malta

Instituto de Laticínios Cândido Tostes

Sebastião Tavares de Rezende

Instituto Técnico de Agropecuária e Cooperativismo

Luci Maria Lopes Lobato e Francisco Olavo Coutinho da Costa

EPAMIG Centro-Oeste

Juliana Carvalho Simões e Felipe Lopes Pena

EPAMIG Norte

Leidy Darmony de Almeida Rufino e Josimar dos Santos Araújo

EPAMIG Oeste

Fernando Oliveira Franco e Irenilda de Almeida

EPAMIG Sudeste

Francisco Carlos de Oliveira e Luciano Luis Jacob

EPAMIG Sul

César Elias Botelho e Marcelo Pimenta Freire

Uso racional e sustentável é essencial para a agricultura irrigada

O uso racional da água tem-se tornado uma preocupação geral no Brasil e no mundo, diante da escassez já identificada em muitos países. Essa preocupação perpassa tanto os consumos domésticos, industriais e, especialmente, o uso da água na agricultura. Estudos apontam que a agricultura responde por cerca de 70% do uso da água e, segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), projeções futuras demonstram que a demanda de água para a produção de alimentos deve ainda crescer 50% em 2030 e 70% em 2050. No Brasil, estudo elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) concluiu que a agricultura irrigada foi responsável por 49,8% da retirada total de água em 2018.

É importante ressaltar que a irrigação sempre foi fator de riqueza para muitos povos da Europa e da Ásia, que há mais de 4 mil anos se fixaram às margens de rios como estratégia de desenvolvimento. Também é importante considerar que a agricultura irrigada moderna está conectada com a sustentabilidade e, por apresentar grande capacidade de intensificação na produção de alimentos, fibras e agroenergia, sem ampliação da área de produção, tem forte conotação estratégica de desenvolvimento. Para isso, é necessário o acesso seguro aos mananciais superficiais e subterrâneos, de modo que o produtor rural possa captar, conduzir e distribuir a água de forma adequada para as plantas. O aumento da demanda dos recursos hídricos, associado à menor disponibilidade de água, requer que os usos sejam cada vez mais eficientes, que tecnologias e inovações sejam embarcadas no processo, para que agricultor e irrigação atendam às necessidades da população na produção de alimentos, assegurando uma utilização racional da água.

Dessa forma, sendo a água um insumo estratégico para a agricultura, a gestão de recursos hídricos, com base na segurança hídrica, é uma prioridade para toda a sociedade especialmente no fomento à inovação tecnológica, no emprego de técnicas de uso eficiente de água e fontes alternativas, como o reúso.

Esta edição do Informe Agropecuário apresenta um panorama da irrigação em Minas Gerais e no Brasil e busca, por meio de estudos e avanços tecnológicos, o desenvolvimento da agricultura irrigada de forma sustentável.

Nilda de Fátima Ferreira Soares
Presidência da EPAMIG

Irrigação é garantia de segurança alimentar



Presidente executivo da Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho), o ex-ministro da Agricultura Alysson Paolinelli pode ser descrito como o pai da revolução agrícola tropical sustentável no Brasil. Essa revolução, que aconteceu a partir da década de 1970, mudou o cenário de segurança alimentar no País e no mundo, com a ocupação econômica do Cerrado brasileiro. Para impulsionar esse salto agrícola, Paolinelli priorizou a ciência, estruturando um sistema de pesquisa agropecuária tropical único no mundo, cujo grande destaque foi a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Formado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras (Ufla), especializou-se nos estudos sobre o potencial da região do Cerrado para a produção agrícola. O salto produtivo proporcionado por essa revolução reduziu o custo relativo da alimentação dentro do orçamento familiar e liberou renda para outros consumos, dinamizando a economia brasileira. Também interiorizou o desenvolvimento, gerando empregos, aumento de renda e melhoria do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Por tudo isso, Alysson Paolinelli foi indicado para o Prêmio Nobel da Paz 2021, com apoio de 119 instituições do Brasil e do exterior, representando 24 países.

IA - Qual a sua avaliação sobre a evolução dos sistemas de irrigação ao longo do tempo?

Alysson Paolinelli - A irrigação no Brasil começou nas terras baixas, nos Pampas, no Rio Grande do Sul, na produção de arroz, onde os gaúchos trataram de fazer suas reservas e utilizar depois um sistema de irrigação por inundação, que dava possibilidade de aumento de produtividade. No Brasil Central a irrigação demorou muito a começar, tendo início na década de 1970. O primeiro pivô foi instalado nessa época. Lembrou-me bem, participei e visitei a instalação desse pivô e acompanhei o seu uso durante algum tempo. É evidente que hoje temos vários tipos de irrigação no País. O pivô central parece o mais acei-

to, mas em compensação, em áreas de menor oferta de água, estamos vendo a evolução da irrigação de menor gasto. A irrigação por meio de pequenos instrumentos de distribuição de água, especialmente os microaspersores, já é utilizada no Brasil, principalmente na fruticultura. O gotejamento também está em evolução, apresentando-se mais na área do café, e está atendendo à demanda dos produtores para manutenção de suas lavouras, com produção estável e maior produtividade. Conheci uma propriedade no Rio Grande do Sul, onde o produtor irriga com pivô, com aspersor, microaspersor e já começou a utilizar um sistema de irrigação por tubos enterrados, bastante avançado, que proporciona produtividade alta com menor

gasto de água. Esta é a evolução da irrigação no Brasil com uma característica especial, pois acima do paralelo 22, 24, temos a possibilidade de obter até três safras por ano com uma irrigação bem manejada. Isto é um privilégio do nosso país. A irrigação é utilizada em todas as áreas do mundo, e algumas bastante desenvolvidas como a China e a Índia, acima de 70 milhões de hectares, e os Estados Unidos acima de 27 milhões de hectares.

IA - Qual a importância da agricultura irrigada na produção de alimentos no Brasil e no mundo?

Alysson Paolinelli - A irrigação na agricultura tanto no Brasil quanto no mundo é de importância fundamental. Se não

fosse a irrigação, o mundo já estaria passando fome. O que ocorre na realidade é que o limite de água para alguns países já chegou ao máximo, constituindo escassez, especialmente na China que tem a maior área irrigada do mundo. Vale ressaltar que o Rio Yang-Tsé-kiang, o grande rio dos chineses, só chega ao oceano quatro meses no ano. Estão utilizando totalmente a água. O caso do Rio Nilo inclusive, que mantém o Egito, onde produzem praticamente numa região desértica, há períodos com água salgada pela invasão do mar em seu leito. Então a gente vê que há um esgotamento do limite de água em alguns países. A Índia, que tem também o segundo volume de irrigação no mundo, tem um problema sério pelo uso de muitos poços artesianos. Isso está acontecendo no mundo de forma permanente em muitos países. O único país que tem efetivamente garantia de quantidade de água superficial e subterrânea que garanta irrigação de grande porte é o Brasil, com a vantagem de que produzimos três safras por ano. Realmente é o país que vai ter mais aproveitamento e mais competitividade na produção de alimentos. É muito importante para o Brasil essa condição de ser o maior país em termos de água doce no mundo, tanto em cursos naturais como em reservas. Há um estudo comparativo que demonstra que a irrigação no Planalto Central brasileiro tem um crescimento médio na safra de verão, a primeira safra, em torno de 15% a 16%. Na segunda safra, influenciada por períodos secos, o crescimento passa de 36% a 37% na produção, e a terceira safra que era zero passa a ser 100%. Com essa irrigação, percebemos que os produtores estão mais que dobrando sua produção. Isto é muito importante para um país que está sendo convocado a atender uma nova demanda mundial para 2050, quando teremos que ampliar no mínimo em 61% a atual oferta. Espera-se que o Brasil, país tropical que desenvolveu uma agricultura sustentável com muita eficiência e que

detém recursos naturais, precisa crescer 2/3 desse valor. O que significa que teremos, não de aumentar 41% nas nossas safras, mas aumentar no mínimo 2,4 vezes a nossa safra. A safra que tivemos no ano passado de 250 milhões de toneladas deverá ser em 2050 pelo menos 620 milhões de toneladas. Portanto, a irrigação é a tecnologia que mais vai contribuir com isso, além da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que com irrigação, contribuirá ainda mais para que alcancemos este nível de oferta que significa segurança alimentar do mundo em 2050.

IA - Qual a importância da automação na agricultura irrigada?

Alysson Paolinelli - Esta é uma área que está-se desenvolvendo recentemente. A produção de grãos do Brasil precisa ter capacidade competitiva e a irrigação é altamente vantajosa, mas aumenta bastante os custos, de energia, de material. Normalmente quem trabalha com irrigação fica com a obrigação de fazer a fertilização do solo em melhor qualidade, como também o dispêndio de energia para promover a irrigação é sempre muito alto. Razão pela qual hoje a irrigação com automação passa a ser uma chave importante nessa disputa que estamos tendo em qualidade, preço e constância de oferta que só o Brasil tem para mantermos o mercado. É muito importante esta evolução, pois representa o que chamamos avanço da tecnologia moderna, a Agricultura 4.0 no setor agrícola. O uso de sensores, os diversos instrumentos evolutivos criados para medir umidade relativa do solo, entre tantos outros, tudo isso leva a compor um sistema bem mais econômico por meio da irrigação automatizada.

IA - Qual a sua opinião sobre as tecnologias atuais (internet das coisas, imagens de satélite, drones, etc.) no contexto da irrigação?

Alysson Paolinelli - Trata-se de uma evolução da tecnologia no campo. Essas tecnologias trazem vantagens incontestes, como redução do custo da mão de obra, possibilitam a chamada agricultura controlada, e a partir do uso desses instrumentos, teremos cada vez mais competitividade do nosso processo produtivo.

IA - Como o senhor analisa a gestão da irrigação concernente ao manejo eficaz?

Alysson Paolinelli - O manejo eficaz é fundamental a qualquer uso de tecnologia, a qualquer evolução no processo produtivo. Tenho certeza de que esse é um avanço na tecnologia para que possamos não só aumentar a nossa produtividade, como ter um produto de muito melhor qualidade.

IA - Qual a importância do uso das energias alternativas, em especial a fotovoltaica, para o acionamento dos sistemas de irrigação?

Alysson Paolinelli - Quando ouvi falar pela primeira vez na energia fotovoltaica me entusiasmei muito, pois é fabulosa, especialmente para a irrigação. A energia fotovoltaica dá vantagens comparativas muito grandes, e destaco o fato de ser uma energia localizada. Isso facilita muito porque você coloca a geração bem próxima do consumo, o que evita gastos como a perda no transporte de energia a longas distâncias, com a qual o Brasil contabiliza prejuízos. Com o advento da integração no sistema de produção fotovoltaica com as redes de distribuição no Brasil, esse processo passa a ser altamente vantajoso, e mais do que isso, chega ser às vezes até gratuito, dependendo da disposição de quem vai utilizar um projeto cuja energia possa ser produzida além do que se precisa. Assim, o produtor vende à rede distribuidora o seu excedente e compra quando necessário. A

meu ver esta é uma evolução que vai transformar a irrigação no Brasil e no mundo.

IA - *Qual a viabilidade econômica da implantação de sistemas de irrigação em um cultivo?*

Alysson Paolinelli - Esse é um sistema que precisa ser bem avaliado, por que têm-se várias nuances. A irrigação em cultivo, entendo que seja aquela em que já se tem o produto e que vai fazer a irrigação ou a colocação de água suplementar para o seu benefício. Não tenho dúvida que é um produto novo e que precisamos aproveitar.

IA - *Qual a importância da gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, tendo em vista o fator sustentabilidade associado à outorga de direito de uso da água, tanto superficial como subterrânea, e sua disponibilidade para a agricultura?*

Alysson Paolinelli - Essa é a chave da questão. A nossa capacidade de ter água depende muito da competência do produtor em saber produzir água. O Brasil tem perdido essa chance, enquanto em outras partes do mundo encontramos esse processo muito mais evoluído, especialmente no caso da Índia, da China e agora dos Estados Unidos. Neste último, especificamente na região Oeste, no Corn Belt, estão fazendo trabalhos excepcionais para descoberta de água em depósitos subterrâneos não muito profundos. Portanto, esse é um aspecto com o qual tenho uma preocupação muito grande, assim como a questão da legislação para gestão dos recursos hídricos, que se tornou muito amarrada a partir de 1998. Na legislação existente foram inseridas tantas regras, regulamentos e decretos que amarraram totalmente a possibilidade em algumas regiões de o agricultor usar o potencial que tem para ter

a sua irrigação. Essas regras foram tão volumosas, que nem o governo tem condição de atender à demanda de verificação e fiscalização de seu cumprimento. Então o processo está travado. Estamos fazendo um trabalho buscando mostrar isso ao governo não só para que se evite esse cipoal que está amarrando a irrigação, mas para que se possa dar ao produtor maior participação. Esse é o termo, participação no processo de produção, manutenção, processamento e uso desse benefício. Isso é muito importante e vou citar que temos em algumas regiões os lençóis freáticos abastecidos por recarga. A lei brasileira foi tão mal conduzida que se esqueceu da recarga, fixando-se muito no programa de reflorestamento ciliar, que considero excelente, muito bom, o qual apoio integralmente pois melhora muito as condições da água, etc., mas concorre com o volume da água. Outro erro cometido foi se preocupar com a nascente, como se esta fosse a origem da água. Não é isso, a água está é no manancial. A nascente só não pode ser destruída porque é um termômetro que indica o que está no fundo. E dá uma dimensão clara do que possa ser usado quando você tem possibilidade de ajudar a retenção da água na recarga.

IA - *Qual a sua visão sobre a reservação de água para a agricultura irrigada?*

Alysson Paolinelli - Neste aspecto, o Brasil possui uma característica muito interessante – a não ser nas suas zonas de trópico árido/semiárido, onde temos precipitações abaixo de 500 mm e 600 mm, com variações entre 900 e 1.000 mm – no restante do território essa precipitação é sempre acima de 1.300, 1.500, até 2.000 mm. Portanto, o País tem uma precipitação bastante boa que permite ter condições de captar a água. O produtor brasileiro sabe fazer isso, basta que haja um incentivo do governo, uma parceria com o produ-

tor para que exerça sua capacidade de captação e retenção de água, e os mananciais serão muito ampliados. E a nossa capacidade de irrigação também, tanto nos pequenos mananciais como nos grandes. Não tenho dúvida que esta é uma necessidade urgente de chamar o produtor, torná-lo parceiro no que entendo como verdadeira produção de água.

IA - *Em relação à qualidade das águas, qual é a sua avaliação quanto aos riscos de salinização e ao mesmo tempo o aproveitamento das águas residuárias para fins de irrigação?*

Alysson Paolinelli - Felizmente no Brasil, a maioria das águas está em regiões onde não há nenhum risco de salinização. O que precisa fazer é uma irrigação benfeita para que não haja excesso de água que cause lixiviação e nem a falta de água, que comprometa o crescimento da planta. Contudo existem algumas regiões com este risco e, neste caso, temos que usar a ciência, a tecnologia. A Embrapa e algumas universidades estão bastante avançadas nisso e estão nos ajudando a evitar esse tipo de impedimento na irrigação, via salinização dos seus mananciais. Existem algumas regiões de mananciais que realmente têm excesso de elementos que podem causar esse dano. O cloro é especialmente ruim e temos que trabalhar para evitar isso. A tecnologia brasileira está evoluindo. Tenho acompanhado os trabalhos, especialmente nas regiões secas, realizados pela Embrapa e universidades dessas regiões e a evolução é muito boa. Fico na expectativa de que possamos ter cada dia mais capacidade de uso e manejo dessa água para utilizar na irrigação.

■ Por Vânia Lacerda

Análise da disponibilidade hídrica e agricultura irrigada

Everardo Chartuni Mantovani¹, Aziz Galvão da Silva Júnior²

Resumo - No contexto da necessidade de informações técnicas para dar suporte à gestão dos recursos hídricos foi estruturado um projeto no Oeste da Bahia. O projeto foi proposto por produtores rurais, organizados na Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia e desenvolvido sob responsabilidade da Universidade Federal de Viçosa. A região tem potencial de aumento da produção agrícola irrigada, tanto na agricultura empresarial quanto na agricultura de pequena escala. Entretanto, é necessário que este potencial de crescimento ocorra em base sustentável, garantindo à sociedade em geral e aos produtores que investem em sistemas de irrigação, segurança do ponto de vista da disponibilidade e do uso compartilhado dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Irrigação. Gestão hídrica. Oeste da Bahia.

Analysis of water availability and irrigated agriculture

Abstract - In this context of the need for technical information to support the management of water resources, a project was structured in Western of Bahia. The project was proposed by farmers, organized in the Associação de Agricultores e Irrigantes do Oeste da Bahia, and developed under the responsibility of Universidade Federal de Viçosa. The region has the potential to increase irrigated agricultural production, both in business and small-scale agriculture. However, it is necessary that this potential growth occurs on a sustainable basis, guaranteeing to the society in general and to the farmers that invest in the irrigation system the security of water availability to its multiple users.

Keywords: Irrigation. Water management. Western Bahia.

INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços dos últimos anos, o debate sobre os recursos hídricos, sua gestão, disponibilidade e garantia dos usos múltiplos, ainda é conduzido com grandes lacunas de informações, principalmente técnico-científicas que deveriam estar sistematizadas de maneira integrada e ser de fácil acesso aos diferentes usuários. É importante considerar que a moderna agricultura irrigada está conectada com a sustentabilidade e com a estratégia de desenvolvimento. No contexto da necessidade de informações técnicas para dar suporte à gestão dos recursos hídricos, foi estruturado um projeto no Oeste da Bahia. O projeto foi proposto

por produtores rurais, organizados na Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (Aiba) e desenvolvido sob responsabilidade da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A região tem potencial de aumento da produção agrícola irrigada, tanto na agricultura empresarial quanto na agricultura de pequena escala. Entretanto, é necessário que este potencial de crescimento ocorra em base sustentável, garantindo à sociedade em geral e aos produtores que investem em sistemas de irrigação, segurança do ponto de vista da disponibilidade e do uso compartilhado dos recursos hídricos. No projeto “Estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia

e Superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhonha” desenvolveu-se intenso estudo da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea bem como análise da mudança do uso do solo. A análise integrada pode trazer uma nova visão para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada na região.

A região Oeste da Bahia é uma fronteira agrícola consolidada, ocupando área de produção agrícola estimada em 2,3 milhões de hectares principalmente com as culturas de soja, milho, algodão, feijão, arroz, café e algumas fruteiras. A área irrigada estimada em 200 mil hectares corresponde a cerca de 8% da área plantada, apresentando alta intensificação de cultivos com rotação de até cinco culturas em dois anos. Gera

¹ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. Tit. Sênior UFV - Depto. Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, everardo@ufv.br.

² Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. Tit. UFV - Depto. Economia Rural, Viçosa, MG, aziz@ufv.br.

significativo porcentual do valor bruto da produção (VBP), possibilitando produção, produtividade, otimização dos ativos, geração de empregos e rendas que têm trazido expressivo desenvolvimento para a região.

Nesta região, são concretizadas ações desenvolvidas de forma integrada na análise e desenvolvimento de processos de governanças dos recursos hídricos, abrangendo todos os principais setores envolvidos, ou seja: produtores, gestores públicos regionais, estaduais e federais, comitês das bacias, associações, universidades e centros de pesquisas, entre outros.

QUESTÃO HÍDRICA E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

O uso múltiplo é parte importante da gestão de água, tendo sempre em mente a prioridade do uso humano e dessedentação animal. A utilização pode ter caráter consuntivo, quando derivada do corpo d'água superficial ou subterrâneo, somente retornando em parte, sendo utilizada como insumo de um processo produtivo. Neste caso específico, existem perdas entre o que é derivado e o que retorna ao curso natural, e os efeitos na qualidade da água podem ser os mais diversos, como a contaminação e a poluição pela dissolução de substâncias orgânicas, minerais e agentes patogênicos. Dentre os usos consuntivos, destacam-se: o abastecimento de água para uso humano (urbano e rural), o abastecimento industrial, a irrigação e a dessedentação de animais. Já os usos não consuntivos são aqueles em que não existe consumo efetivo de água, podendo ou não haver derivação dos corpos hídricos, pois em certos casos as atividades desenvolvem-se no próprio curso d'água. Alguns desses usos podem não afetar expressivamente a qualidade da água, entretanto, podem alterar o regime hidrológico, como acontece com a construção de barragens para regularização de vazões (BERNARDO *et al.*, 2019).

A análise da disponibilidade hídrica de uma região e a sua utilização para a produção de alimentos, fibras e agroenergia exige um debate amplo, com participação

da sociedade civil, órgãos de regulação, comunidade acadêmica, empreendedores e interessados de maneira geral, uma vez que este assunto é de interesse da coletividade. Ocorre que muitas vezes o debate não tem sido conduzido de maneira técnica, sendo feito com base em aspectos emocionais e ainda com viés “do achismo”, o que não tem trazido nenhuma solução para a efetiva gestão, pelo contrário, tem acentuado conflitos, os quais precisam ser resolvidos.

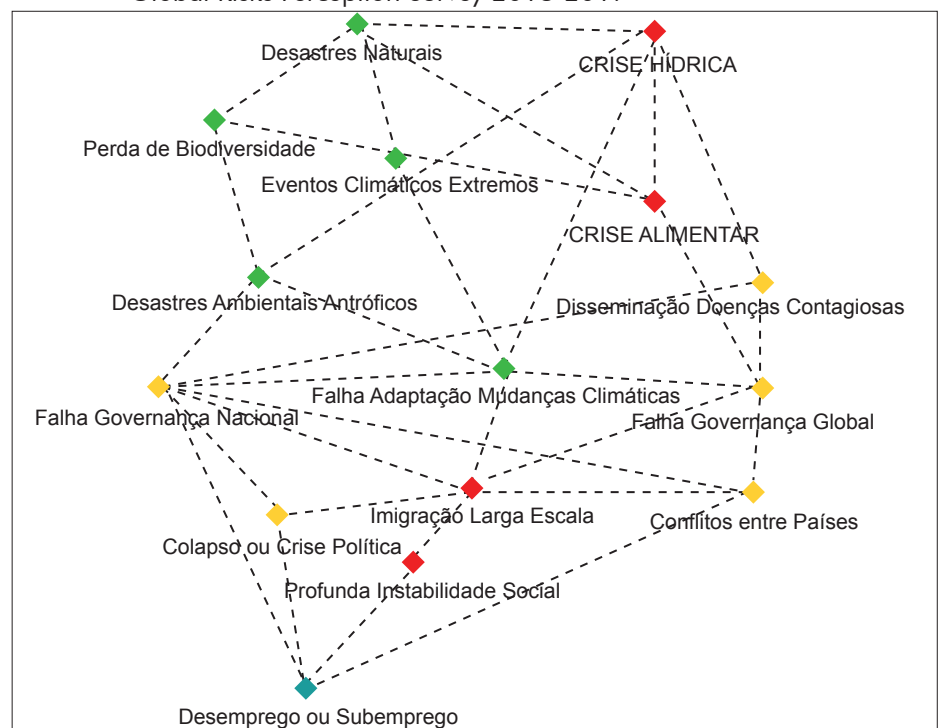
Apesar de um arcabouço legal robusto e muitos estudos ao longo dos anos, o debate sobre os recursos hídricos, sua gestão, disponibilidade e adequação aos usos múltiplos ainda é conduzido com grandes lacunas de informações, principalmente técnico-científicas, que sejam sistematizadas de maneira ampla e de fácil acesso aos diferentes usuários.

Se por um lado existe a preocupação com a disponibilidade da água, por outro existe a questão básica relacionada com a necessidade de produzir alimentos, cada vez em maior quantidade e qualidade. Estudos da Organização das Nações Unidas

para a Alimentação e a Agricultura – Food and Agriculture of Organization of the United Nations (FAO), indicam a necessidade de aumentar a atual produção de alimentos entre 60% e 70% até 2050, para a erradicação da fome e combate à pobreza. Estes percentuais de crescimento são necessários como forma de atender à demanda crescente da população que irá superar os 9 bilhões de pessoas nas próximas décadas. Pelas limitadas condições para expansão da área plantada, a FAO estima que 90% desse crescimento deverá vir do aumento da produtividade (FAO, 2017).

Levantamentos do Fórum Econômico Mundial apresentados em 14 edições buscam identificar entre lideranças empresariais das principais economias mundiais a percepção sobre os principais riscos globais, o que reflete a visão do ambiente de negócio. Os resultados de 2019, como esperado, apresentam variações entre países, mas de modo geral é comum a grande preocupação com a disponibilidade hídrica e de alimentos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019). As crises hídrica e alimen-

Figura 1- Rede de alguns riscos selecionados durante o World Economic Forum Global Risks Perception Survey 2018-2019



Fonte: World Economic Forum (2019).

tar, como mostrado na Figura 1, estão relacionadas diretamente com a percepção de riscos ambientais (desastres naturais, perda da biodiversidade, eventos climáticos extremos, desastres ambientais antrópicos e falha na adaptação a mudanças climáticas), sociais (imigração em larga escala e profunda instabilidade social), geopolíticos (falha de governança nacional, colapso ou crise política, disseminação de doenças contagiosas, falha de governança global e conflitos entre países) e econômicos (desemprego ou subemprego).

No Brasil, a produção de alimentos para atender o mercado interno e as exportações tem sido um grande desafio das últimas décadas. Os resultados obtidos tanto no aumento de produção quanto na participação crescente no mercado internacional colocam o agronegócio brasileiro em destaque no mundo, tornando este setor o grande “motor” do desenvolvimento do País. A pressão por aumento da produção é cada vez maior, bem como a preocupação da sociedade com a preservação dos recursos naturais. Neste contexto, a agricultura irrigada terá papel-chave na manutenção da competitividade do agronegócio brasileiro e no atendimento da demanda crescente por alimentos no mundo.

IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA IRRIGADA

Na agricultura tropical, os ciclos de produção são definidos pela disponibilidade hídrica, onde o processo de produção depende da ocorrência das chuvas, que nem sempre são no momento e na quantidade desejadas. Neste contexto, a agricultura irrigada é uma opção de grande importância para intensificar a produção e ampliar a produtividade de uma determinada área. A possibilidade de implantar plantios contínuos em uma mesma área, independentemente da distribuição das chuvas, torna esta tecnologia única para obter ganhos expressivos na produção, aumentar a produtividade, gerar empregos e renda e, conseqüentemente, viabilizar o desenvolvimento socioeconômico de uma

região. A agricultura irrigada, intensificando a produção, também otimiza o uso da terra e dos ativos (máquinas, sistema de beneficiamento, infraestrutura em geral, etc.), gerando benefícios adicionais para os agricultores, o que reforça a demanda por sua expansão e desenvolvimento tecnológico.

É importante considerar que a agricultura irrigada, conectada com a sustentabilidade e, por apresentar grande capacidade de intensificação da produção de alimentos, fibras e agroenergia sem ampliação da área de produção, tem forte conotação estratégica de desenvolvimento. Este entendimento é fundamental no debate sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos. Assim, para o desenvolvimento da agricultura irrigada, é necessário o acesso seguro aos mananciais superficiais e subterrâneos, de modo que o produtor rural possa captar, conduzir e distribuir a água de forma adequada para as plantas. Mesmo que menos de 1% da água aplicada seja parte final da produção que é retirada da gleba, e que 99% da água volte para a atmosfera através da evapotranspiração na sua forma mais pura e totalmente isenta de qualquer poluição, é necessário utilizar adequadamente os recursos hídricos, pois, como não se tem controle sobre onde a água retornará em forma de chuva, podem ocorrer desequilíbrios.

Dessa forma, a agricultura irrigada tem sido o centro dos debates em muitos fóruns, pois, se por um lado é um dos instrumentos mais importantes para a produção intensiva de alimentos, fibras e agroenergia – com qualidade, quantidade e no lugar certo – por outro, exige grandes volumes de água.

Como compatibilizar as diferentes demandas pela água? Como definir processos de uso da água que sejam entendidos por todos os envolvidos no sistema? Sem dúvida, a resposta não é simples e exige ações que possam obter, organizar e sistematizar as informações científicas relacionadas com os recursos hídricos. É imprescindível também desenvolver modelos modernos e eficientes de gestão que permitam uma

distribuição adequada para os diferentes usuários, monitorando os diversos usos e as disponibilidades para gerar ações, em tempo real, que possam fazer frente a situações de riscos, principalmente pela variabilidade climática em decorrência da quantidade e da intensidade das chuvas.

Neste sentido, é importante que os profissionais que atuam na área de irrigação em geral tenham conhecimento dos impactos que podem ser causados pela agricultura irrigada e, assim, possam focar seu trabalho para evitá-los ou minorá-los ao máximo. A agricultura irrigada com tantos benefícios conhecidos e já citados utiliza um insumo básico que é a água. Assim, o grande e principal impacto ambiental que pode ocorrer é a utilização de volumes de água acima do disponível na fonte d’água utilizada. Portanto, o somatório do uso de água por todos os usuários deve ser menor que o porcentual da vazão (águas superficiais) ou profundidade (águas subterrâneas) mínima esperada no ponto de captação, considerando níveis estatísticos de segurança hídrica definidos de forma técnica e científica. Toda esta análise está definida por um conjunto de leis e normativas federais e estaduais, como é o caso da Lei nº 9433, de 8/1/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta lei passou a ser conhecida como Lei das Águas e define a água como,

[...] um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, sendo seu uso prioritário, em condições de escassez, para consumo humano e dessedentação de animais. (BRASIL, 1997).

Em um contexto histórico, é importante lembrar que a irrigação influenciou diretamente o desenvolvimento e a prosperidade econômica dos povos. As principais civilizações antigas tiveram sua origem em regiões áridas, onde a produção só é possível graças à irrigação. A história é rica em fatos, demonstrando que a irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e segurança. Assim, as grandes

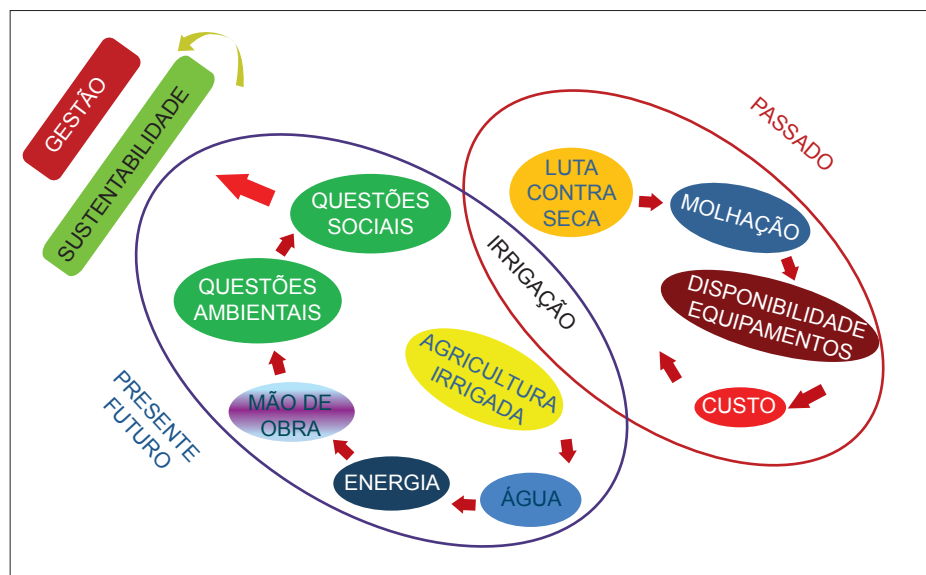
aglomerações, que há mais de 4 mil anos se fixaram às margens dos Rios Huang Ho e Iang-Tsé-Kiang, no vasto império da China, no Nilo do Egito, no Tigre e Eufrates da Mesopotâmia e no Ganges da Índia, surgiram e se conservaram graças à utilização de seus recursos hídricos.

A produção irrigada da antiguidade, que utilizava sistemas simples, mas efetivos para a época, evoluíram de forma lenta até cerca da década dos anos 1980, mantendo-se a conotação da irrigação como estratégia de “luta contra seca”. Este processo sofreu grandes transformações a partir da década dos anos 1990 em todo o mundo, sendo que no Brasil a Lei das Águas teve papel fundamental. Mudanças importantes ocorreram, partindo de uma perspectiva limitada do conceito de irrigação para um conceito mais amplo de agricultura irrigada, que foi se incorporando e hoje é uma realidade na maior parte dos novos sistemas empresariais implantados.

A Figura 2 ilustra muito bem esta evolução. Na visão do passado, o enfoque era a “luta contra a seca”, na qual a utilização da água ocorria sem manejo técnico aonde as plantas eram “molhadas”. Nesse período também não havia disponibilidade adequada de equipamentos, de custos normalmente elevados e os conhecimentos técnicos sobre a irrigação eram pouco difundidos.

Hoje tem-se consolidado o conceito de agricultura irrigada, onde o sistema de produção convive com a preservação do meio ambiente, sendo a água, a energia e a mão de obra tratados como insumos que exigem responsabilidade ambiental, social, econômica e estratégica. Em sistemas de irrigação modernos, a aplicação de água é cada vez mais precisa, além de se buscar a automação para garantir eficiência nos controles. O uso generalizado de sistema de manejo da irrigação em base técnica tem os controles realizados com base em medidas do clima, do solo e da planta e, cada vez mais, com o uso maciço do sensoriamento remoto – satélite, veículos aéreos não tripulados (Vants) e drones –,

Figura 2 - Diagrama de focos da irrigação no passado, presente e futuro



Fonte: Mantovani et al. (2019).

inteligência artificial e toda tecnologia moderna disponível. Esses avanços são fundamentais no debate sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos.

A questão da disponibilidade hídrica preocupa a todos. A sociedade está cada vez mais conectada com a situação em função das sérias crises hídricas que ocorreram, ocasionadas principalmente pela diminuição das chuvas, mas também da má gestão em muitos casos. Para o produtor rural irrigante o tema é de importância estratégica, pois, para viabilizar o alto investimento na estrutura de produção irrigada (projeto, infraestrutura elétrica e civil, equipamentos, mão de obra, etc.), são imprescindíveis informações seguras sobre a disponibilidade hídrica. Assim, é importante ter sempre informações atualizadas da disponibilidade dos recursos hídricos, pois alterações cíclicas ou permanentes podem trazer problemas. Estudos científicos que gerem informações fundamentadas são de extrema importância, pois permitem a continuidade e expansão da agricultura irrigada de forma sustentável.

Neste contexto, existem três pilares para o sucesso de um sistema de gestão dos recursos hídricos, ou seja:

- estudos da disponibilidade hídrica e das suas demandas;

- implantação de sistemas de monitoramento que permitam acompanhar a evolução da disponibilidade;
- a governança que é o processo que estrutura, organiza e prioriza o uso compartilhado dos recursos disponíveis.

A interação entre modelos de análises gerados em estudos e dados confiáveis de monitoramento permite a avaliação correta da situação do sistema. Estudos em conjunto com ações de governança, incluindo criação de uma rede de confiança e a interação entre os principais envolvidos, viabilizam a implementação de planos de uso eficiente e equitativo dos recursos hídricos. O sistema de governança, quando fundamentado em um sistema de monitoramento adequado, garante a segurança do sistema e contribui para a minimização de conflitos pelo uso da água. Para que todos estes pilares e suas interações ocorram, a capacitação dos recursos humanos é imprescindível. Sem profissionais capazes de utilizar informações sobre a disponibilidade hídrica e a implementar métodos eficientes de uso de água, os esforços em realizar estudos, monitorar e implementar um sistema de gestão não terão efeito adequado.

Na Figura 3, ilustra-se o relacionamen- to entre os componentes, em que a solução, dentro do marco da capacitação, vem da integração dos estudos-monitoramento- -governança realizada por técnicos e usu- ários capacitados.

É consenso que, no desenvolvimento de programas de utilização sustentável dos recursos hídricos de uma determinada região, existe a necessidade de uma rede confiável de monitoramento permanente da disponibilidade de água. Tal rede permite o acompanhamento da disponibilidade hídri- ca ao longo do ano, auxiliando na definição e no ajuste das estratégias a ser adotadas em situações de irregularidade das chuvas e de demanda variável dos diversos usuários, além das demandas futuras.

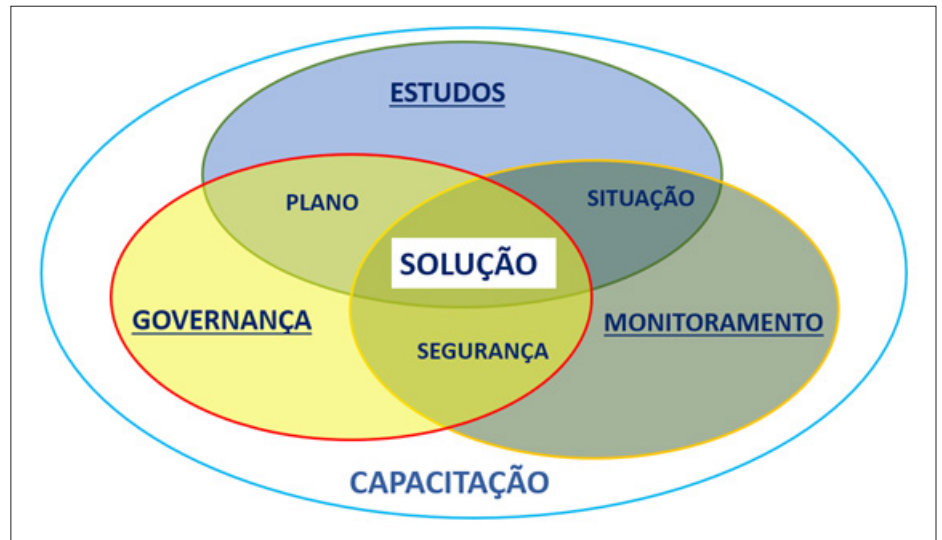
Do ponto de vista de manutenção e expansão da agricultura irrigada, a rede de monitoramento gera informações que garantem que os volumes bombeados es- tão adequados com a disponibilidade em cada momento. Assim, o debate do tema da disponibilidade de recursos hídricos é realizado de forma adequada, ou seja, com base no conhecimento e, com isto, gerando tranquilidade à sociedade como um todo e em especial ao produtor que investe no sistema de produção.

Um exemplo de um projeto que con- sidera os pilares de estudos científicos, monitoramento e governança foi proposto aos produtores da região Oeste da Bahia, organizados na Aiba, pela UFV e parceiros. Este estudo, composto por projetos inte- gradados, avaliou a disponibilidade hídrica nessa região.

ESTUDO DO POTENCIAL HÍDRICO DO OESTE DA BAHIA

A região Oeste da Bahia é uma das mais ativas fronteiras agrícolas do mun- do e segue um padrão de extensificação e intensificação. A ocupação da região iniciou-se nos anos 1980 com uma ex- pansão da área agrícola (extensificação) da ordem de 440% na área plantada entre 1990 e 2018, totalizando hoje cerca de 2,3 milhões de hectares com agricultura. A área

Figura 3 - Gestão dos Recursos Hídricos



Fonte: Mantovani *et al.* (2019).

irrigada, de acordo com Mantovani *et al.* (2019), passou de 17.100 ha em 1990 para 190.900 ha em 2018, correspondendo a 8,02% da área plantada, aumentando a produtividade e o número de safras por ano (intensificação) com valores estimados de geração de renda da ordem de 30% do VBP.

A região do Oeste da Bahia, definida com base em critérios de tipo de cobertura vegetal ou hidrografia, não coincide com a divisão geográfica oficial. Entretanto, os principais municípios e áreas produtivas encontram-se totalmente na mesorregião Extremo Oeste Baiano. Esta mesorregião é formada por 24 municípios distribuídos em três microrregiões e ocupa uma área de 116,7 mil km² ou 11,7 milhões de hectares (Mapa 1). A população é estimada em cerca de 643 mil habitan- tes. O Produto Interno Bruto (PIB) é de R\$ 14,5 bilhões, representando 5,6% do PIB estadual, sendo que 1/3, ou R\$ 3,7 bi- lhões têm origem na agropecuária (AIBA, 2018; IBGE, 2020).

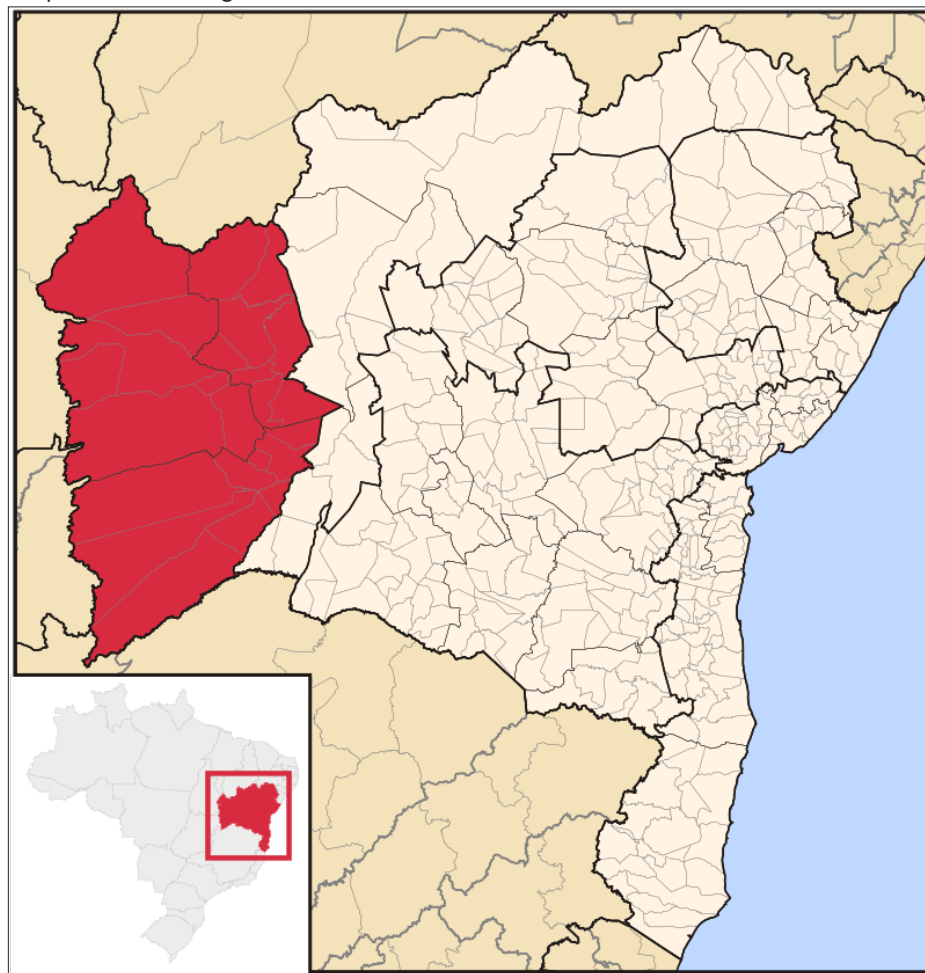
O Oeste da Bahia faz parte da região conhecida com MATOPIBA, formada pelas áreas de Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. No Oeste da Bahia, a soja é cultivada desde os anos 1980 e contribui com cerca de 7% da produção nacional. A cultura do

algodão também é importante na região e no agronegócio brasileiro, com o Oeste da Bahia produzindo 30% do total do País e se destacando também pela alta qualidade da fibra. Além destas culturas, a região é importante produtora de milho, frutas, feijão, café e pecuária. Além da irrigação por pivô central que ocupa 190 mil hecta- res, a região conta com três distritos com irrigação localizada.

A região tem potencial de aumento da produção agrícola irrigada, tanto na agri- cultura empresarial quanto na agricultura de pequena escala. É necessário que o potencial de crescimento ocorra em base sustentável, garantindo aos produtores que investem no sistema e à sociedade em geral, pois a água é um bem de domínio público, uma base segura do ponto de vista da disponibilidade e do uso compartilhado dos recursos hídricos.

Entretanto, a rápida expansão da área irrigada e as secas que assolaram a região nos últimos anos levaram a preocupações com relação à disponibilidade dos recursos hídricos regionais. Neste contexto, um convênio de cooperação entre o Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária (Prodeagro), a Aiba e a UFV foi firmado, com o objetivo de realizar pesquisas cientí- ficas sobre o potencial hídrico do Oeste da

Mapa 1 - Mesorregião Extremo Oeste Baiano



Fonte: Mantovani *et al.* (2019).

Bahia, criando condições para um debate técnico que possa trazer o desenvolvimento sustentável, econômico, social e ambiental da região.

O projeto “Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Uruçuia e Superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha” (MANTOVANI, 2019) desenvolveu um estudo da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, bem como análise da mudança do uso do solo. Análise e ações de governança, bem como iniciativas de desenvolvimento da irrigação na agricultura familiar foram também implementadas.

As principais informações sobre o estudo, relatórios, apresentações e softwares podem ser encontradas no site da Aiba¹.

Águas superficiais

A região Oeste da Bahia possui uma extensa rede hidrográfica superficial nas grandes Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha, sendo que o conhecimento das vazões desses cursos d’água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Nas bacias hidrográficas a disponibilidade hídrica é expressa pelas vazões médias e mínimas. As vazões mínimas representam a disponibilidade hídrica em condições naturais, e a vazão média de longa duração representa a máxima vazão que pode ser

regularizada, desconsiderando as perdas por evaporação e infiltração.

A estimativa da disponibilidade hídrica exige dados históricos de vazão que são normalmente restritos aos locais onde se têm estações fluviométricas. Assim, as informações nem sempre estão disponíveis para os locais de interesse e/ou não representam efetivamente as condições da área de drenagem. Para superar esta situação é comum nos estudos hidrológicos incorporar o processo denominado regionalização das vazões. Essa técnica visa conhecer a disponibilidade hídrica para todos os cursos d’água em uma bacia hidrográfica por meio de relações estatísticas e físicas que associam as vazões às características físicas e climáticas da bacia.

Ainda assim, existem algumas dificuldades específicas que necessitam ser consideradas para a realização da regionalização de vazões, como a limitada base de dados fluviométricos disponíveis e a necessidade de extrapolação das equações para além da faixa de valores observados.

Como resultado do estudo, tem-se o desenvolvimento de um sistema informatizado para disponibilidade hídrica superficial em base regionalizada para toda a hidrografia da região Oeste da Bahia. O Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da UFV, responsável pelo trabalho, realizou um estudo de regionalização de vazões que permite de maneira rápida e eficiente a quantificação da disponibilidade hídrica superficial em diferentes bacias da região Oeste da Bahia. Com os resultados obtidos é possível estimar as vazões mínimas (Q_{90} e Q_{95}) e a vazão média de longa duração (Q_{mld}) para todos os trechos da hidrografia.

Águas subterrâneas

Historicamente, os recursos hídricos subterrâneos têm sido negligenciados no Brasil e em todo o mundo. Sua utilização tem sido relegada nas ações de planejam-

¹ www.aiba.org.br, na aba Potencial hídrico.

to do uso dos recursos hídricos em todos os níveis, sendo que uma possível explicação decorre de sua natureza oculta à visão dos gestores e da sociedade em geral.

Apesar da evolução positiva da situação nos últimos anos, continua com escassez de informações em quantidade e qualidade, com limitações técnicas que impedem uma adequada gestão. No Oeste Baiano a situação não é diferente. O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) constitui um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do País em extensão areal, volumes armazenados disponíveis e também em termos econômicos. A maior parte da área de ocorrência está no Oeste da Bahia e existem importantes lacunas no conhecimento de seu potencial hídrico, como os mecanismos de funcionamento hidrogeológico, recarga e fluxos. Esse extraordinário reservatório de água, com importância fundamental na manutenção do fluxo de base do sistema fluvial da Bacia do Rio São Francisco, está igualmente sujeito a variações climáticas que impõem períodos de seca, os quais, serão mais frequentes e acentuados até o final do presente século. Desse modo, são crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais dessas secas sobre os níveis de água dos aquíferos e vazões dos rios.

Para conseguir uma adequada compreensão da recarga, circulação de água, efeitos do bombeamento, modificações no uso do solo e períodos de seca, realizou-se o presente estudo, que envolve o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea do SAU. Assim, dentro do tema de águas subterrâneas do SAU desenvolveu-se, a partir do modelo conceitual, o modelo matemático tanto em regime permanente quanto em regime transitório por meio do pacote computacional Visual Modflow 4.6.

O software Visual Modflow 4.6 foi selecionado porque este sistema apresenta códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea aceitos mundialmente. O Visual Modflow, por meio de simulações, permite determinar a disponibilidade hídrica, avaliar a situa-

ção atual e tendências futuras. Com estas informações podem-se implementar estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas, tornando-se um importante instrumento para definir de forma mais adequada a disponibilidade de água para outorga e a definição da distância apropriada para os poços tubulares. Além disso, funciona como uma fonte integrada de informações sobre o aquífero, sendo assim importante ferramenta para auxiliar na gestão a todos envolvidos no tema. O Mapa 2 apresenta uma das telas de resultados do software Visual Modflow.

O Modelo Visual Modflow exige condições especiais para uso e a sua distribuição será dirigida aos órgãos gestores de recursos hídricos, os quais foram capacitados pela equipe do projeto em cursos presenciais.

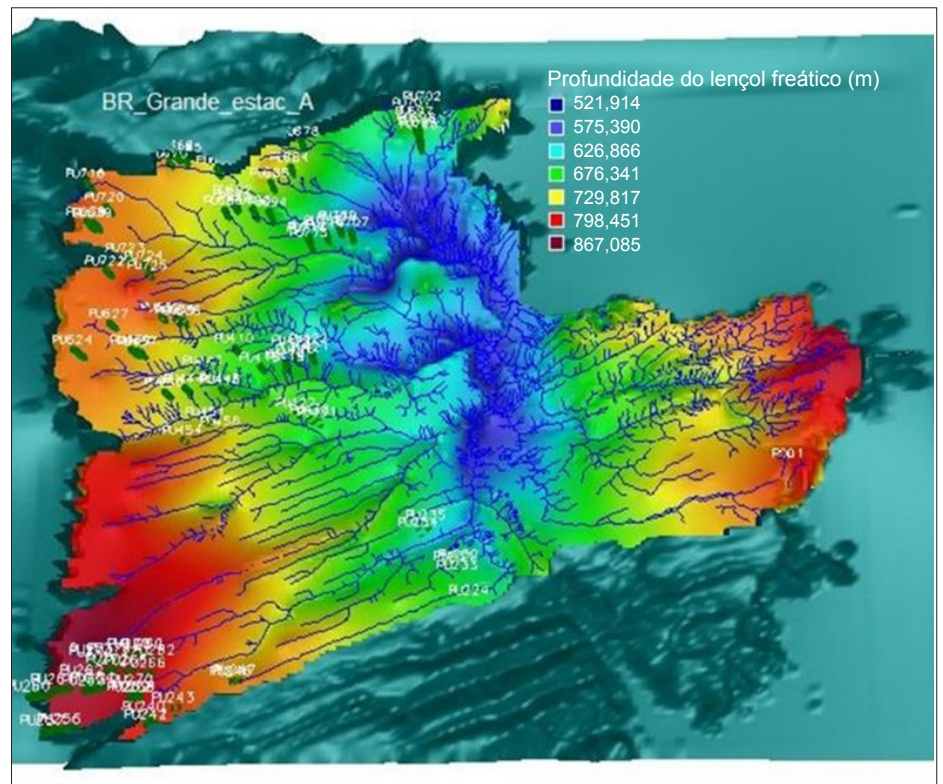
Uso do solo

Dentro do tema uso do solo foram confeccionadas séries temporais de mapas de uso e cobertura de solo do Oeste da Bahia, volume de biomassa acima e abaixo do

solo, bem como informações acerca do teor de carbono no solo decorrente das atividades agrícolas e entendimento de como a mudança de uso no solo afeta a recarga do SAU.

OBahia é uma plataforma multidisciplinar de acesso livre que engloba os resultados desenvolvidos no projeto utilizando-se código aberto, que permite tanto a autonomia nas aplicações que acompanham o desenvolvimento tecnológico quanto a interoperabilidade entre as informações disponibilizadas utilizando os padrões Open Geospatial Consortium (OGC). O objetivo principal é compartilhar dados geoespaciais para o Oeste da Bahia juntamente com seus respectivos metadados de forma padronizada, simples e dinâmica, seguindo a filosofia de dados abertos. Dessa forma, a colaboração interdisciplinar e o compartilhamento de conhecimentos científico-acadêmicos com a comunidade em geral são viabilizados e estimulados. A plataforma também possibilita o compartilhamento de dados não espaciais, por meio

Mapa 2 - Sistema Modelo Numérico Visual Modflow – Bacia do Alto Grande



Fonte: Mantovani *et al.* (2019).

de tabelas, fotos, PDFs, arquivos zipados etc. O software OBahia pode ser acessado no site da Aiba² (Mapa 3).

Também foi produzido um atlas impresso apresentando os principais resultados do projeto disponíveis na forma de mapas. O atlas procurou registrar os principais resultados relacionados com a demanda e a disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha (COSTA, 2019).

Governança

Além dos estudos necessários, uma preocupação na estruturação do projeto foi envolver setores relacionados com a gestão de recursos hídricos do governo da Bahia para que houvesse participação e validação em todas as etapas, garantindo que os resultados obtidos fossem um consenso e, assim, pudessem gerar seus efeitos

positivos ao setor produtivo, garantindo ao mesmo tempo produção sustentável e respeito ao meio ambiente.

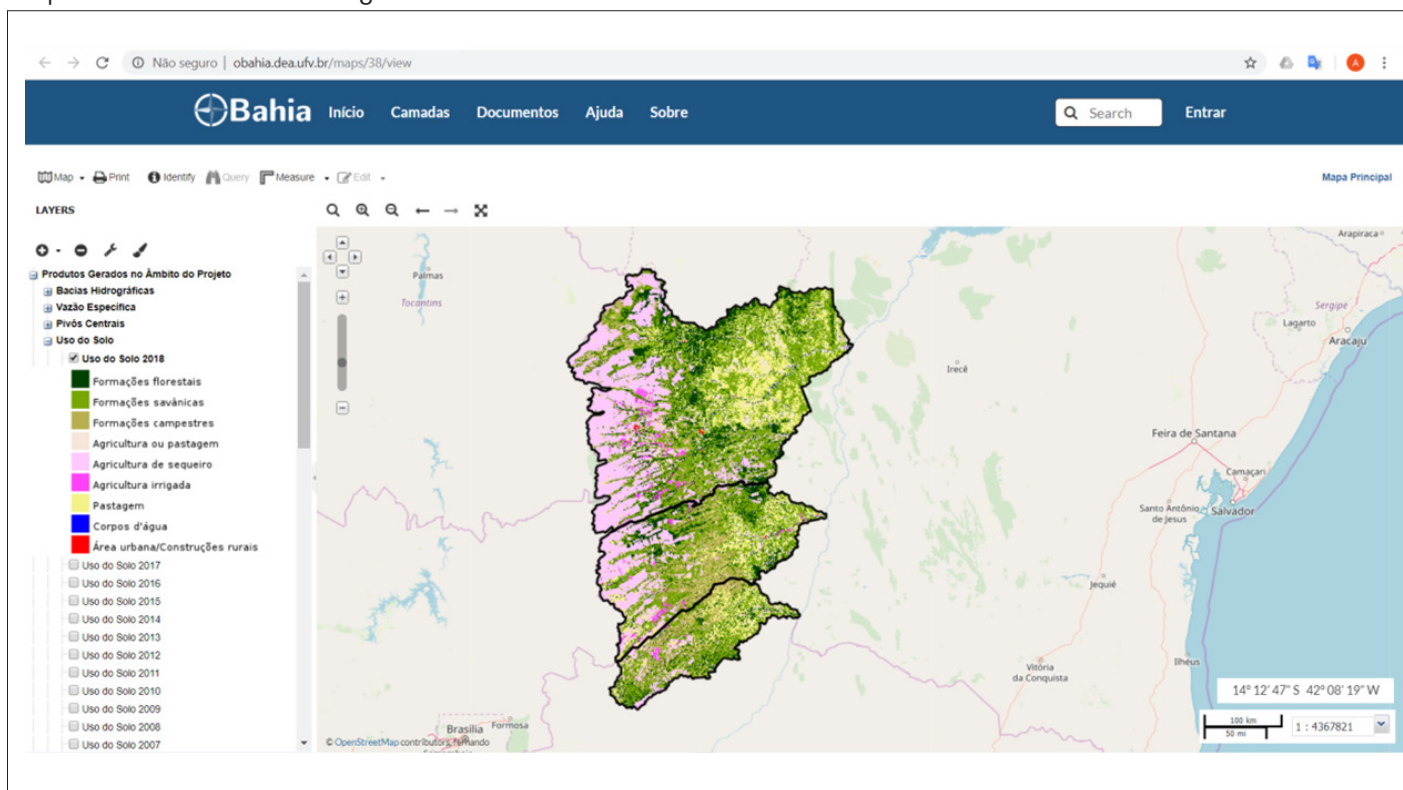
Dentro deste princípio participativo desenvolveu-se um grande esforço de estabelecer parcerias e envolvimento com os órgãos do governo do estado da Bahia: Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Sema), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (Seagri), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS), Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema), com o Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI) da Universidade de Nebraska, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Universidade Federal do Oeste da Bahia (Ufob), a Universidade do Estado da Bahia (Uneb) e com os Comitês de Bacias Hidro-

gráficas (CBHs), tendo já sido realizadas inúmeras reuniões de apresentação e discussão do projeto.

Os resultados foram amplamente apresentados e discutidos em workshop e reuniões técnicas, por meio de palestras e publicações, totalizando mais de 40 importantes eventos nesses dois anos. A edição de um documento final, com análise estruturada e completa, está sendo preparada e irá subsidiar as discussões com os parceiros do projeto e especialistas da área, visando atingir o objetivo primordial do projeto de contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia.

Diversas ações relacionadas com o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada já foram postas em andamento durante os estudos, e a consolidação passa pela integração, como citado anteriormente, pelas vertentes dos estudos, do monitoramento e da governança. Em relação aos

Mapa 3 - Sistema OBahia de gestão territorial



Fonte: Universidade Federal de Viçosa (2018).

² www.aiba.org.br, na aba Potencial Hídrico.

estudos, os resultados têm contribuído de forma efetiva para entendimento e disponibilização de informações contrastadas sobre a disponibilidade hídrica (superficial e subterrânea) nas diversas sub-bacias.

Pela vertente do monitoramento estão em andamento discussões a respeito da organização do projeto sobre o sistema de informações hídricas da região Oeste da Bahia, cuja estrutura existente necessita ser integrada, ampliada e modernizada. Por último, tem-se a importante questão da governança, em que diversas ações foram realizadas para que o estudo, as informações geradas e todas as suas conclusões fossem uma de todos os envolvidos, ou seja, governo da Bahia por meio do Inema, Sema, Seagri, SIHS, DWFI, Aiba, Associação Baiana dos Produtores de Algodão (Abapa), UFV, CPRM, ANA, Embrapa, Universidades locais e os CBHs, entre outros.

Além dos resultados voltados para a análise do sistema de governança e monitoramento, foram desenvolvidas diversas ações para o desenvolvimento da agricultura irrigada na agricultura familiar. A justificativa para estas ações é a importância da agricultura familiar no Oeste da Bahia, o potencial de produção de alimentos e renda, bem como a garantia dos usos múltiplos da água.

Irrigação na Agricultura Familiar

A Bahia é o estado brasileiro com maior número de agricultores familiares. As 647 mil propriedades classificadas com agricultura familiar representam 15,3% do total do Brasil e 32% do Nordeste, contribuindo com 10,6% do PIB do Estado e 81% do emprego no setor agropecuário. Na Bahia, 91% da produção de mandioca, 83% do feijão, 52% do leite e 44% do milho têm origem na agricultura familiar (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2018).

A agricultura familiar no Brasil, e em especial no Oeste da Bahia, tem grande potencial de ampliação da oferta de alimentos e geração de renda por meio da

expansão da área irrigada em regiões com adequada disponibilidade hídrica. A produção e a rentabilidade dos agricultores dos distritos de irrigação na região podem ser potencializadas por projetos que viabilizem o acesso estruturado a novos mercados em conjunto com outras iniciativas.

Por meio do Projeto “Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia” (MANTOVANI *et al.*, 2019), foram desenvolvidas ações de capacitação de produtores e implantação de unidades demonstrativas. Em parceria com a empresa Naan Dan Jain duas unidades de irrigação localizada (aspersão e gotejamento) foram instaladas na Escola Modelo Paulo Mizote e no Campus de Barra da Ufob. A empresa Naan Dan Jain, por meio da coordenação da Aiba e do Instituto Aiba capacitou mais de 500 estudantes de graduação, produtores e alunos do ensino médio em técnicas de irrigação. Ações de capacitação de produtores e professores de escolas técnicas foram implementadas também por membros da equipe desse Projeto, focando no manejo da irrigação.

Em relação a projetos de pivô central na agricultura familiar, experiências em outros países, em especial na África, demonstram a possibilidade de agricultores familiares aproveitarem de forma coletiva os benefícios da eficiência econômica, hídrica e operacional desse sistema de irrigação (BERKLAND *et al.*, 2019). Sistemas compartilhados adicionam novos desafios técnicos e organizacionais à produção agrícola familiar, mas são alternativas muito interessantes para grupos de produtores com maior nível de organização. Neste sentido, está em andamento uma iniciativa de compartilhamento de um pivô central em uma comunidade de agricultores participantes do Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF) no município de Cotegipe, na Bahia. As discussões em andamento desse projeto têm características inovadoras, como o modelo de financiamento para a agricultura familiar por leasing, bem como estruturação de modelo de gestão do projeto em forma de cotas para os produtores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto possibilitou efetivamente:

- um amplo e importante debate sobre a disponibilidade e gestão dos recursos hídricos na região Oeste da Bahia com todos envolvidos e interessados no tema, com destaque para os órgãos estaduais e federais relacionados com a gestão, ministério público, órgãos internacionais, comitês de bacias, associações, docentes e discentes de universidades federais, estaduais e locais, dentre outros;
- organização de base de dados referentes às águas superficiais e subterrâneas, análise da sua disponibilidade e desenvolvimento de produtos que serão usados para definir o potencial sustentável de crescimento e desenvolvimento da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia;
- caracterização da evolução do uso do solo na região e análise de sub-bacias hidrográficas com diferentes níveis de ocupação com agricultura irrigada, indicação de áreas com problemas e com potencial de desenvolvimento.

As ações contaram com o envolvimento dos órgãos responsáveis pela gestão de água na região Oeste da Bahia em todo o processo (obtenção, processamento e análise dos dados), trazendo perspectivas muito positivas de uso dos sistemas desenvolvidos para gestão dos recursos hídricos, a fim de gerar maior desenvolvimento da agricultura irrigada com segurança hídrica e paz social, além da proposição e implementação de iniciativas para a agricultura familiar.

REFERÊNCIAS

- AIBA. **Anuário da Safra do Oeste da Bahia 2017/2018**. Barreiras: Aiba, [2018].
- BERNARDO, S. *et al.* **Manual de irrigação**. 9.ed.atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545p.
- BERKLAND, R. *et al.* Compartilhamento

de pivô central na agricultura familiar: experiências na África. **Aiba Rural**: a revista do agronegócio da Bahia, Barreiras, ano 5, n.12, p.40-43, 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p.470, 9 jan. 1997.

COSTA, M.H. (coord.). **Atlas do Oeste da Bahia (Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha)**: uso do solo, regiões densamente irrigadas, nível da água no aquífero e vazões específicas. Barreiras: AIBA, [2019]. 53p.

FAO. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF: FAO, 2017. 226p. Disponível em: <http://www.abid.org.br/arquivo/agricultura-FAO.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

IBGE. **Estatísticas econômicas**: agricultura, pecuária e outros. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: 14 jul. 2020.

MANTOVANI, E.C. *et al.* **Relatório técnico final - Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia**: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuaia e Superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha. Viçosa, MG, [UFV], 2019. 359p. Disponível em: https://issuu.com/canoadocs/docs/relato_rio_final_-_estudo_dos_recursos_hidricos_na. Acesso em: 14 jul. 2020.

SILVA JÚNIOR, A.G. *et al.* Importância e potencial da irrigação na Agricultura Familiar. **Aiba Rural**: a revista do agronegócio da Bahia, Barreiras, v.4, n.10, p.34-37, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **OBahia: servidor de mapas do Oeste da Bahia**. Barreiras: AIBA: UFV, 2018. Disponível em: <http://obahia.dea.ufv.br/maps/38/view>. Acesso em: 14 jul. 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Risks Report 2019**. 14th ed. Geneve: WEF, 2019. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf. Acesso em 14 jul. 2020.

Mudas de videira EPAMIG

Campo Experimental de Caldas



Variedades: Europeia: Syrah

Americanas: Bordô (Folha de Figo) clones 13 e 16,
Niágara rosada e Niágara branca

Pedidos e informações:

Campo Experimental de Caldas
Avenida Santa Cruz, 500 - Bairro Santa Cruz Caldas - MG
e-mail: cecd@epamig.br
(35)3735-1101 / (35)3735-1597



Metodologias de estimativa da evapotranspiração da cultura: tecnologias atuais

Reinaldo Lúcio Gomide¹, João Batista Ribeiro da Silva Reis², Fúlvio Rodriguez Simão³, Mário Sérgio Paiva de Araújo⁴, Elias Fernandes de Sousa⁵, Flávio Gonçalves Oliveira⁶

Resumo - O planejamento do manejo de uma irrigação deve considerar, além dos aspectos agrometeorológicos, a racionalidade do uso da água e a eficiência de distribuição da lâmina de irrigação aplicada. Vários fatores afetam a evapotranspiração, sendo então necessárias algumas metodologias para sua determinação, como o uso de Estações Meteorológicas Automáticas; Lisimetria; Razão de Bowen; Método da Correlação dos Turbilhões e medição de fluxo de seiva no caule das plantas com Métodos de Dissipação Térmica, como Pulso de Calor e Sensor de Balanço de Calor. A evapotranspiração influencia no balanço de água do solo e no ciclo hidrológico.

Palavras-chave: Irrigação. Agrometeorologia. Uso da água. Eficiência.

Crop evapotranspiration estimation methodologies: current technologies

Abstract - The irrigation management planning should consider the rational use of water, the distribution efficiency of applied irrigation depth, in addition to the agro-meteorological aspects. This article presents the main factors affecting evapotranspiration, methods have been described for its determination as the use of Automatic Weather Stations, Lysimeter, Bowen ratio, Eddy Covariance, and sap flow measurement in the stem of plants with Methods Based on Dissipating Heat as the heat pulse and the heat balance sensor. The influence of evapotranspiration in soil water balance and the hydrological cycle, is present as well.

Keywords: Irrigation. Agrometeorology. Water use efficiency.

INTRODUÇÃO

A água, absorvida pelas raízes, é conduzida até as folhas por meio de minúsculos canais existentes nas plantas, os quais são chamados vasos xilema. Ao chegar nas folhas, a água é transferida para a atmosfera na forma de vapor d'água, saindo por minúsculos orifícios que são os estômatos, cujo processo é chamado transpiração.

Além da transpiração, outra parte da água retida no solo é transferida para a atmosfera na forma de vapor d'água, através da superfície do solo, cujo processo, neste caso, é chamado evaporação.

Essas perdas de água para a atmosfera (transpiração e evaporação), são ocasionadas pela atuação de diversos fatores climáticos como: a radiação solar, a umidade relativa (UR) do ar, a temperatura

ambiente e o vento. Somando-se a quantidade de água transferida para a atmosfera pela transpiração, com a que é transferida pela evaporação, obtém-se a demanda total de água das plantas, a qual é chamada evapotranspiração da cultura (ETc) (ALLEN *et al.*, 1998). A evapotranspiração também refere-se a uma lâmina d'água, sendo, portanto, expressa em milímetros de água evapotranspirada por dia.

¹ Eng. Agrônomo, Ph.D., Consultor, Sete Lagoas, MG, reinaldo.gomide@gmail.com.

² Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br.

³ Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG-DPPE, Belo Horizonte, MG, fulvio@epamig.br.

⁴ Eng. Agrícola e Ambiental, D.Sc., Projetista, Montanha, ES, pmariosergio@yahoo.com.br.

⁵ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. Tit. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, sousa.elias.fernandes@gmail.com.

⁶ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

Determinar diretamente a ET_c não é uma tarefa fácil, uma vez que o seu valor varia em função da fase de desenvolvimento da cultura e das condições climáticas locais. Entretanto, poderá ser obtida indiretamente, determinando-se, primeiro, a evapotranspiração de referência (ET_o) que apresenta, basicamente, o mesmo perfil de desenvolvimento em qualquer local que venha a ser cultivada. As culturas adotadas como referência são: a grama-batatais e a alfafa, sendo a grama-batatais mais largamente utilizada.

A estimativa da ET_c é feita então pela multiplicação da ET_o por um fator denominado coeficiente de cultivo (K_c), conforme a Equação 1.

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

O K_c varia de acordo com o estágio de desenvolvimento de cada cultura, e pode ser obtido por meio de literatura internacional mais generalista (ALLEN *et al.*, 1998) ou, preferencialmente, por meio da experimentação agrônômica realizada na região de interesse (SIMÃO, 2004).

A evapotranspiração é uma variável muito importante para a gestão dos recursos hídricos e para o manejo da irrigação.

A ET_o refere-se à transpiração de uma cultura hipotética e para fins práticos, integra os fatores climáticos para fins de determinação da ET_c . O método padrão para determinar a ET_o baseia-se no uso da equação de Penman-Monteith parametrizada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – Food and Agriculture Organization of the United States (FAO) (ALLEN *et al.*, 1998), conforme Equação 2.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma u_2 [e_s(T) - e]}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm/d);

R_n = saldo de radiação (MJ/m²/h);

G = fluxo de calor do solo (MJ/m²/h);

u_2 = velocidade média do vento a 2 m do solo (m/s);

$e_s(T)$ = saturação de pressão de vapor do ar à temperatura T (kPa);

T = temperatura média do ar (°C);

Δ = declividade da curva de saturação do ar (Equação 3);

γ = constante psicrométrica (67 Pa/K).

$$\Delta = \frac{4098 e_s(T)}{(T + 237,3)^2} \quad (3)$$

Como pode ser observado pela Equação 2, a obtenção dos dados meteorológicos é fator-chave para a utilização da equação-padrão, o que usualmente tem sido facilitada pelo uso de estações agrometeorológicas automáticas (Fig. 1), ou pelo uso de dados de estações meteorológicas localizadas próximas à fazenda para obtenção dos parâmetros, como as estações do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) ou de aeroportos (fazendo-se o ajuste da velocidade do vento para altura do anemômetro de 2 m).

Outras opções que o irrigante tem para calcular ET_o , em virtude de necessitar de uma menor quantidade de variáveis meteorológicas, são as equações simplificadas, as quais necessitam de menos parâmetros meteorológicos que a equação-padrão, como a de Hargreaves e Samani (Equação 4).

$$ET_o = 0,0023 Ra (T_{max} - T_{min})^{1/2} (T_{med} + 17,8) \quad (4)$$

em que:

T_{med} = temperatura média (°C), [$T_{med} = 0,5 (T_{máx} + T_{mín})$];

T_{max} = temperatura máxima, (°C);

T_{min} = temperatura mínima (°C);

Ra = radiação solar no topo da atmosfera (mm/d) (obtido em tabelas).

Figura 1 - Estação meteorológica automática localizada no Norte de Minas



Fúlvio Rodrigues Simão

A Equação 4 tem sido utilizada com boa aceitação, sendo recomendada e muito utilizada em regiões Semiáridas, como no Norte de Minas e Nordeste do Brasil. Isso provavelmente ocorre porque estas regiões são destacadas por dois fatores climáticos característicos, que são as altas temperaturas associadas à alta incidência de horas de luz solar no decorrer do ano.

Além disso, tem sido cada vez mais comum a determinação de coeficientes de ajustes da Equação 4 para cada região especificamente, o que tem possibilitado bons resultados, como é o caso do estudo realizado por Reis *et al.* (2016) em Janaúba, MG, onde o coeficiente multiplicador da Equação 4 foi determinado em função da época do ano. Para o período de outubro a março (período chuvoso) este coeficiente foi de 0,0020 e, para o período seco do

ano (abril a setembro), o coeficiente foi de 0,0023. A utilização dos coeficientes ajustados por Reis *et al.* (2016) para a região de Janaúba permitiu que o coeficiente de determinação e o erro padrão esperado saíssem de 0,436 e 8,33% para 0,636 e 1,83% respectivamente.

FATORES QUE AFETAM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A ETC varia em função de aspectos ambientais climáticos, fisiológicos e umidade do solo. Todos esses fatores ocorrem de forma simultânea e muitos interagem entre si.

A umidade do solo, por exemplo, quando reduzida, implica no aumento da energia com que a água é retida pelas partículas do solo, reduzindo, portanto, a evapotranspiração. Uma maior energia de retenção das moléculas de água ao solo também implica na maior dificuldade para absorção hídrica radicular, reduzindo assim a transpiração das plantas, em um efeito sinérgico com a redução da evaporação direta da água do solo (Ev), diminuindo ainda mais a ETC. Esse fenômeno implica na necessidade de uso de alguns coeficientes que devem ser utilizados para ajustar a ETC em condições específicas. No caso da irrigação localizada, é necessário fazer o ajuste por meio da utilização de um coeficiente específico, ou seja, o de redução da evaporação para irrigação localizada (KI) (SIMÃO, 2004), que se baseia no efeito da área molhada ou da área sombreada. Para situações de estresse hídrico ainda é necessário o uso do coeficiente relacionado com a umidade do solo (Ks) (ALLEN *et al.*, 1998; BERNARDO *et al.*, 2019).

Conforme as Equações 2 e 4, pode-se observar que os parâmetros do ambiente abiótico/climáticos têm um efeito direto na evapotranspiração, em especial a temperatura, que está presente em todas as três equações. Entretanto é preciso ter também especial atenção à radiação solar, à velocidade do vento e à UR do ar. A precipitação é um parâmetro climático que

pode ser associado com a nebulosidade, como também tem o efeito na umidade do solo, alterando os valores do Ks.

Dado esta influência dos parâmetros agroclimáticos, as estações meteorológicas passaram a se tornar importante ferramenta nos processos de tomada de decisão que são influenciados pela estimativa da evapotranspiração.

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA: MEDIÇÃO, MÉTODOS E MODELOS

A determinação da ETo necessita de informações meteorológicas e para que isso seja bem realizado, a utilização de estações meteorológicas, em especial as automáticas, é imprescindível.

Estações meteorológicas

Para o manejo adequado da irrigação, determinar a demanda das culturas é primordial. Para isso é necessário quantificar a ETo. Para o cálculo da ETo, segundo o método-padrão preconizado pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998), são utilizados dados diários de saldo de radiação solar, temperatura e UR do ar e velocidade do vento. E para estimativas em períodos menores, outros dados são necessários como o fluxo de calor no solo. Esses dados são obtidos por um conjunto de sensores que, normalmente, são instalados próximos entre si, formando uma estação meteorológica. Existem vários tipos de estações meteorológicas, que se diferenciam pela complexidade, eficiência, taxa de leitura e custo dos sensores.

As estações meteorológicas podem ser classificadas como Estações Meteorológicas Convencionais (EMCs), que exigem a presença diária de uma pessoa para coletar os dados, ou Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs), em que a coleta de dados é automatizada e os dados armazenados em memória interna. Alguns modelos ainda possibilitam o envio das informações via rádio ou satélite para estações remotas, ou que dados

sejam armazenados virtualmente na rede internet (Nuvem).

A EMA é composta por três categorias de equipamentos: sensores, registradores e telemetria. Os responsáveis pela captura dos parâmetros meteorológicos são os sensores, que convertem os eventos físicos em sinais elétricos. Esses sinais são enviados para um registrador central (*datalogger*), que converte esses sinais elétricos em valores digitais, que posteriormente são armazenados.

Atualmente, as EMAs tornaram-se uma ferramenta importante para os agricultores que buscam racionalizar a produção agrícola. Pois estas auxiliam nas tomadas de decisões em lavouras irrigadas, otimizando a produtividade e o consumo de água. Para os agricultores que não possuem recursos financeiros para aquisição de uma EMA, há a alternativa de obtenção dos dados de redes de estações meteorológicas. As mais importantes são as disponibilizadas pelo Inmet, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

A ETC está relacionada diretamente com a ETo. Utilizando os dados de uma EMA define-se a ETo, e a seguir o valor de ETC é calculado conforme Allen *et al.* (1998) (Equação 1), em que os valores do Kc variam de acordo com a cultura e a região.

Valores de Kc podem, ainda, ser obtidos em pesquisas de campo com auxílio de equipamentos de medição direta da ETC, como os métodos dos lisímetros, da correlação de turbilhões (*Eddy Covariance*) e da Razão de Bowen.

Lisimetria

A técnica da Lisimetria de pesagem consiste em determinar a ETC a partir da variação do peso de um bloco de solo confinado em um recipiente. Este é disposto sobre sensores de peso, mecânicos ou eletrônicos, onde é monitorada a dinâmica da água no solo (CAMPECHE *et al.*, 2011). É um método, que, a partir do balanço de

água no solo, é considerado padrão para estimativa da E_{Tc} de uma cultura em crescimento e para calibração de outros métodos (CAMPECHE *et al.*, 2011). É um equipamento bastante utilizado em pesquisas para determinação de K_c de diferentes culturas.

Na Figura 2 é apresentado um esquema de um lisímetro de pesagem. Os lisímetros são recipientes instalados de modo que a extremidade superior fique ao nível do solo do campo ou da área experimental. No preenchimento do recipiente com solo, geralmente, instala-se primeiro no fundo os coletores de drenagem, e logo após uma camada de brita sob uma manta de filtragem. Isto serve para manter o solo sem restringir a percolação da água. Os recipientes são preenchidos com solo do próprio local, gradativamente em pequenas camadas, respeitando a ordem e a estrutura destas (Fig. 2A). Nos sistemas modernos, esses recipientes são apoiados em hastes articuladas que direcionam o peso do conjunto para uma célula de carga, permitindo a coleta contínua de dados eletronicamente

(Fig. 2B). Toda água que entra ou sai do sistema é monitorada. A água excedente no sistema, que escoo superficialmente ou tende a percolar, é medida pelos coletores de drenagem (Fig. 2C e 2D).

Quando utiliza-se o sistema eletrônico de pesagem, antes de iniciar as leituras, é necessário realizar uma calibração prévia no lisímetro. Esta tem por finalidade estabelecer uma relação entre o sinal de saída da célula de carga e a massa do sistema, e também verificar a linearidade e histerese da célula de carga. Deve-se, preferencialmente, calibrar nas mesmas condições climáticas do seu funcionamento, por adição e retirada de pesos previamente conhecidos (ARAÚJO, 2016).

Para determinar a E_{Tc} pelo lisímetro utiliza-se a Equação 5.

$$E_{Tc} = P + L - DP - \Delta\text{massa} \quad (5)$$

em que:

E_{Tc} = evapotranspiração da cultura (mm);

P = precipitação pluvial (mm);
L = lâmina de água aplicada (mm);
DP = drenagem profunda (mm);
 Δmassa = equivalente à variação de massa (mm).
O Δmassa é encontrado pela Equação 6.

$$\Delta\text{massa} = \frac{L_{(i)} - L_{(i-1)}}{A} \quad (6)$$

em que:

$L_{(i)}$ = leitura das células de carga no i-ésimo dia de interesse (kg);

$L_{(i-1)}$ = leitura das células de carga no i-ésimo anterior (i-1) (kg);

A = área do lisímetro (m²).

Todas as leituras do lisímetro devem ser analisadas diariamente para que as ocorrências de chuva, de irrigação ou de drenagem no interior do recipiente sejam identificadas e consideradas adequadamente no cálculo da E_{Tc}. É importante, também, padronizar um horário fixo para as medições da variação de peso, de modo que feche um ciclo de 24 horas.

Razão de Bowen

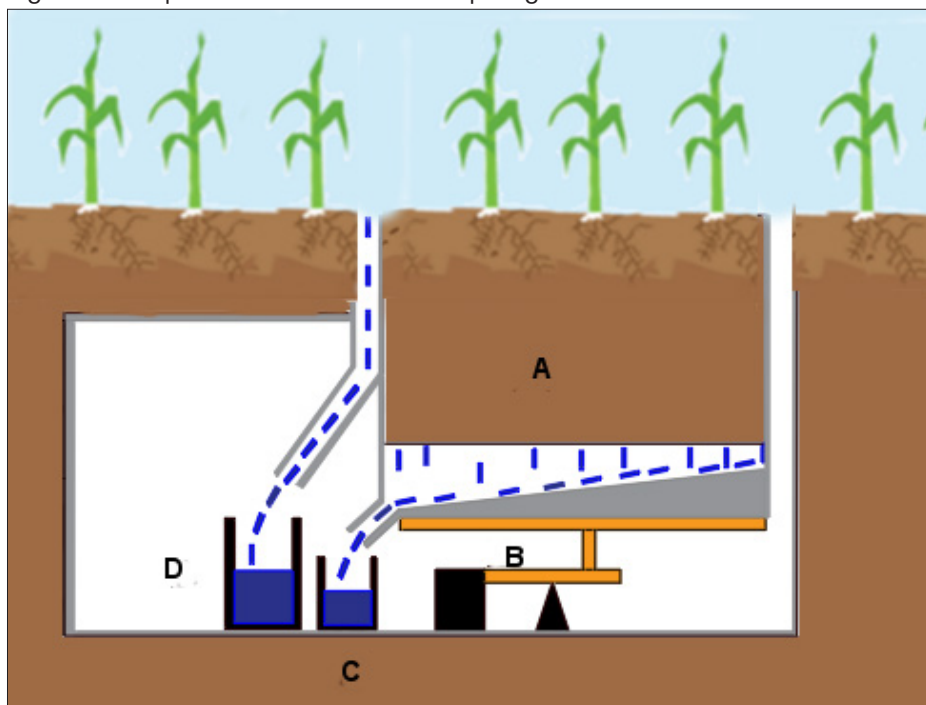
Razão de Bowen (RB) é um método micrometeorológico que se baseia no balanço de energia sobre a superfície da área cultivada. É comumente utilizado na estimativa da evapotranspiração, empregado em diferentes condições de campo. O princípio da lei de conservação de energia estabelece que os ganhos e perdas de energia em uma superfície atinjam um equilíbrio (Equação 7). Do total de energia que chega à superfície terrestre, de modo simplificado, uma parcela é utilizada para aquecer o ar ambiente, definindo o fluxo de calor sensível. Outra parte é utilizada no processo de evapotranspiração, na forma de fluxo de calor latente. E outra parcela é direcionada para o solo, formando o fluxo de calor no solo.

$$R_n \cong LE + G + H \quad (7)$$

em que:

R_n = saldo de radiação (MJ/m²/dia);

Figura 2 - Esquema de um lisímetro de pesagem



Fonte: Adaptada de Dessi (2007).

Nota: A - Recipiente contendo solo local; B - Hastes articuladas conectadas a uma célula de carga que apoiam o recipiente com solo local; C e D - Coletores que medem a água excedente no sistema.

LE = fluxo de calor latente de evaporação (MJ/m²/dia);

G = fluxo de calor no solo (MJ/m²/dia);

H = fluxo de calor sensível no ar (MJ/m²/dia).

O equipamento de RB consiste em medições do Rn, do G, da temperatura e da UR do ar em duas diferentes alturas sobre o dossel de uma cultura. Desse modo, pode-se estimar o balanço de energia na camada de ar próxima e sobre as plantas.

A Figura 3 demonstra a representação dos fluxos de energia na interface entre o ar e a superfície vegetal.

Para medir a temperatura e UR do ar nos níveis de medição, normalmente são utilizados psicrômetros com termômetros de bulbo seco e bulbo úmido.

Neste método, os fluxos de calor sensível e de calor latente não são medidos diretamente. Mas a razão entre esses fluxos (β) pode ser determinada utilizando-se os valores dos gradientes de temperatura e de pressão parcial de vapor entre as duas camadas de medição próximas à superfície vegetada (Equação 8).

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (8)$$

em que:

γ = parâmetro psicrométrico;

ΔT = diferença da temperatura do ar (°C);

Δe_a = diferença de pressão de vapor (kPa).

Desenvolvendo a Equação 8, conforme realizado por Pereira, Villa Nova e Sediya (1997), o valor de β é encontrado pela Equação 9.

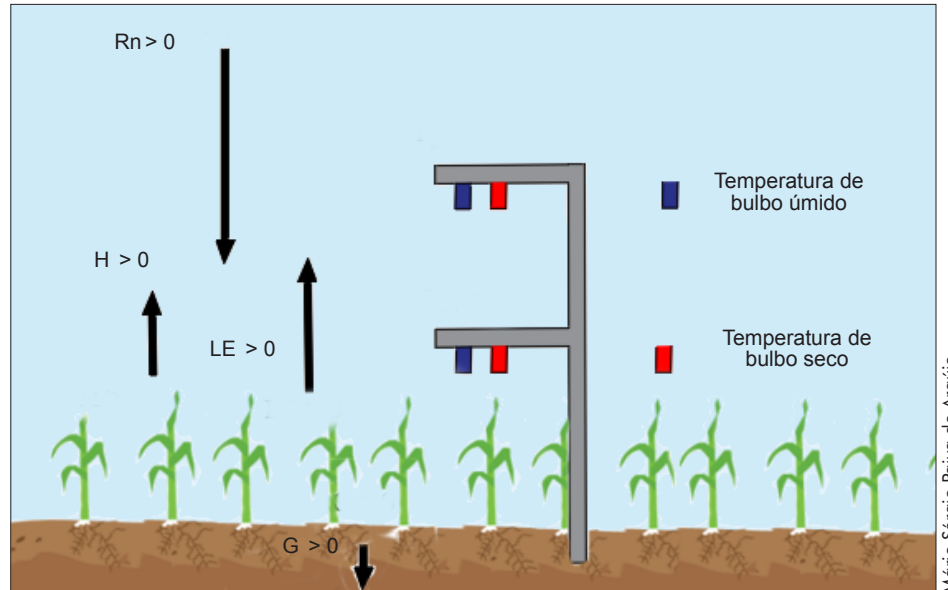
$$\beta = \left(\frac{\Delta T_u}{(1 - W) \cdot \Delta T_s} - 1 \right)^{-1} \quad (9)$$

em que:

ΔT_s = diferença da temperatura do bulbo seco (°C);

ΔT_u = diferença da temperatura do bulbo úmido (°C);

Figura 3 - Representação dos fluxos de energia na interface entre o ar e a superfície vegetal, mostrando a convecção de sinais



Nota: Rn - Saldo de radiação; H - Calor sensível; LE - Calor latente; G - Fluxo de calor no solo.

W = fator de ponderação, adimensional.

O valor de W pode ser encontrado pelas Equações 10 e 11.

$$W = 0,0407 + 0,0145 \cdot T_u, \text{ para } (0^\circ\text{C} < T < 16^\circ\text{C}) \quad (10)$$

$$W = 0,0483 + 0,01 \cdot T_u, \text{ para } (16,1^\circ\text{C} < T < 32^\circ\text{C}) \quad (11)$$

Combinando-se as Equações 7 e 8, o fluxo de calor latente é, então, dado pela Equação 12.

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (12)$$

Desse modo, a ETc pode ser obtida pela Equação 13.

$$ETc = \frac{LE}{\lambda} \quad (13)$$

em que:

λ = calor latente de vaporização da água, e à temperatura ambiente, em torno de 2,45 MJ/m²/dia.

Método da Correlação de Turbilhões Eddy Covariance

O Método da Correlação dos Turbilhões (CT) é um método micrometeorológico utilizado para estimativa de fluxos turbulentos de aerossóis no ar atmosférico. A partir da análise do deslocamento dos turbilhões de ar próximo à cultura fazem-se estimativas dos fluxos de calor sensível e de calor latente.

A técnica de CT correlaciona os desvios temporais de alta frequência da velocidade vertical do vento com os desvios temporais dos componentes de interesse no ar. A densidade média de fluxo, em um período, geralmente de 30 min, é expressa como a covariância entre as flutuações da velocidade vertical do vento e a da concentração de vapor, para fluxo de calor latente, e de temperatura para fluxo de calor sensível.

Uma estação meteorológica utilizada no Método CT é composta por um anemômetro sônico tridimensional, um analisador de gás por espectrometria na faixa de luz infravermelho e sensor de temperatura de alta frequência, saldo radiômetro, sensores de fluxo de calor no solo, sendo estes

conectados a um sistema de aquisição de dados de alta frequência.

Os sensores da estação de CT devem ser instalados acima da superfície de interesse, a uma altura adequada de tal maneira que estejam inseridos dentro de uma camada limite em que a turbulência do ar se desenvolva plenamente, que apresenta um perfil de vento típico de condições de estabilidade atmosférica. Evitando, assim, as condições de advecção e as discrepâncias associadas a um fluxo horizontal indesejado.

Para a correta utilização do Método CT, é necessário que a área de instalação do equipamento seja consideravelmente grande, de modo que proporcione um espaço suficiente para o desenvolvimento das condições de turbulência requeridas. Diante do perfil coespectral que cada componente atmosférico apresenta, é necessário utilizar uma taxa de amostragem elevada para coleta dos dados. Verifica-se que uma frequência de amostragem de 10 Hz é adequada para a porção de alta frequência do coespectro de fluxo (AR-RUDA *et al.*, 2006).

A pressuposição deste método é de que na dinâmica de cada turbilhão são promovidas flutuações igualmente em todos os componentes do ar. E ao medir estas flutuações concomitantemente com a velocidade vertical do vento, em um determinado intervalo de tempo, torna-se possível determinar os fluxos destes componentes sobre a superfície (BURBA; MADSEN; FEESE, 2013).

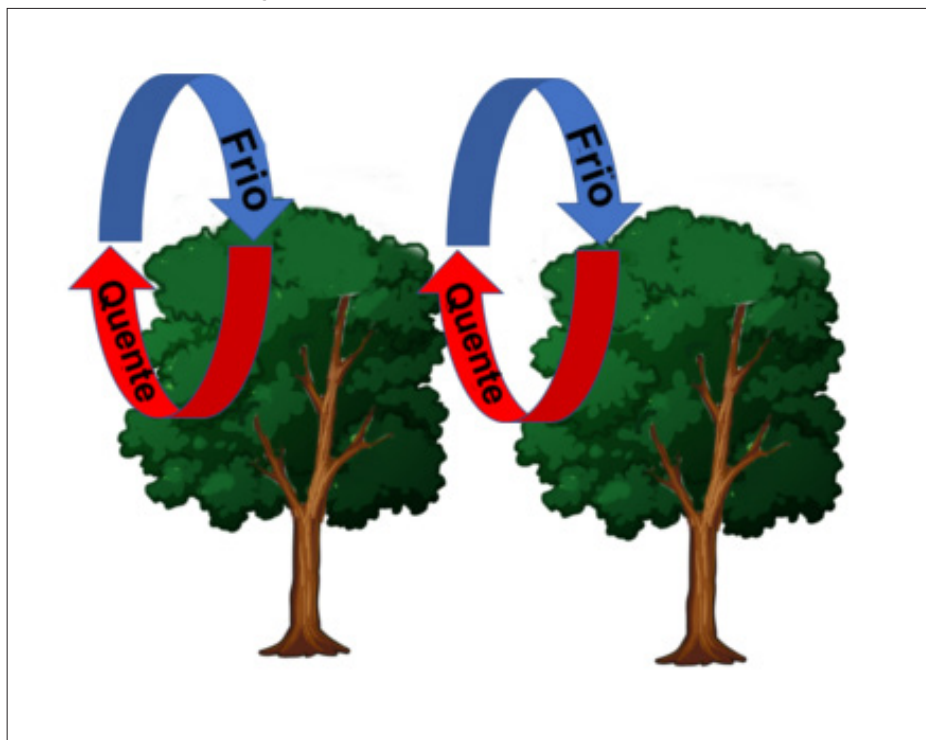
Os turbilhões mais úmidos e mais aquecidos gerados próximos à superfície são deslocados verticalmente para cima, e substituídos por turbilhões menos aquecidos (Fig. 4).

Os fluxos turbulentos de calor sensível e calor latente podem ser expressos, respectivamente, pelas Equações 14 e 15.

$$H = \rho_{\text{ar}} C_p \overline{\omega' \cdot T'} \quad (14)$$

$$LE = L_v C_p \overline{\omega' \cdot q'} \quad (15)$$

Figura 4 - Representação do movimento do ar próximo ao dossel da cultura



Mário Sérgio Paiva de Araújo

em que:

ρ_{ar} = densidade do ar (kg/m^3);

C_p = calor específico do ar à pressão constante ($\text{J}/\text{kg}/\text{K}$);

ω' = componente turbulento das flutuações do vento vertical (m/s);

T' = componente turbulento da temperatura do ar (K);

L_v = calor latente de vaporização da água (J/kg);

q' = componente turbulento da umidade específica do ar (kg/kg).

Medição de fluxo de seiva no caule de plantas com Métodos de Dissipação Térmica

Outras metodologias para determinação da evapotranspiração podem-se basear em medidas diretas fundamentadas na fisiologia das plantas, um exemplo é a medição de fluxo de seiva no caule das plantas com Métodos de Dissipação Térmica.

Métodos de Dissipação Térmica

Os Métodos de Dissipação Térmica usados para medições de fluxo de seiva utilizam uma fonte de calor contínua

ou um pulso de calor, produzido por meio de dispositivos termoeletrônicos, que atuam como indicadores para detectar a velocidade e a taxa de fluxo de seiva. A maioria dos estudos tem sido conduzida com o propósito de investigar a taxa de fluxo de seiva ou transpiração das plantas, considerando uma condição de estado de equilíbrio térmico, seguindo a aplicação do calor na forma de pulso (MARSHALL, 1958; EDWARDS; WARWICK, 1984; COHEN *et al.*, 1988; LÓPEZ-BERNAL; TESTI; VILLALOBOS *et al.*, 2017), de um aquecimento contínuo (ČERMÁK; KUČERA; PENKA, 1976; ČERMÁK; KUČERA; NADEHDINA, 2004) ou de um balanço de calor (PICKARD, 1973; SAKURATANI, 1981; LASCANO *et al.*, 2016). Todos requerem o conhecimento dos sistemas vasculares dos caules, onde circulam as seivas brutas e elaboradas, respectivamente xilema e floema, e das propriedades térmicas dos caules das diferentes espécies de plantas (herbáceas e lenhosas), isto é, calor específico, condutividade térmica e densidades do tecido vegetal e da seiva.

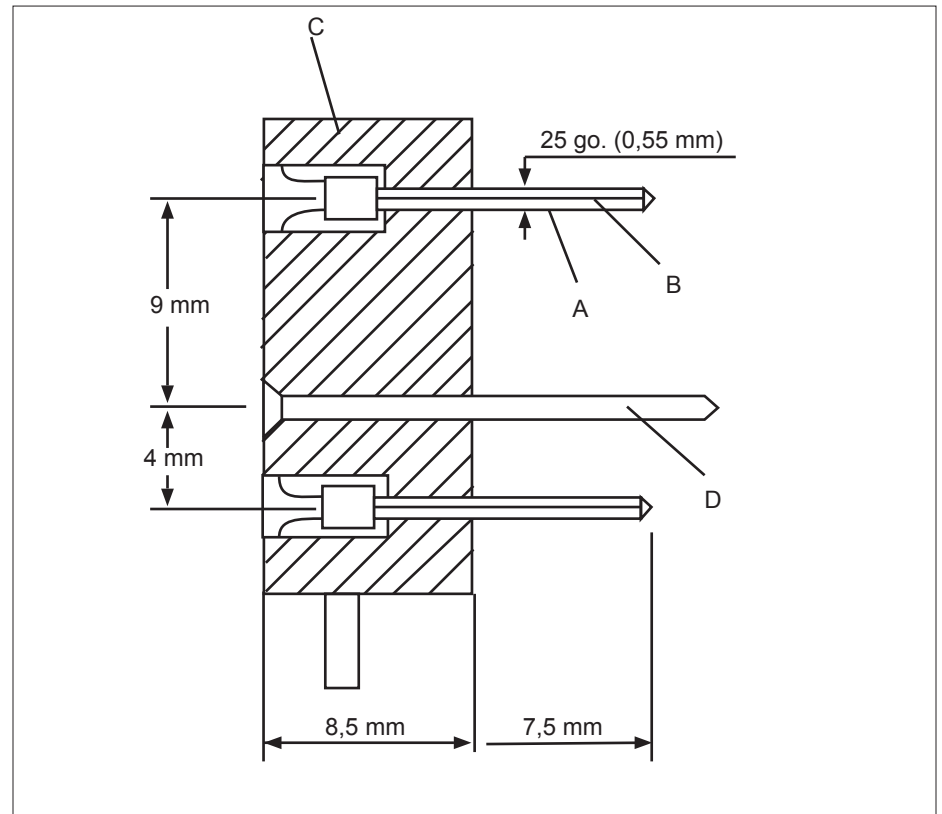
Os Métodos de Dissipação Térmica têm sido usados como padrões na aferição e calibração de outros métodos de estimativa da ETc. A instrumentação usada é portátil, e o sistema de aquisição de dados e controle dos sensores é totalmente automático, possibilitando medições em mais de uma planta ao mesmo tempo e o seu uso na automação de sistemas agrícolas irrigados.

Teoria e instrumentação do Pulso de Calor

A instrumentação utilizada no Método de Pulso de Calor consiste em um conjunto de três sondas montadas em um único bloco (Fig. 5) (COHEN *et al.*, 1988). A sonda do meio é usada como fonte para aplicar o pulso de calor em linha, que geralmente é uma agulha hipodérmica de 0,55 mm de diâmetro externo e 18 mm de comprimento. As outras duas sondas, montadas a 9 mm acima e 4 mm abaixo em relação à sonda do meio e ao sentido de circulação da seiva, são utilizadas para medir a temperatura no caule com termopares de cobre-constantan ou termistores, que são inseridos no interior de agulhas hipodérmicas, o mesmo tipo de agulha usado na aplicação do pulso de calor.

As junções dos termopares ou termistores das duas agulhas são cobertas com uma camada fina de epoxy, para evitar o contato direto com os corpos das agulhas e remover o ar das agulhas. Essas duas agulhas são radialmente inseridas no caule da planta, até a região efetiva de circulação da seiva bruta, onde está o conjunto de vasos do xilema. Geralmente, um pulso de calor de duração de 0,3 s a 0,5 s é aplicado antes de cada medição e a diferença de temperatura entre os termopares ou termistores situados acima e abaixo da sonda de calor é registrada a intervalos de 0,1 s a 0,3 s por meio de um *datalogger*. A fonte de aplicação de pulso de calor é usada na determinação correta da frequência de pulso de tal modo que seja proporcionado um sinal de calor de magnitude suficiente para ser detectado pelos sensores de temperatura e ao mes-

Figura 5 - Conjunto de três sondas montadas em um único bloco



Fonte: Cohen *et al.* (1988).

Nota: A - Agulha hipodérmica; B - Termopares de cobre-constantan ou termistores; C - Bloco onde estão montadas A, B e D; D - Fonte de pulso de calor.

mo tempo não aquecer excessivamente o tecido vegetal (COHEN *et al.*, 1988). O tempo necessário para que esse diferencial de temperatura retorne às condições de equilíbrio é então detectado. As três sondas proporcionam a medição da diferença de temperatura registrada entre dois termopares no caule de um algodoeiro e a sua taxa de transpiração, com a aplicação de um pulso de calor de 0,3 s, em função do tempo (Gráfico 1).

A dissipação do pulso de calor, gerado pela fonte de calor, é regida por processos de transferência de calor em meio poroso (caso do caule de planta) por condução através da parte lignificada do caule (lenho) e convecção pelo movimento de circulação da seiva no caule (MARSHALL, 1958). A velocidade do pulso de calor, principalmente pelo movimento da seiva, é determinada pela Equação 16 (SWANSON; WHITFIELD, 1981):

$$V_{pc} = \frac{X_d - X_u}{2 t_c} \quad (16)$$

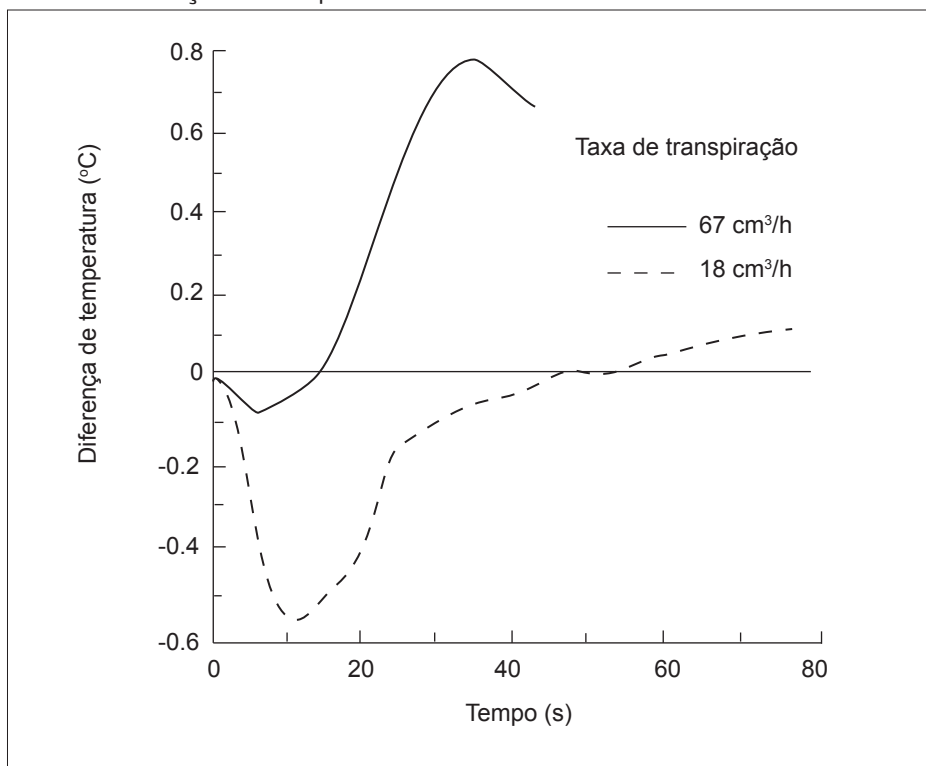
em que:

V_{pc} = velocidade do pulso de calor (mm/s);

t_c = tempo transcorrido até que os sensores (termopares ou termistores) restabeleçam a diferença de temperatura existente antes do aquecimento (s);
 X_u e X_d = distâncias (mm) de posicionamento dos sensores de temperatura situados acima (upstream) e abaixo (downstream) em relação à fonte de calor e ao sentido de circulação da seiva, respectivamente.

Em espécies de plantas lenhosas, Marshall (1958) demonstrou analiticamente que a velocidade de fluxo de seiva é relacionada com a velocidade de dissipação do pulso de calor pela Equação 17.

Gráfico 1 - Medição da diferença de temperatura registrada entre os dois termopares, instalados no caule de um algodoeiro, para duas taxas de transpiração e uma aplicação de pulso de calor de 0,3 s, em função do tempo



Fonte: Cohen et al. (1988).

$$V_s = \frac{\rho_{tv} - C_{tv}}{\rho_s C_s} \quad (17)$$

em que:

V_s = velocidade de fluxo de seiva (mm/s);

ρ_{tv} = densidade do tecido vegetal, incluindo a seiva presente nos interstícios celulares (kg/m^3);

ρ_s = densidade da seiva (kg/m^3);

C_{tv} e C_s = calores específicos do tecido vegetal e da seiva, respectivamente ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$).

Os elementos ρ_s e C_s podem ser estimados como sendo iguais aos da água, enquanto ρ_{tv} e C_{tv} podem ser considerados iguais a 1.530 kg/m^3 e $1.380 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, para espécies lenhosas respectivamente (EDWARDS; WARWICK, 1984).

O procedimento de inserção das três sondas requer que o caule seja perfurado em três pontos, sendo, portanto, invasivo e fazendo com que as medições de fluxo de

seiva sejam modificadas no médio prazo pelo processo de cicatrização da planta, o que requer correções nos modelos que são difíceis de ser implementadas (ALLEN et al., 1998).

Sensores de Balanço de Calor em um segmento do caule

Os Sensores de Balanço de Calor instalados em um segmento do caule de uma planta também são utilizados nas medições automáticas de fluxo de seiva (taxa de transpiração) e são úteis na caracterização de estresse hídrico em plantas herbáceas principalmente. A instrumentação das medições consiste em sondas, flexíveis e ajustáveis, que abraçam os caules das plantas (Fig. 6), que não provocam nenhum distúrbio aos caules, pois não são intrusivas como as do pulso de calor. O fluxo de seiva no caule da planta é determinado pela Equação 18 (SAKURATANI, 1981):

$$F = \frac{Q - kA \frac{(T_u - T_u') + (T_d - T_d')}{\Delta x} - KE}{c(T_d - T_u)} \quad (18)$$

em que:

F = fluxo de seiva (g/s);

Q = quantidade de calor suprida ao segmento de caule (W);

T_u e T_d = temperaturas do caule nos limites inferior e superior do segmento aquecido, respectivamente ($^\circ\text{C}$);

T_u' = temperatura do caule a uma distância Δx (m) abaixo do ponto de medida de T_u ($^\circ\text{C}$);

T_d' = temperatura do caule a uma distância Δx (m) acima do ponto de medida de T_d ($^\circ\text{C}$);

K = é um valor constante (W/v);

E = força eletromotriz (v) do elemento sensor de fluxo de calor preso ao segmento aquecido;

k = condutividade térmica do caule ($\text{W/m}^\circ\text{C}$);

A = área da seção transversal do segmento de caule aquecido (m^2);

c = calor específico da seiva ($\text{J/g}^\circ\text{C}$). A taxa de transpiração T por unidade de área foliar, em g/h/m^2 , foi obtida a partir da determinação de F e da área foliar da planta que está sendo medida.

As sondas de balanço de energia usadas (modelo SGB19) (VAN BAVEL et al., 1994) apresentaram resistência elétrica de 65Ω e voltagem de excitação de $4,5 V_{dc}$ e foram instaladas a $0,25 \text{ m}$ de altura acima do solo no vaso nos caules de quatro plantas de milho (*Zea Mays* L., linhagens L1170 e L13.1.2), cultivadas em vasos em casa de vegetação, que apresentaram diâmetros de $1,53$ e $1,75 \text{ cm}$ e $1,68$ e $1,75 \text{ cm}$, respectivamente. O sistema de aquisição de dados automático envolve *dataloggers*, sensores, computadores portáteis e painel solar (Fig. 6) (GOMIDE et al., 2005). Um software gerenciou todo o processo de aquisição automática de dados e cálculos das taxas de fluxo de seiva ou transpiração (T). O valor usado de condutividade térmica do caule de milho “ k ” foi de $0,54 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Figura 6 - Sistema de aquisição de dados automáticos



Fonte: Gomide *et al.* (2005).

Nota: A - Sonda de balanço de energia; B - Sistema de medição automática de fluxo de seiva de caules de plantas de milho.

O índice de estresse hídrico da planta (IEHP) foi calculado com a Equação 19.

$$\text{IEHP} = 1 - (T_{\text{ES}} / T_{\text{NE}}) \quad (19)$$

em que:

T_{NE} e T_{ES} = taxas de transpiração obtidas em condições hídricas das plantas não estressada (NE) e estressada (ES), respectivamente.

As áreas foliares total das linhagens de milho L1170 e L13.1.2 para o regime hídrico de água no solo não estressado (NE) foram de 0,3724 e 0,2829 m² e para a condição hídrica estressada (ES) de 0,2920 e 0,2130 m², respectivamente. O Gráfico 2 mostra os resultados da variação de fluxo de seiva (T) por unidade de área foliar de duas linhagens L1170 e L13.1.2 em função do tempo, para dois regimes hídricos de água (NE e ES) no solo e diferentes datas. Verifica-se que as sondas de balanço de calor mostraram-se sensíveis para detectar variação de consumo de água das plantas e que os maiores valores de fluxo de seiva ocorreram entre 12 e 15 horas, indicando maior demanda evaporativa da atmosfera no interior da casa de vegetação neste período.

Os resultados indicam que as linhagens L1170 e L13.1.2 mostraram-se mais sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico, respectivamente, uma vez que para a condição de regime hídrico ES a linhagem L1170 apresentou os menores valores de fluxo de seiva (taxa de consumo de água das plantas) e os maiores valores de IEHP. Já a linhagem L13.1.2 apresentou valores bem maiores de T e valores menores de IEHP, indicando tratar-se de uma linhagem mais tolerante à seca. Contudo mesmo a linhagem L13.1.2 chegou a apresentar valores mais elevados de IEHP, indicando provavelmente uma condição favorável para o estresse hídrico manifestar-se nas plantas, isto é, alta demanda evaporativa da atmosfera e limitação de conteúdo de água no solo no interior da casa de vegetação.

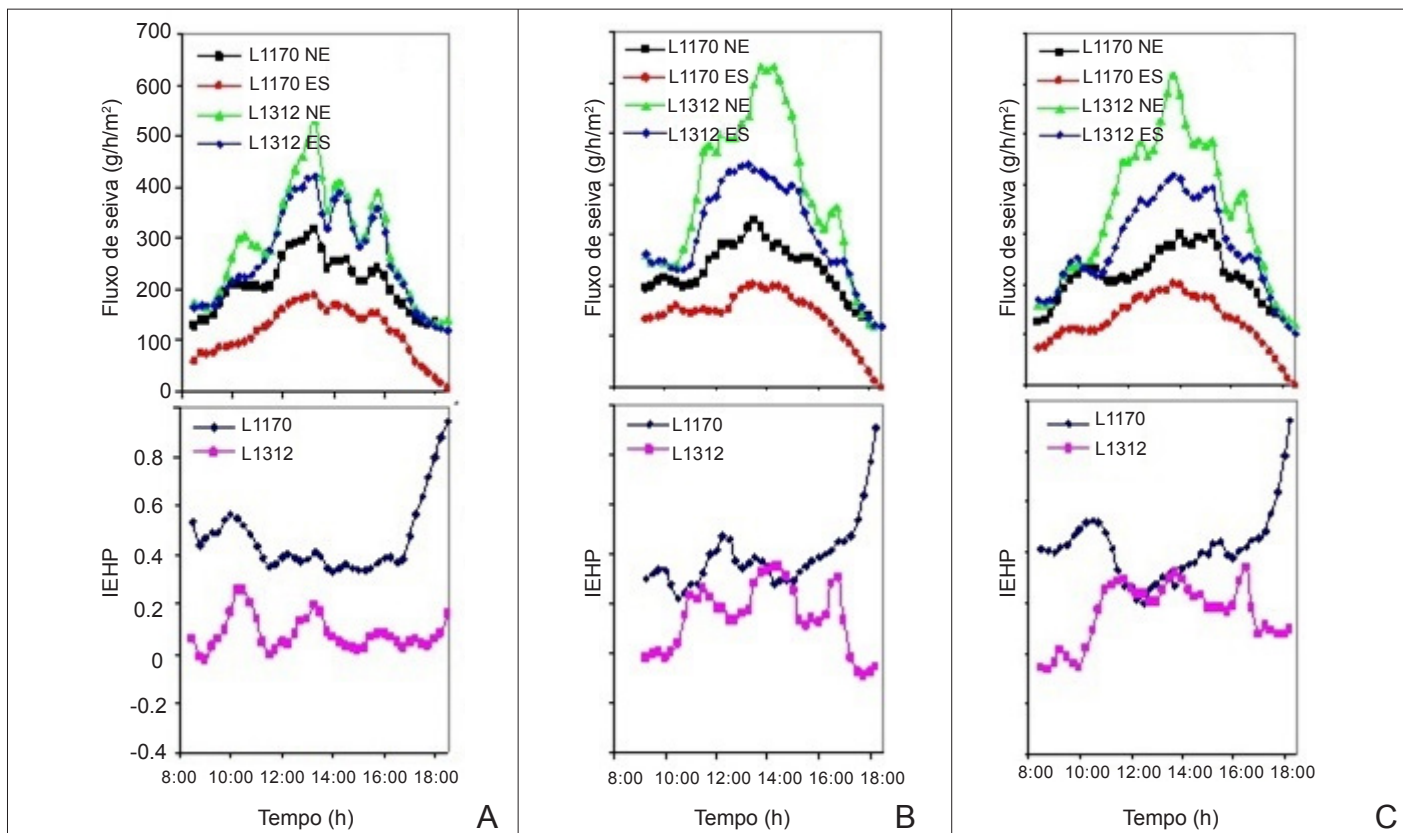
Alguns valores negativos obtidos de IEHP estão relacionados com uma reposição inadequada de água de irrigação aos vasos, principalmente aos vasos mantidos sob regime hídrico não estressado (T máxima ou potencial) e, também, com uma demanda evaporativa da atmosfera desuniforme no interior da casa de vegetação, que pode ocasionar valores de T_{ES} maiores que T_{NE} .

Conclusões das pesquisas com medição de fluxo de seiva

A medição de fluxo de seiva no caule de plantas, com Métodos de Dissipação Térmica disponíveis hoje, ainda está longe de ser simples, barata e confiável o suficiente para se tornar ferramenta diária de controle e tomada de decisão na programação das irrigações de extensas áreas. Apesar das limitações de cada um desses métodos, já está cientificamente comprovado que possuem seus próprios méritos, robustez e todos são adequados à automação, o que viabiliza a sua utilização no futuro em controladores de irrigação inteligentes, principalmente pelos avanços das tecnologias de microprocessamento e de microeletrônica e de desenvolvimento de novos sensores e sondas, envolvidos nas medições de fluxo de seiva.

Mas atualmente não há mais dúvidas que esses métodos são úteis e precisos nos trabalhos de pesquisa, com o desenvolvimento de novos sistemas de sondas de fluxo de seiva, adequadas e fáceis de instalar em caule de plantas herbáceas e lenhosas, que apresentam grande potencial para serem usadas nas medições de

Gráfico 2 - Variação de fluxo de seiva (g/h/m²) e de índice de estresse hídrico da planta (IEHP) de duas linhagens de milho (L1170 e L13.1.2) em função do tempo para regimes hídricos não estressado (NE) e estressado (ES) e diferentes datas



Fonte: Gomide et al. (2005).

Nota: A - 22/4/2001; B - 23/4/2001; C - 25/4/2001.

transpiração em mais de uma planta ao mesmo tempo e na obtenção dos padrões de aferição e calibração de outros métodos de estimativa de ETc.

INFLUÊNCIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO E NO CICLO HIDROLÓGICO

Dentre as diversas aplicações da determinação da evapotranspiração, destacam-se o seu uso em estudos hidrológicos e no balanço da água no solo.

Os recursos hídricos apresentam muitas utilidades, assim como, abastecimento doméstico e industrial, geração de energia elétrica, navegação, recreação, paisagismo, turismo, melhorias climáticas, assimilação e condução de efluentes, preservação da biota aquática, aquicultura e piscicultura, dessedentação de animais e, principalmen-

te, irrigação. Na agricultura irrigada, o uso da água visa o seu suprimento de forma eficiente, para suprir as necessidades hídricas, que, em última instância, ocorrem pela ETc. Assim, a determinação da quantidade de água necessária para a irrigação é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação (BERNARDO et al., 2019).

Segundo Sentelhas (2001), as principais entradas do balanço de água do solo são: a chuva, a irrigação, o orvalho, o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial e a ascensão capilar, enquanto que as saídas são: a evapotranspiração, o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial e a drenagem profunda. O resultado desse balanço é a variação do armazenamento de água no solo. Nessas condições, destaca-se a evapotranspiração como componente fundamental desse

balanço, e pode-se demonstrar, ainda, que, por meio da adaptação da equação do balanço hídrico, a evapotranspiração pode ser obtida para o período analisado, conforme verifica-se na Equação 20, que é utilizada no Método Lisimétrico.

$$ET = P + I + O + Ri + DLi + AC - (20) \\ Ro - DLo - DP \pm \Delta ARM$$

em que:

ET = evapotranspiração (mm);

P = precipitação (mm);

I = irrigação (mm);

O = orvalho (mm);

Ri = escoamento superficial inicial (mm);

DLi = escoamento subsuperficial inicial (mm);

AC = ascensão capilar (mm);

Ro = escoamento superficial final (mm);

DL_o = escoamento subsuperficial final (mm);

DP = drenagem profunda (mm);

ΔARM = variação do armazenamento de água no solo (mm).

Segundo Tucci e Beltrame (2000), informações quantitativas dos processos de evaporação e evapotranspiração constituem importante fase do ciclo hidrológico e, portanto, são utilizadas em numerosos problemas que envolvem o manejo de água. Dessa forma, tanto o planejamento de áreas agrícolas de sequeiro ou irrigadas, a previsão de cheias ou a construção e operação de reservatórios requerem dados de evaporação e transpiração.

No ciclo hidrológico, tanto a água evaporada diretamente dos corpos hídricos, do solo e da superfície, como a água transpirada pelas plantas são subtraídas das vazões que retornam corpos hídricos, uma vez que, quando o recurso hídrico assume a forma gasosa e é transferido para a atmosfera, seu retorno ao ciclo dar-se-á por meio das precipitações, que são computadas como outro componente no balanço do ciclo. Portanto, ressalta-se que, quando a água captada para a irrigação das áreas agrícolas é evapotranspirada, esta retorna ao ciclo hidrológico, muitas vezes em qualidade superior à de quando foi retirada da fonte hídrica.

EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DA CULTURA COM BASE NA SUA EVAPOTRANSPIRAÇÃO: IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT

O uso exagerado da água na agricultura compromete o consumo humano, ocasionando indisponibilidade para a agricultura, redução na produção de alimentos, geração de desemprego e desabastecimento. A redução dos efeitos negativos do uso exagerado da água de irrigação pode ser feita com a redução do dispêndio de água para as culturas dentro de padrões técnicos, que não tragam perdas relevantes de produtividade, mas com expectativa de economia do volume

de água atualmente retirado das fontes hídricas. O uso de técnicas de manejo de água de irrigação que otimizam o uso da água pelas plantas pode manter a irrigação em períodos críticos de secas prolongadas sem prejuízos significativos, evitando reduções de área com consequentes demissões e migração para as cidades (COELHO *et al.*, 2020).

O manejo de irrigação permite determinar o momento de aplicação de água e a quantidade a ser aplicada, o que resulta no tempo de irrigação a ser praticado. Para que esse manejo torne-se efetivo, é necessário fazer o monitoramento do sistema solo-água-planta-atmosfera, para determinar com precisão a necessidade hídrica das culturas e a de irrigação (REIS *et al.*, 2018). O funcionamento desse sistema é dependente dos dados obtidos a ser utilizados para calcular o consumo de água pelas plantas, ou seja, a soma da água evaporada pelo solo (E) e a transpirada pela planta (T), totalizando a evapotranspiração.

Para caracterizar de forma prática e objetiva o sistema solo-água-planta-atmosfera, deve ser considerada a eficiência do uso da água (EUA), que é definida pela quantidade de biomassa produzida por unidade de água aplicada, conforme a Equação 21 apresentada por Gregory, Simmonds e Warren (1997).

$$EUA = \frac{e_w}{1 + \frac{L + R + E_s + D}{E_t}} \quad (21)$$

em que:

e_w = eficiência de transpiração, que é a razão entre a quantidade de carbono fixado pela planta por unidade de água transpirada;

L, R, E_s e D = perdas de água por condução, escoamento superficial, evaporação de água do solo e percolação profunda, respectivamente.

Essa equação leva a uma razão mais simples entre a massa seca produzida por unidade de água transpirada.

A EUA, quando considera a razão entre a produtividade de uma cultura e a lâmina total de água aplicada pela irrigação, é conhecida como produtividade da água ou função de produção da água (STANHILL, 1986). O aumento dessa eficiência, conforme a razão, pode ser conseguido com o incremento da produtividade sem aumentar a lâmina ou o volume de água aplicado à cultura, ou reduzindo a lâmina ou volume de água aplicado à cultura sem, contudo, afetar de forma significativa a produtividade (REIS *et al.*, 2018).

O aumento da produtividade sem elevação da lâmina aplicada é possível, considerando a cultura sob nutrição adequada, com aumento da densidade de plantas. As densidades recomendadas para plantas, principalmente fruteiras, foram muitas vezes definidas em condições não irrigadas. Sob irrigação, o solo é mantido em condições de umidade próximas do limite superior da disponibilidade de água, principalmente com a irrigação por aspersão e a localizada com uso de microaspersores, difusores e miniaspersores. Nessa condição é possível o aumento de densidade das plantas sem elevação significativa da lâmina total requerida, o que vem sendo feito tanto em nível de pesquisa como em nível de produção comercial.

Irrigação com déficit

A produtividade das culturas em relação ao uso de água normalmente segue uma função polinomial quadrática, sendo que a taxa de aumento da produtividade com lâmina de água tende a se reduzir à medida que essa lâmina se aproxima daquela que maximiza fisicamente a produtividade. Nessas imediações da curva da função de produção, os aumentos de produtividade são muito inferiores aos incrementos das lâminas de água. Isso indica que há possibilidade de reduções da lâmina de água destinada ao uso consuntivo da cultura, com redução não significativa da produtividade das culturas. O uso dessa redução de água calculada para irrigação, chamada irrigação com déficit, deve levar em conta

o conhecimento da cultura, de sua tolerância a estresse hídrico no solo (PEREIRA; OWEIS; ZAIRI, 2002) e as relações hídricas destas em suas fases fenológicas. Dois métodos conhecidos dessa alternativa de manejo da água do solo são: regulação do déficit de irrigação (RDI) e secamento parcial da zona radicular (SPR).

A RDI consiste na técnica de manejo de água de irrigação com aplicação de volumes ou lâminas de água inferiores às quantidades calculadas nas fases em que as plantas apresentam baixa sensibilidade ao estresse hídrico do solo, realizando uma irrigação sem déficit nos outros períodos do desenvolvimento da cultura. Dessa forma, consegue-se uma redução no volume total de água aplicado durante o ciclo da cultura, sem prejuízos à produtividade e à qualidade dos frutos. É necessário, para isso, conhecimento das fases nas quais a deficiência de água pode provocar perdas consideráveis de produtividade e qualidade dos frutos (COELHO *et al.*, 2020).

Uma fase da cultura da bananeira em que a água de irrigação pode ser aplicada de forma reduzida é a do crescimento vegetativo do pseudocaule e das folhas, que pode durar de seis a oito meses após o plantio. A outra fase em que a água de irrigação pode ser aplicada de forma reduzida é a fase final de estabilização dos frutos, isto é, quando os frutos atingem o crescimento desejado. Nessa fase final do ciclo, as plantas também são menos sensíveis à aplicação do déficit hídrico. A necessidade hídrica da bananeira, na fase vegetativa e na fase final do crescimento dos frutos é, em média, para diferentes cultivares de bananeira, 69% e 8% da necessidade total da cultura em todo o ciclo, respectivamente (COELHO *et al.*, 2019). A economia de água em todo o ciclo, com redução de 30% da lâmina ou volume de água na fase de desenvolvimento vegetativo ou no final de crescimento do fruto é, em média, de 21% e 2%, respectivamente. Essa economia de água de 21% equivale a 252 mm no ciclo, ou 2.520 m³/ha de

área de bananeira plantada, considerando uma demanda total no ciclo de 1.200 mm de água. Um experimento realizado no Projeto Formoso mostrou, no primeiro ciclo da bananeira ‘Grande Naine’, que a redução de 25% a 50% da lâmina calculada nas fases vegetativa, de floração e de frutificação, não causou diferenças significativas entre as características de produção (Tabela 1).

ARDI também foi aplicada nas culturas do limoeiro e da mangueira. A técnica foi aplicada em lima ácida ‘Tahiti’ no Projeto Jaíba, Minas Gerais, com redução de até 45% da lâmina calculada a partir da fase de pegamento dos frutos até a colheita, e não resultou em redução de produtividade em relação à irrigação e não resultou em redução de produtividade em relação à irrigação na fase de pegamento dos frutos, mas na fase de crescimento e desenvolvimento destes, a redução de produtividade foi de 32% (COELHO FILHO *et al.*, 2006). Nas condições do Sudoeste da Bahia, clima com características similares ao Semiárido mineiro, a regulação do déficit de irrigação com reduções de 20%, 40% e 60% aplicado à cultivar Tommy Atkins não influenciou a produtividade comparada àquela sob aplicação da lâmina total calculada (COTRIM *et al.*, 2017).

O manejo da irrigação usando a alternativa de SPR tem como propósito reduzir a lâmina de água aplicada na irrigação em

até 50%. Requer o uso de gotejamento com duas linhas laterais por fileira de plantas. Na prática deve haver duas linhas de derivação para irrigar as fileiras de plantas, sendo que uma linha é para irrigar um lado fixo das fileiras e a outra para irrigar o outro lado fixo das fileiras. O método consiste em alternar a irrigação nos dois lados da fileira da cultura, de forma que a irrigação fique em apenas um lado da fileira de plantas durante determinado tempo, com alternância dos lados em uma frequência preestabelecida (REIS *et al.*, 2018).

As raízes das plantas sob déficit hídrico do solo em tempo não prolongado tendem a aumentar a produção de ácido abscísico (ABA), que é translocado via xilema, e induz o fechamento parcial dos estômatos nas folhas nos períodos mais quentes do dia, quando o déficit de pressão de vapor do ar é maior. Nessas condições, o fechamento dos estômatos tende a manter o potencial hídrico das folhas. Resultados de estudos indicam que, sob condição de curto tempo de déficit hídrico do solo, o efeito deste na fotossíntese das plantas não é tão acentuado como na transpiração, além do fato de que, no reumedecimento do solo, a planta tende a responder melhor a absorção de água e nutrientes (KANG; ZANG, 2004). Esse conhecimento foi base para o uso do SPR como alternativa do manejo racional da água de irrigação.

Tabela 1 - Produtividades de pencas, de cachos (t/ha), comprimento e diâmetro de fruto de bananeira ‘Grand Naine’ sob aplicação de 75% e 50% da lâmina ou volume de água de irrigação calculado tecnicamente durante as fases de crescimento vegetativo, floração e frutificação

| Fase da cultura | Redução da lâmina (%) | Pencas (t/ha) | Economia de água no ciclo (%) | Comprimento fruto (cm) | Diâmetro fruto (mm) |
|-----------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Todas | Sem redução | 32,60 | 0 | 23,0 | 36 |
| Vegetativa | 25 | 38,03 | 17 | 22,3 | 38 |
| Vegetativa | 50 | 30,64 | 34 | 21,2 | 35 |
| Floração | 25 | 34,89 | 2 | 22,3 | 37 |
| Floração | 50 | 34,06 | 4 | 21,0 | 37 |
| Produção | 25 | 32,46 | 6 | 22,2 | 35 |
| Produção | 50 | 30,67 | 12 | 20,5 | 35 |

Fonte: Coelho *et al.* (2020).

A vantagem da técnica SPR em relação à de irrigação com RDI, principalmente na cultura da bananeira, é que o RDI permite uma redução máxima de 30% da lâmina ou volume calculado em todo o ciclo; nesta, a redução ocorre ao longo de todo o ciclo da cultura e não em determinadas fases, o que permite reduções de 30% a 50% da lâmina calculada em todo o ciclo da cultura (COELHO *et al.*, 2020).

A frequência de alternância do lado irrigado da fileira das plantas é um dos pontos mais importantes no uso da técnica do SPR. Quanto maior o intervalo de alternância do lado irrigado da fileira das plantas, maior o secamento do solo no lado não irrigado. Esse secamento pode ocorrer de forma mais rápida em solo de textura média a arenosa, e mais lenta em solo de textura média a argilosa.

Pesquisas desenvolvidas no Projeto Gorutuba com a cultura da bananeira, em solo franco-argilo-arenoso, com as cultivares BRS Princesa e Grand Naine, e no Projeto Jaíba, em solo franco-arenoso com a cultivar Prata-anã Gorutuba, mostraram que, independentemente do tipo de solo, o intervalo de alternância de lado irrigado foi determinante na redução do volume de água aplicado. Os experimentos avaliaram a redução de 50% da lâmina calculada usando as frequências de alternância do lado irrigado da fileira de plantas de 7, 14 e 21 dias durante dois ciclos de cada cultivar avaliada. As reduções da produtividade para as frequências de 14 e 21 dias foram percentualmente maiores que as reduções para 7 dias. De modo geral, a frequência de 7 dias foi a mais segura para garantir menor redução da produtividade em relação à condição de aplicação da lâmina total calculada. Frequências mais altas que 7 dias, como a de 1 ou 3 dias, podem ser usadas com possibilidades de melhores resultados que 7 dias.

As incertezas decorrentes das mudanças climáticas e o aumento do consumo de água pelos seus múltiplos usos têm reduzido a disponibilidade de recursos

hídricos e impactado diretamente os perímetros públicos de irrigação. Isso ocorreu recentemente no Norte de Minas Gerais, culminando com diminuição de aportes hídricos significativos no Perímetro Irrigado do Gorutuba, onde houve redução de área plantada com consequências tanto para a produção principalmente da bananeira, quanto sociais, com redução de empregos. Em situações como essas, cada vez mais comuns, é justificável o uso de técnicas que proporcionam 50% de redução da água de irrigação aplicada para uma perda de produtividade de até 16%, que pode ou não ocorrer (COELHO *et al.*, 2020). Adicionalmente, deve-se considerar o custo de bombeamento por m³ de água somado ao próprio custo da água durante o ciclo da bananeira, o que constituirá vantagens ainda maiores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais avanços das tecnologias atuais utilizadas como ferramenta diária de controle e tomada de decisão na programação de áreas irrigadas tornam-se adequados inclusive para serem utilizados em automação de sistemas agrícolas irrigados, otimizando desse modo o uso de água pelas culturas. Resultados de pesquisa têm mostrado que é possível o aumento de produtividade sem elevação ou até mesmo com redução da lâmina de água aplicada, considerando a cultura sob nutrição adequada, conforme comprovado em Gorutuba e Jaíba com a cultura da bananeira, aonde independentemente do tipo de solo, verificou-se ser mais segura a frequência de irrigação de 7 dias, para garantir menor redução da produtividade para uma redução de 50% da lâmina calculada e de frequências de alternância de irrigação de 7, 14 e 21 dias, durante dois ciclos de cada cultivar de banana avaliada. Essa redução de volume de água constitui vantagens econômicas ainda maiores, quando se leva em conta o custo de bombeamento por m³ de água, somado ao próprio custo da água durante o ciclo de uma cultura.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).
- ARAÚJO, M.S.P. de. **Coefficientes da cultura e produtividade do consórcio de milho caatingueiro com feijão-de-porco e do repolho plantado na palhada.** 2016. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- ARRUDA, J.C. *et al.* Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.21, n.3, p.21-28, 2006.
- BERNARDO, S. *et al.* **Manual de irrigação.** 9.ed.atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545p.
- BURBA, G.; MADSEN, R.; FEESE, K. Eddy covariance method for CO₂ emission measurements in CCUS applications: principles, instrumentation and software. **Energy Procedia**, v.40, p.329-336, 2013.
- CAMPECHE, L.F.M. de S. *et al.* Lisímetro de pesagem de grande porte: parte I - desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.519-525, maio 2011.
- ČERMÁK, J.; KUČERA, J.; NADEZHINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. **Trees: structure and function**, v.18, n.5, p.529-546, Sept. 2004.
- ČERMÁK, J., KUČERA, J.; PENKA, M. Improvement of the method of sap flow rate determination in full-grown trees based on heat balance with direct electric heating of xylem. **Biologia Plantarum**, v.18, n.2, p.105-110, Mar. 1976.
- COELHO, E.F. *et al.* Soil-water-plant relationship and fruit yield under partial root-zone drying irrigation on banana crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.76, n.5, p.362-367, Sept./Oct. 2019.
- COELHO, E.F. *et al.* **Técnicas de manejo de água de irrigação para reduzir a demanda de água em bananeira.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020. 14p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 128).

COELHO FILHO, M.A. *et al.* Uso regulado do déficit de irrigação nas fases de crescimento de frutos de lima ácida Tahiti irrigado por gotejamento. *In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM*, 16., 2006, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: ABID, 2006. 1 CD-ROM. Tema: Agricultura irrigada no Cerrado.

COHEN, Y. *et al.* Calibrated heat pulse method for determining water uptake in cotton. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.398-402, May/June 1988.

COTRIM, C.E. *et al.* Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira 'Tommy atkins' sob gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.8, p.2229-2238, 2017.

DESSI, G. Schematic representation of a weighing lysimeter. *In: WIKIMEDIA COMMONS*. [San Francisco, CA]: Free Software Foundation, 2007. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lysimeter_g1.svg. Acesso em: 20 set. 2020.

EDWARDS, W.R.N.; WARWICK, N.W.M. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.27, n.4, p.537-543, 1984.

GOMIDE, R.L. *et al.* Caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zeamays L.*) com sondas de fluxo de seiva. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.344-354, 2005.

GREGORY, P.J.; SIMMONDS, L.P.; WARREN, G.P. Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. Biological sciences, London, v.352, n.1356, p.987-996, July 1997.

KANG, S.; ZHANG, J. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.407, p.2437-2446, Nov. 2004.

LASCANO, R.J. *et al.* The stem heat balance method to measure transpiration: evaluation of a new sensor. **Agricultural Sciences**, v.7, n.9, p.604-620, Sept. 2016.

LÓPEZ-BERNAL, A.; TESTI, L.; VILLALOBOS, F.J. A single-probe heat pulse method for estimating sap velocity in trees. **New**

Phytologist, v.216, n.1, p.321-329, Oct. 2017.

MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, v.33, n.6, p.385-396, Nov. 1958.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SE-DIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, L.S., OWEIS, T., ZAIRI, A. Irrigation management under scarcity. **Agricultural Irrigation Management**, v.57, n.3, p.155-206, Dec. 2002.

PICKARD, W.F. A heat pulse method of measuring water flux in woody plant stems. **Mathematical Biosciences**, v.16, n.3/4, p.247-262, Apr. 1973.

REIS, J.B.R. da S. *et al.* Irrigação: manejo apropriado para evitar desperdício de água. **Informe Agropecuário**. Gestão de recursos hídricos e ambientais, Belo Horizonte, v.39, n.304, p.53-64, 2018.

REIS, M.M. *et al.* Analysis of reference evapotranspiration of Janaúba, Minas Gerais. **Idesia**, Arica, v.34, n.4, p.55-62, Aug. 2016.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, v.37, n.1, p.9-17, 1981.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. *In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M.* (ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p.63-120. (Série Engenharia Agrícola, 1).

SIMÃO, F.R. **Estudo de diferentes estratégias de manejo da irrigação de cinco importantes fruteiras na região Norte de Minas Gerais**. 2004. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

STANHILL, G. Water use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.39, p.53-85, 1986.

SWANSON, R.H.; WHITFIELD, D.W.A. A numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. **Journal of Experimental Botany**, v.32, n.1, p.221-239, Feb. 1981.

TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.E.S. Evaporação e evapotranspiração. *In: TUCCI, C.E.M.* (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH: UFRGS, 2000. p.253-287.

VAN BAVEL, M.G. *et al.* **Flow 32[™] installation and operation manual, version 2.12 software**. Houston, Texas: Dynamax, 1994. 178p.

Publicações para download

Informe Agropecuário,
Folderes,
Boletim Técnico,
Cartilhas,
Circulares técnicas e
Série Documentos



Confira no site
www.epamig.br



Avaliação do uso da água para irrigação no estado de Minas Gerais

Marília Carvalho de Melo¹, Marcelo Fonseca², Marcus Vinicius Araujo Mello de Oliveira³, Fúlvio Rodriguez Simão⁴, Flávio Gonçalves Oliveira⁵, Ana Silvia Pereira Santos⁶

Resumo - O setor agrícola tem na água um dos seus principais insumos produtivos, principalmente para a agricultura irrigada. Assim, torna-se necessário conhecer o cenário do uso da água para agricultura no estado de Minas Gerais, as normas de regulação do uso, as tendências e os desafios para a sustentabilidade da produção agrícola. Estudos como avanços tecnológicos e a regulação racional do uso da água para irrigação são importantes para que a agricultura irrigada sustentável mantenha-se como atividade geradora de emprego e renda, preservando os recursos hídricos e ambientais.

Palavras-chave: Agricultura irrigada. Recurso hídrico. Outorga. Igam.

Evaluation of water use for irrigation in the state of Minas Gerais

Abstract - The agricultural sector has water as one of its main productive inputs, especially for irrigated agriculture. The scenario of the use of water for agriculture in the state of Minas Gerais was presented, discussing the rules for regulating the use, trends, and challenges for the sustainability of agricultural production. Studies, technological advances and the rational regulation of the use of water for irrigation are necessary for sustainable irrigated agriculture to remain an important activity that generates jobs and income, preserving water and environmental resources.

Keywords: Irrigated agriculture. Water resources. Water grant. Igam.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola, reconhecidamente importante para a produção de alimentos e garantia da segurança alimentar mundial, tem na água um dos seus principais insumos produtivos. Estudos no Brasil e no mundo apontam que a agricultura responde por cerca de 70% do uso da água (BRUINSMA, 2003; GRUÈRE; SHIGEMITSU; CRAWFORD, 2020) e projeções futuras demonstram que a demanda de água para a produção de alimentos deve ainda crescer

50% em 2030 e 70% em 2050 (UNESCO, 2016). Em estudo elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) concluiu-se que a agricultura irrigada foi responsável por 49,8% da retirada total de água em 2018 (ANA, 2019a). No entanto segundo Rodrigues (2020), a quantidade de água utilizada pela irrigação no Brasil representa cerca de 0,6% da água disponível nos rios.

O estado de Minas Gerais tem-se destacado na agricultura. O produto interno bruto (PIB) do agronegócio de Minas

Gerais, calculado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), cresceu 5,12% em 2019, representando 36% do PIB estadual (BARROS *et al.*, 2020). Segundo a Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais (FAEMG, 2020), o valor bruto da produção (VBP) agropecuária em Minas Gerais, para 2020, foi estimado em R\$ 76,9 bilhões, alta de 13,7% em relação a 2019.

¹ Eng. Civil, D.Sc., Secretária SEMAD/Profª UNINCOR, Belo Horizonte, MG, marilia.melo@meioambiente.mg.gov.br.

² Eng. Civil, M.Sc., Diretor-Geral IGAM, Belo Horizonte, MG, marcelo.fonseca@meioambiente.mg.gov.br.

³ Eng. Agrônomo, D.Sc., Especialista Recursos Hídricos ANA, Brasília, DF, marcus.oliveira@ana.gov.br.

⁴ Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG-DPPE, Belo Horizonte, MG, fulvio@epamig.br.

⁵ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

⁶ Eng. Civil, D.Sc., Profª Adj. UERJ - Depto. Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, ana.pereira@uerj.br.

Submissão: 13/8/2020 - Aprovação: 19/10/2020

É nesse sentido, sendo a água um insumo estratégico para a agricultura, que a gestão de recursos hídricos, com vistas à segurança hídrica, parte de um esforço conjunto como principal setor usuário de água, especialmente no fomento à inovação tecnológica, no emprego de técnicas de uso eficiente de água e fontes alternativas, como o reúso.

A política de recursos hídricos em Minas Gerais, nos moldes atuais, foi instituída pela Lei nº 13.199, de 29/1/1999 (MINAS GERAIS, 1999), e tem o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) como o órgão gestor e responsável pela regulação do uso, por meio do instrumento de gestão designado como outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Atualmente no Estado são 130 mil usos regularizados, perfazendo um total de 1.736 m³/s de vazão outorgada. Deste total, 48 mil outorgas, águas superficiais e subterrâneas, foram concedidas para a irrigação, que representa 54% da vazão outorgada no Estado.

Furquim e Abdala (2018/2019) afirmam que a irrigação configura o conjunto de técnicas que, por meio do deslocamento da água no tempo e no espaço, possibilitam ajustar os recursos naturais às demandas agrícolas em determinada região. Já segundo Erthal e Berticilli (2018), a irrigação tem por finalidade proporcionar água às culturas de maneira que atenda suas exigências hídricas durante todo seu ciclo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade. De acordo com o World Bank (2020), mundialmente a agricultura irrigada representa 20% da área total cultivada e contribui com 40% da produção de alimento em todo o mundo, reforçando a importância da irrigação para aumento da produtividade.

É importante que se compreenda como se dá a inserção do uso da água na agricultura no contexto ciclo hidrológico e da cultura. Para isso é necessário saber em que pese a grande captação da água para o suprimento da demanda hídrica das culturas pela irrigação (BERNARDO *et al.*, 2019),

e ainda, que a água seja constituinte de até 90% de determinadas plantas (KRAMER; BOYER, 1995), como as produtividades agrícolas variam entre 600 kg/ha e 6 t/ha (PAULA JÚNIOR; VENZON; 2019), para necessidades de água variando de 300 a 1.200 mm por ciclo (BERNARDO *et al.*, 2019). Dessa forma é possível demonstrar que menos de 1% do total da água disponibilizada para as plantas cultivadas é de fato incorporada à biomassa dos produtos agrícolas, sendo a fração restante evapotranspirada. Como a somatória das áreas destinadas à preservação da vegetação nativa nas propriedades agrícolas com as áreas ocupadas com pastagens, lavouras e florestas plantadas é superior a 55% do território brasileiro (EMBRAPA TERRITORIAL, 2020), pode-se inferir que muito provavelmente a maior parte das águas provenientes das precipitações é captada nas propriedades agrícolas. Assim, com um planejamento racional da ocupação das propriedades agrícolas irrigantes e técnicas conservacionistas de água e solo, uma propriedade agrícola irrigante bem planejada pode até, em teoria, contribuir por uma melhoria para a infiltração de água para os corpos hídricos.

Em 2017 a área irrigada, correspondente a apenas 10% da área utilizada para cultivos no Brasil, foi responsável por pelo menos 20% da produção agrícola nacional (BERNARDO *et al.*, 2019). Este fato corrobora que a irrigação gera um aumento de produtividade, possibilitando obter uma mesma produção em área menor em relação à agricultura de sequeiro. Portanto, o uso da irrigação, potencialmente, nestes casos, poderia implicar na disponibilização maior de áreas para cobertura vegetal, mantendo a produtividade da propriedade, em planos de readequação ambiental, por exemplo.

Por outro lado, devem-se destacar grandes desafios no setor para garantir de fato a eficiência de uso da água (EUA). Segundo o Censo Agropecuário de 2017, 1.007.036 propriedades rurais no Brasil possuem assistência técnica e 4.064.296 não. Em

Minas Gerais a proporção é semelhante com 158.771 propriedades com assistência técnica e 448.469 sem, o que representa que aproximadamente 74% das propriedades rurais não dispõem de assistência técnica (CENSO AGROPECUÁRIO, 2017). Em estudo realizado no Perímetro Irrigado do Gorutuba, em Janaúba, MG, concluiu-se que 63% dos irrigantes não faziam manejo dos seus sistemas de irrigação, sendo que quase a totalidade desses agricultores eram familiares e recebiam assistência técnica governamental (MELO, 2011). Adicionalmente, existe uma concentração das maiores demandas para irrigação em regiões específicas do Estado, o que em alguns casos gera conflito entre usuários do mesmo setor de irrigação e em outros com diferentes usos na mesma bacia hidrográfica.

Furquim e Abdala (2018/2019) defendem que é preciso considerar que a gestão sustentável de uso da água deve buscar o equilíbrio entre sua taxa de recomposição e sua taxa de exploração, de forma que atendam os usos consuntivos, não consuntivos e a conservação dos ecossistemas, afirmativa que reforça o conceito de segurança hídrica preconizado por diversas organizações internacionais.

É nesse contexto da importância estratégica da agricultura para o desenvolvimento social e econômico do Estado que a gestão eficiente da disponibilidade hídrica, bem como da demanda por água na agricultura, é fator-chave para o crescimento e a sustentabilidade do próprio setor.

O presente artigo tem por objetivo apresentar o cenário do uso da água para agricultura no estado de Minas Gerais, discutir as normas de regulação do uso, as tendências e os desafios para a sustentabilidade da produção agrícola.

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS

A outorga de direito de uso de recursos hídricos em Minas Gerais foi regulamentada inicialmente pelo Igam por meio da

Portaria nº 30, de 15/6/1993 alterada pela Portaria nº 10 de 30/12/1998 (IGAM, 1993, 1999) que estabeleceu o limite outorgável no Estado em 30% da $Q_{7,10}$ em todas as bacias hidrográficas para águas superficiais. Já o limite para o uso de água subterrânea é definido por meio do teste de bombeamento realizado por 24 horas, a fim de estimar o limite explorável e o tempo máximo de captação. Em 2004, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Cerh-MG) regulamentou o critério de uso insignificante para o Estado por meio da Deliberação Normativa nº 9, de 16/6/2004 (MINAS GERAIS, 2004), e foi estabelecido então um limite para captação direta em 1 L/s e reservação de 5 mil m^3 para a região Centro Sul e 0,5 L/s e 3 mil m^3 para a porção Norte do Estado. Na mesma norma foi ainda estabelecido o limite de 10 m^3 por dia para captação de água subterrânea por meio de surgências ou poços manuais em todo o território do Estado.

No ano de 2007, o Igam promoveu uma ampla campanha de regularização de recursos hídricos, “Água: faça o uso legal”, instituída pela Portaria nº 30, de 22/8/2007 (MINAS GERAIS, 2007). O resultado foi o cadastro de mais de 300 mil usuários de água que receberam o benefício da regularidade temporária até a convocação do Igam.

Em 2009, foi editada pelo Cerh-MG a Deliberação Normativa nº 33, de 20/11/2009 (MINAS GERAIS, 2009b), alterada pela Deliberação Normativa nº 34, de 16/8/2010 (MINAS GERAIS, 2010) que, tendo em vista a dificuldade de acesso às águas superficiais no Norte do Estado (região Semiárida), estabeleceu critério de uso insignificante para poços tubulares, limitando a 14 mil litros/dia. No ano de 2010, o Igam publicou a Portaria nº 49, de 1/7/2010 (IGAM, 2010) que avançou em regulamentações para outorga antes inexistentes ou dispersas em diversos normativos, o que dificultava o acesso à informação.

No ano de 2012, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e o Igam por meio da Resolução Conjunta nº 1.548, de 29/3/2012

(MINAS GERAIS, 2012) revisaram os limites outorgáveis em algumas bacias hidrográficas passando de 30% da $Q_{7,10}$ para 50%. Destaca-se que de 2011 até o ano de 2018 a análise e a concessão das outorgas ficaram sob responsabilidade da Semad, por meio das Superintendências Regionais de Meio Ambiente (Suprams).

Em abril de 2018, o Igam reestabeleceu a competência de análise de outorga e iniciou um processo de modernização das normas de outorga, por meio do Decreto nº 47.705, de 4/9/2019 (MINAS GERAIS, 2019) e editando a Portaria nº 48, de 4/10/2019 (IGAM, 2019), sendo que essa última compilou todas as normas até então editadas em uma única norma. As principais inovações trazidas foram a simplificação dos procedimentos para obtenção da outorga, incorporando os princípios da Política de Simplificação, extensão da validade das outorgas, novas regras para outorgas em Áreas de Conflito e outorga emergencial e a implementação do sistema de outorga digital.

No mesmo ano de 2019, o Igam propôs ao Cerh-MG a alteração do critério de uso insignificante para reservação de água na região do Semiárido, a fim de fomentar a reservação em regiões onde a disponibilidade hídrica é naturalmente pequena. Assim, o Cerh-MG aprovou a alteração do critério de reservação de 3 mil m^3 para 40 mil m^3 , que foi alinhado aos critérios estabelecidos em outras regiões Semiáridas do Nordeste brasileiro.

A legislação de Minas Gerais possui uma especificidade em relação aos outros Estados, quando os empreendimentos são considerados de grande porte e potencial poluidor, o procedimento de outorga necessita ser apreciado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), além disso, os Comitês apresentam papel importante nas propostas de alocação negociada decorrentes das situações de conflito. Três normas supralegais referenciam-se à operacionalização desta competência dos Comitês:

- Deliberação Normativa Cerh-MG nº 7, de 4/11/2002 (MINAS GERAIS, 2002);
- Deliberação Normativa Cerh-MG nº 31, de 26/8/2009 (MINAS GERAIS, 2009a);
- Portaria Igam nº 26, de 5/6/2020 (IGAM, 2020).

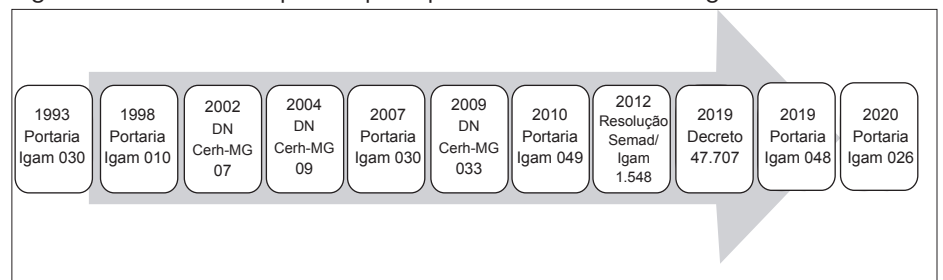
A Portaria Igam nº 26, de 26/6/2020 instituiu a Comissão Gestora Local, organização local de usuários de água com a função gerenciar a alocação de água nas áreas declaradas com conflito pelo uso (IGAM, 2020).

A Figura 1 apresenta a linha do tempo das principais normas que regulamentam outorga em Minas Gerais.

Usos da água em Minas Gerais

Segundo a ANA (2019a), a demanda hídrica no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas,

Figura 1 - Linha do tempo das principais normas sobre outorga em Minas Gerais



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Igam - Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Cerh-MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Semad - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; DN - Deliberação Normativa.

com previsão de um novo incremento de 26% até 2030. O uso de água em Minas Gerais também apresentou tendência de crescimento (Gráfico 1 e Mapa 1) na última década (2009-2019), corroborando o comportamento nacional. No entanto, o índice de incremento mineiro encontra-se bem superior à média nacional, atingindo um crescimento de 178% em água superficial e 602% em água subterrânea, com destaque para o último biênio.

Quando se avalia o número de requisições de uso da água ao longo do período (Gráficos 2A e 2B), observa-se o mesmo

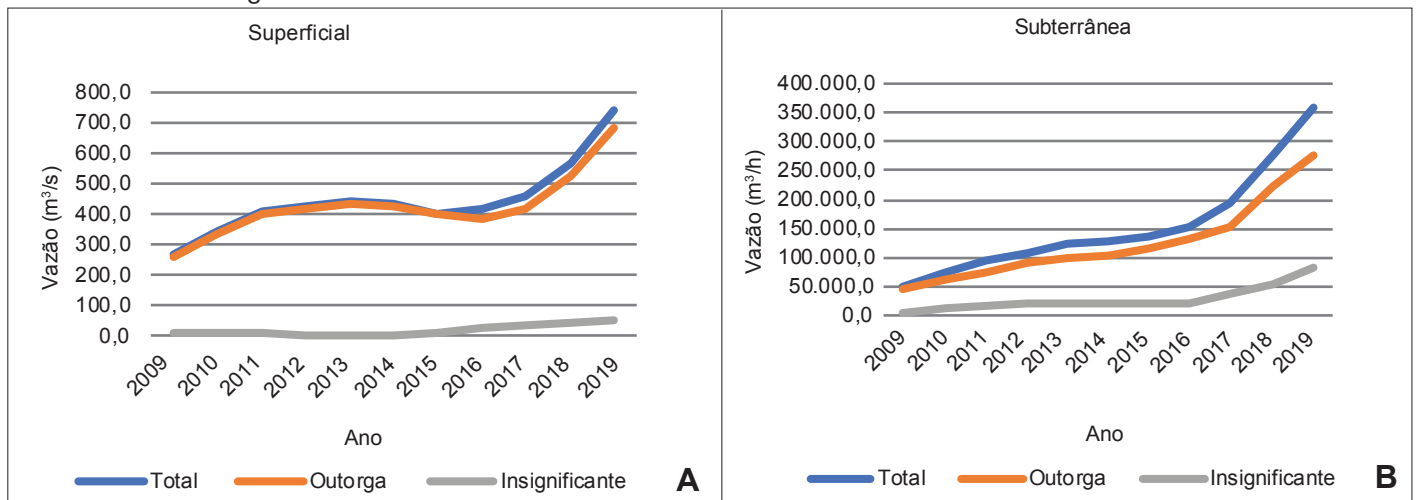
crescimento nos últimos anos. Cabe destacar que a categoria de usos insignificantes foi a responsável por essa evolução, em especial após o lançamento do sistema on-line em maio de 2017 (IGAM, 2017), enquanto os pedidos de outorga permanecem na média, com pequenas oscilações. No entanto em uma análise conjunta, os Gráficos 1A, 1B, 2A e 2B demonstram que houve um aumento expressivo da vazão outorgada no período, em contraponto ao número de requisições de outorga (processos formalizados) que permaneceu na média. Esse comportamento divergente

reflete o esforço do órgão gestor em reduzir o passivo de processos de outorga após 2018, quando o Igam reassume a competência para a análise dos processos de outorga, garantindo assim um aumento de usuários de recursos hídricos devidamente regularizados (Gráfico 2C).

Uso da água para irrigação

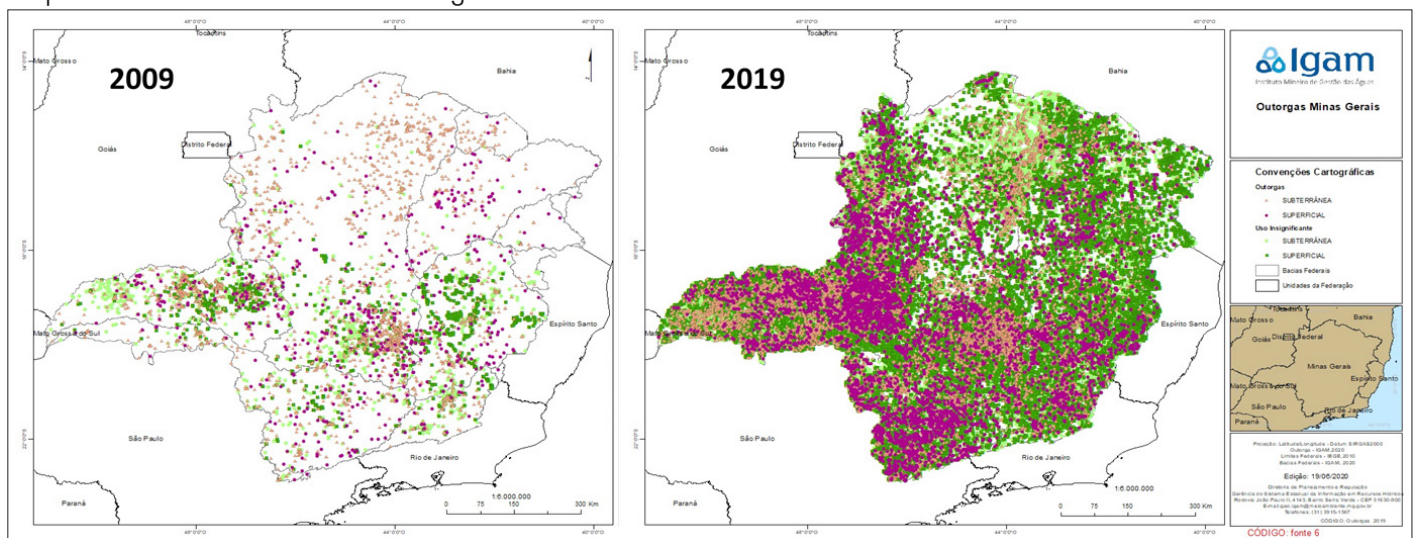
A irrigação, em diversas regiões do mundo, como no Brasil (ANA, 2019a), é considerada a responsável pelo maior uso consuntivo da água (quando o recurso hídrico é captado de sua fonte para seu uso).

Gráfico 1 - Vazão regularizada



Fonte: Elaboração dos autores.

Mapa 1 - Usos de recursos hídricos regularizados



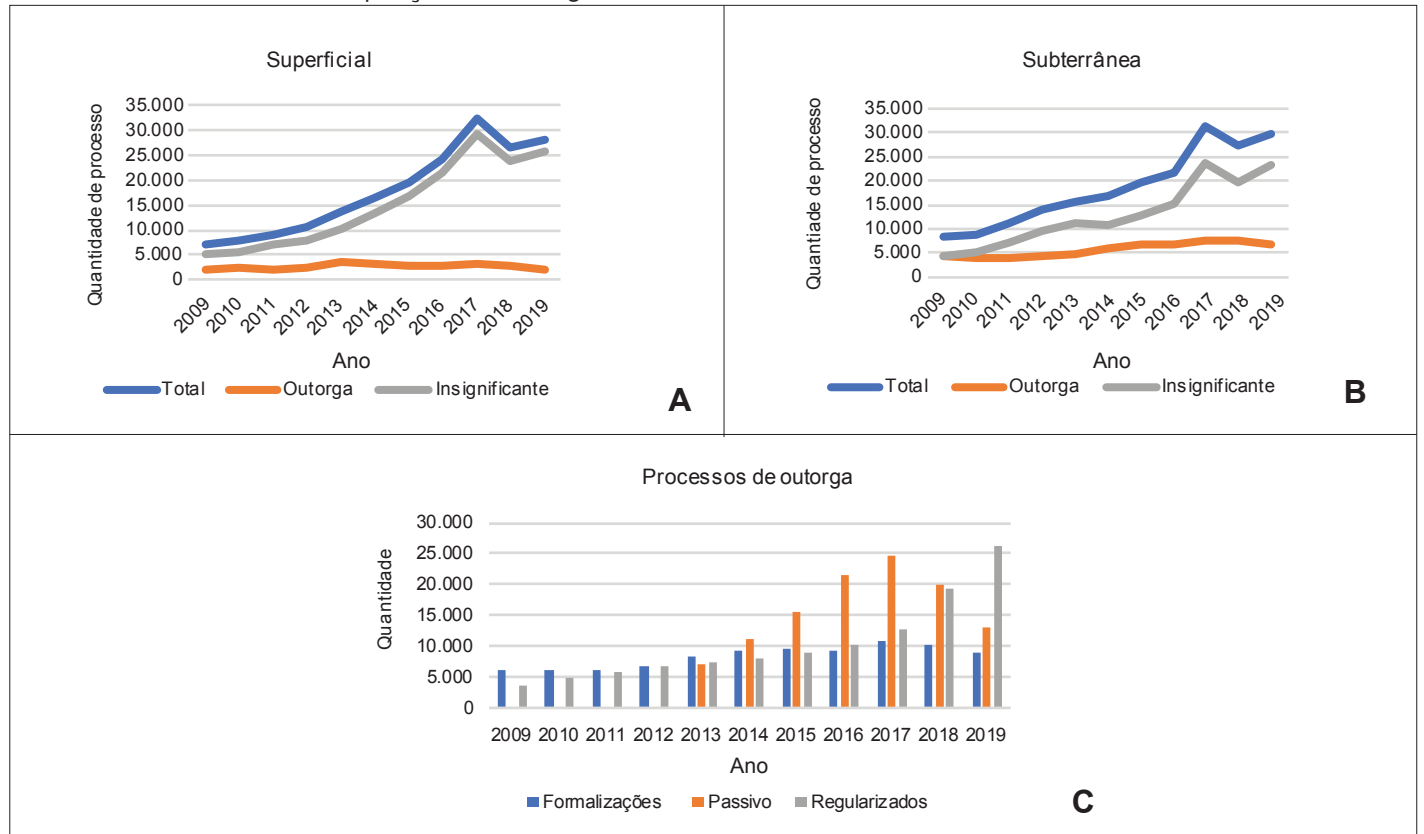
Fonte: Elaboração dos autores.

No estado de Minas Gerais o setor agrícola também se configura como o principal usuário tanto em termos de número de outorgas concedidas, como vazão utilizada (Gráficos 3A e 3B).

Usos de águas superficiais
São consideradas águas superficiais, água de rios, lagos, represas entre outras, que são as principais fontes utilizadas pela

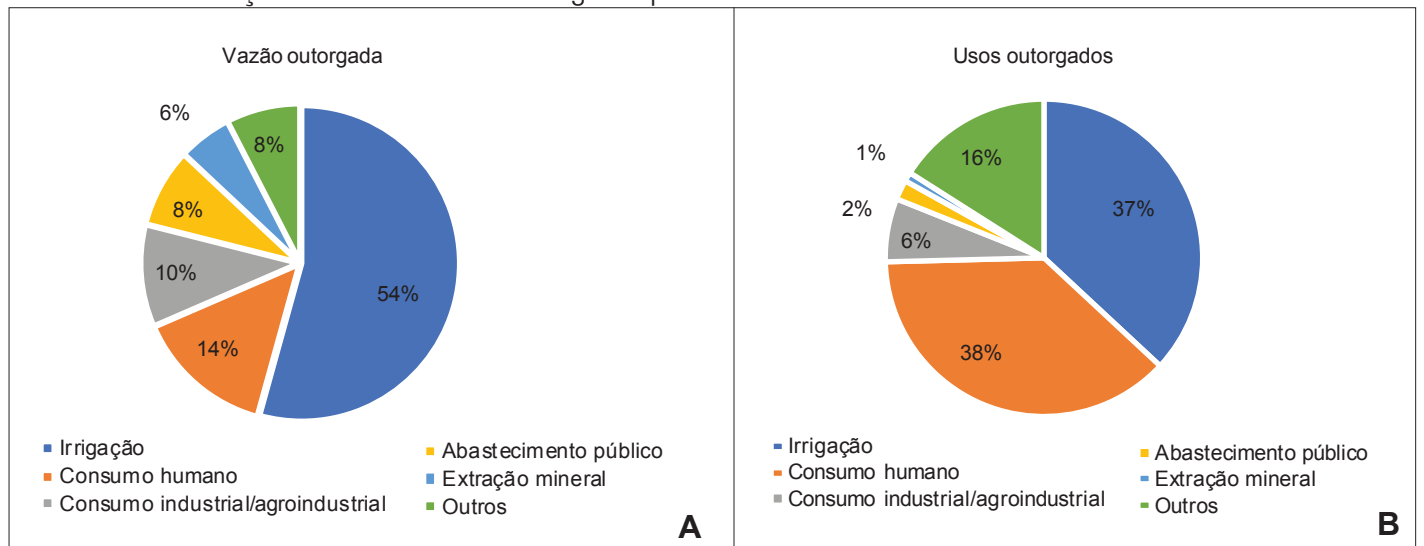
agricultura irrigada no Brasil e em Minas Gerais. Destaca-se que, para este tipo de fonte hídrica, em geral, estão disponíveis séries históricas de dados fluviométricos e modelos de extrapolação de dados adequa-

Gráfico 2 - Quantidade de requisições de outorga de direito de uso de recursos hídricos



Fonte: Elaboração dos autores.

Gráfico 3 - Distribuição das vazões e usos outorgados por finalidades



Fonte: Elaboração dos autores.

dos, sendo assim possível fazer uma gestão mais segura no que se refere à disponibilidade dos recursos hídricos superficiais.

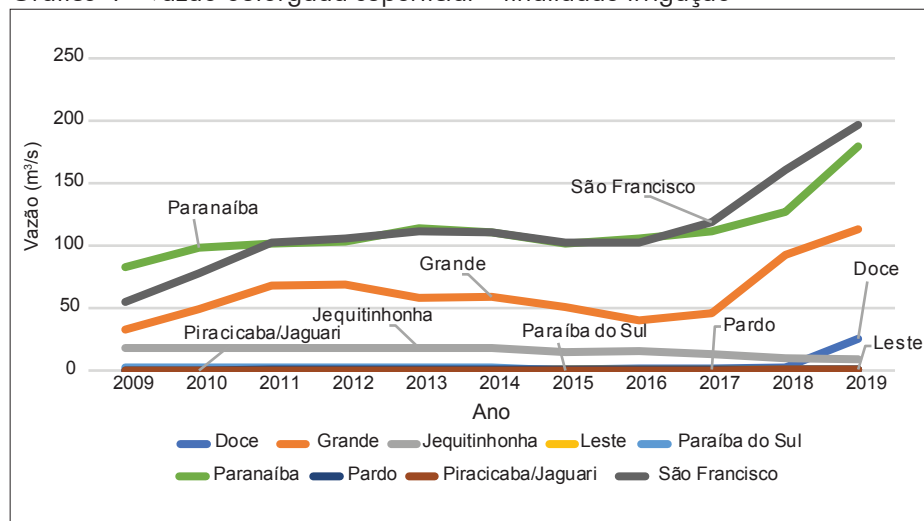
As Bacias dos Rios São Francisco, Paranaíba e Grande (Gráfico 4) disponibilizam em média 93% de toda a água superficial utilizada para a agricultura irrigada em Minas Gerais, para a qual, em 2019, foram destinados 563,9 m³/s, o que corresponde a 76% da vazão outorgada. Esse percentual encontra-se acima da média nacional que, segundo a ANA (2019a), corresponde a 66,1%.

Usos de água subterrânea

São classificadas como águas subterrâneas as disponíveis no subsolo e extraídas por meio de poços tubulares, manuais, cisternas, etc. Vale referenciar que em algumas regiões do mundo foram tradicionalmente utilizadas, com sistemas de bombeamento movidos ao vento. Inicialmente, também muitos dos sistemas de irrigação por pivô central tinham o seu ponto central (pivô) localizado sobre o ponto de bombeamento de água subterrânea, o que certamente reduzia o custo com tubulações de bombeamento, assim, no Oeste do Texas, por exemplo, a principal fonte hídrica para a irrigação do algodão é o aquífero Ogallala (COLAIZZI *et al.*, 2009). A disponibilidade de água subterrânea é mais difícil de ser aferida, e historicamente em Minas Gerais não houve avanço em um monitoramento sistemático dessa água. Esta constatação implica na necessidade de aprimorar o monitoramento dos aquíferos e suas interligações com as águas superficiais para que a gestão das águas subterrâneas seja realizada com maiores níveis de certeza.

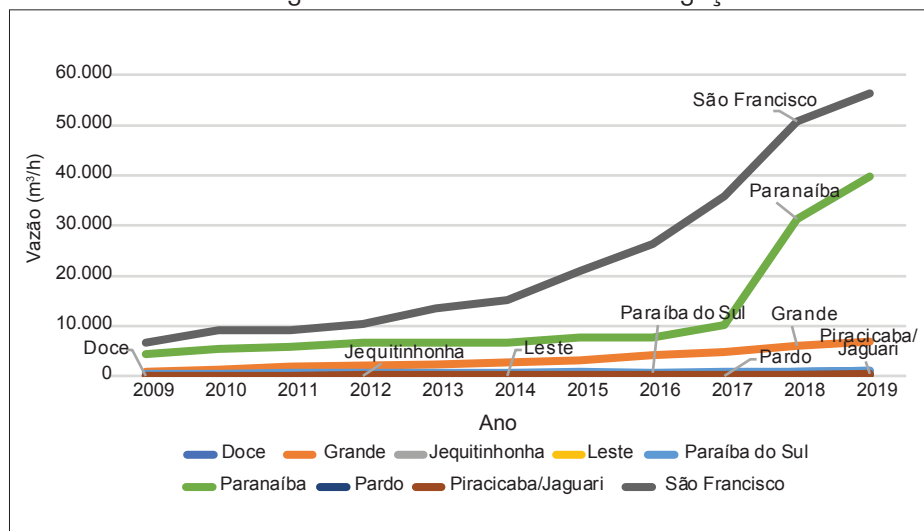
Minas Gerais, por possuir uma grande abundância de água superficial, tradicionalmente não utiliza os mananciais subterrâneos para a finalidade de irrigação, em 2019 somente 38% do volume explorado teve essa finalidade. No entanto, como se observa no Gráfico 5, na Bacia do Rio São Francisco e mais recentemente na Bacia do Rio Paranaíba, está ocorrendo uma alteração nesta tendência. Tal comportamento pode estar associado ao aumento de demanda de

Gráfico 4 - Vazão outorgada superficial – finalidade irrigação



Fonte: Elaboração dos autores.

Gráfico 5 - Vazão outorgada subterrânea – finalidade irrigação



Fonte: Elaboração dos autores.

água superficial, que é limitada pela vazão de referência, e a situações de estiagem prolongada observada nos últimos anos em Minas Gerais, designada de crise hídrica. Deve-se ainda observar nesse contexto o aumento das Áreas de Conflito (por indisponibilidade hídrica superficial) nas duas bacias, onde o aumento de uso de água subterrânea é mais expressivo (Gráfico 6).

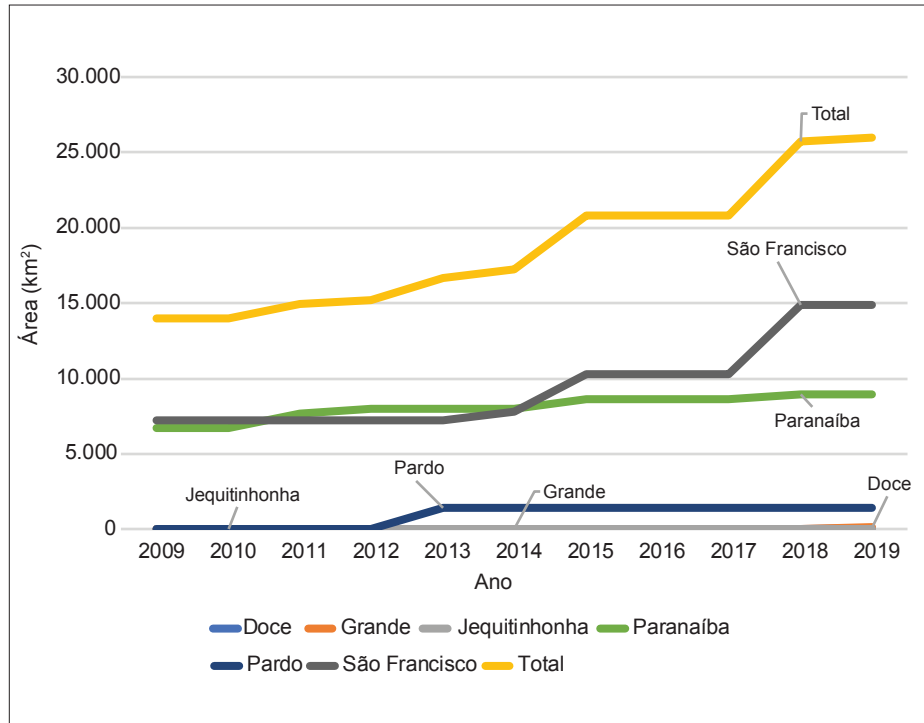
Crescimento da demanda de água ao longo do tempo

O Brasil, quando comparado a outros países, principalmente com os que

possuem extensões territoriais mais expressivas, como a China, a Índia e os Estados Unidos, proporcionalmente, possui menor área agrícola irrigada (FAO, 2019 *apud* BERNARDO *et al.*, 2019). Assim, apesar do crescimento da área irrigada recente, destacada por Bernardo *et al.* (2019), é razoável supor que a tendência de crescimento da irrigação no Brasil seja mensurada em taxa superior à observada nesses países.

Na última década (2009-2019), a demanda hídrica da agricultura não apresentou grandes alterações na primeira metade da

Gráfico 6 - Expansão das Áreas de Conflito



Fonte: Elaboração dos autores.

década, mas a partir de 2016, houve um incremento significativo (Gráficos 7 A e 7B), com destaque para os dois últimos anos. O crescimento da demanda hídrica da agricultura irrigada em Minas Gerais, a partir do aumento da área irrigada, como demonstrado pela ANA (2019a), contribui para aumento da predominância deste setor sobre os demais usos (Gráfico 7C), com o passar dos anos.

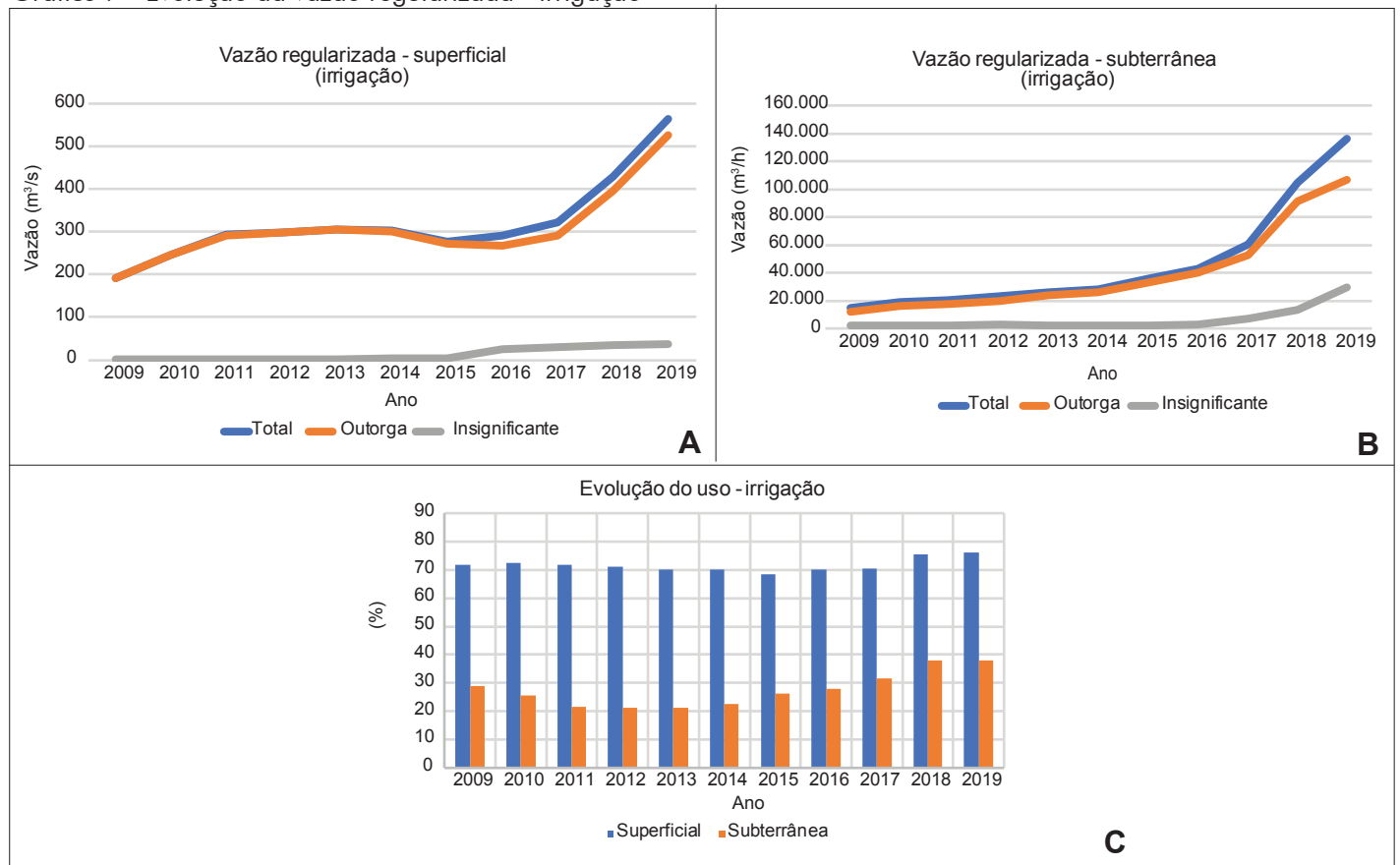
Áreas de Conflito

O conflito pelo uso dos recursos hídricos (superficiais) é definido pela,

situação de indisponibilidade hídrica aferida pelo balanço hídrico de vazões outorgadas, em que a demanda pelo uso dos recursos hídricos de uma porção hidrográfica seja superior à vazão outorgável. (MINAS GERAIS, 2019),

Ou seja, a demanda de vazões solicitada em outorgas ser superior à disponibi-

Gráfico 7 - Evolução da vazão regularizada - irrigação



Fonte: Elaboração dos autores.

lidade de água definida para aquele corpo hídrico. Assim, é importante destacar que o conflito, desta forma definido, pode diferir das situações efetivas de escassez de água em determinado corpo hídrico, pois, somente em curto período, a vazão deve atingir valores inferiores à vazão de referência, $Q_{7,10}$. Além disso, há, ainda, a possibilidade de captações irregulares exaurirem determinada fonte hídrica.

Em Minas Gerais, constatada a situação de conflito, o Igam publica a Declaração de Área de Conflito (DAC) e a regularização, nesses casos, ocorre por meio de processo único de outorga. Desde 2005, quando foi emitida a primeira DAC, totalizam 77 declarações, até 2019, no Estado. Entretanto, 20 destas já foram revogadas, pois na revisão não foram identificadas situação de indisponibilidade hídrica. A Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba é que apresenta a maior quantidade de DACs (34), já a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é a que apresenta a maior extensão da área ocupada por DACs e a maior vazão outorgada 102,933 m³/s em processos coletivos. A Tabela 1 apresenta o resumo das DACs por bacias hidrográficas de rios de domínio da União no território de MG.

Ao longo da última década observou-se um asseveramento do conflito na Bacia do Rio São Francisco (Gráfico 6), em especial na região Noroeste de Minas, onde encontram-se localizados os municípios de Unaí e Paracatu, que, juntamente com Cristalina (GO), figuram como os três principais municípios irrigantes por pivô central, segundo estudo da ANA e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (ANA; EMBRAPA, 2019). A irrigação, nas Áreas de Conflito, representa uma demanda média de 96% da vazão outorgada.

Análise da agricultura irrigada

O estado de Minas Gerais, dentre outros aspectos, é reconhecido pela eficiência

Tabela 1 - Resumo das Áreas de Conflito no estado de Minas Gerais

| Bacias hidrográficas | DO | GD | JEQ | Leste | PS | PN | PA | PJ | SF |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----|--------|--------|----|---------|
| Quantidade | 1 | 1 | 1 | - | - | 34 | 1 | - | 19 |
| Área (km ²) | 81,0 | 159,0 | 0,0 | - | - | 8988,0 | 1429,0 | - | 14906,0 |
| Vazão (m ³ /s) | 0,026 | 0,202 | 1,203 | - | - | 51,432 | 0,0126 | - | 102,933 |

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: DO - Rio Doce; GD - Rio Grande; JEQ - Rio Jequitinhonha; PS - Rio Paraíba do Sul; PN - Rio Paranaíba; PA - Rio Pardo; PJ - Rios Piracicaba e Jaguari; SF - Rio São Francisco.

e excelência do seu setor agropecuário, que produz expressiva gama de produtos, e é de fundamental importância na geração de empregos e riquezas. Nesse contexto, a prática da irrigação assume relevância estratégica para garantir a viabilidade de atividade agrícola, uma vez que possibilita o aumento da rentabilidade, e viabiliza a diminuição do risco hidrológico inerente à atividade agrícola. A expansão das áreas agrícolas sob irrigação reconhecidamente é uma das principais frentes de ação, para que sejam alcançados os necessários aumentos de produtividade dos cultivos, diante da crescente demanda mundial por alimentos, fibras e biocombustíveis.

Tendo em vista, portanto, a importância da agricultura irrigada, bem como o fato de que a prática da irrigação constitui um dos usos de maior impacto no balanço hídrico em diversas bacias hidrográficas, principalmente naquelas com forte potencial agrícola, a ANA, disponibiliza no Portal do Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (SNIRH)¹, publicações técnicas que buscam acompanhar a dinâmica dessa atividade em todo o território nacional.

Conforme retratado no “Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada” (ANA, 2017a), Minas Gerais tem sido um dos estados do Brasil com maior incremento anual de áreas irrigadas. De acordo com esse documento, Minas Gerais e São Paulo concentram 34% da área irrigada nacional, e 87,9 % da área irrigada na Região Sudeste. A tendência de crescimento das áreas

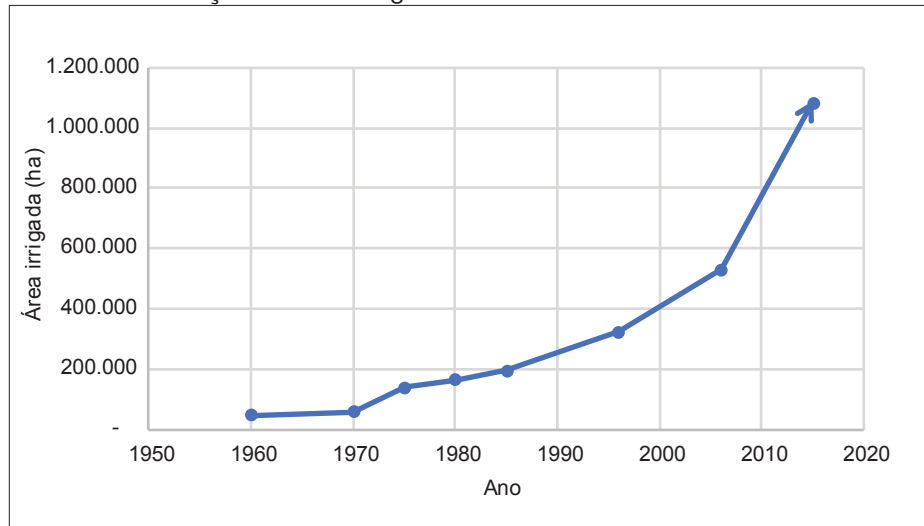
agrícolas sob irrigação no estado de Minas Gerais está retratada no Gráfico 8, que foi gerado a partir de dados apresentados no “Atlas Irrigação”.

De acordo com o “Atlas Irrigação”, 24 municípios mineiros possuíam em 2015 área irrigada maior que 10 mil hectares, cujo somatório é igual a 548.134 ha. A área total irrigada no Estado foi mensurada em 1.082.364 ha. Desse total, áreas cultivadas com cana-de-açúcar somam 342.204 ha (32% do total), demais culturas irrigadas sob pivôs centrais somam 391.434 ha (36% do total). Outras culturas e sistemas de irrigação somam 347.559 ha (32%) (ANA, 2017a).

A expressividade da utilização de pivôs centrais no Brasil levou a ANA e a Embrapa a publicarem em 2016 o documento “Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014 – Relatório Síntese” (ANA; EMBRAPA, 2016). No portal do SNIRH consta também disponibilizado o painel denominado “Painel do Monitoramento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil” (ANA, 2019c) que teve a última atualização realizada no ano de 2019. O Gráfico 9 foi gerado a partir das informações disponibilizadas nesse painel, e demonstra o crescimento do uso de equipamentos de pivô central na agricultura irrigada mineira. De acordo com esse levantamento, a área total irrigada por pivô central no Estado, até o ano de 2017, era de 452.190 ha, e havia sido registrado o total de 25.562 equipamentos instalados.

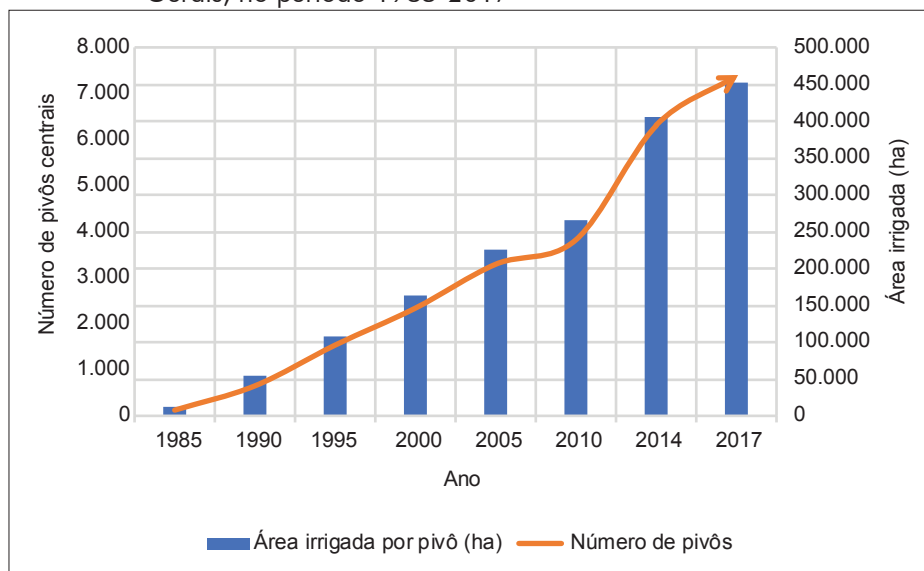
¹ www.snirh.gov.br.

Gráfico 8 - Evolução da área irrigada em Minas Gerais – 1960-2015



Fonte: ANA (2017a).

Gráfico 9 - Evolução da irrigação por aspersão pivô central no estado de Minas Gerais, no período 1985-2017



Fonte: ANA (2019c).

Nota: Não houve mapeamento para o ano de 1995. A estimativa para esse ano é uma interposição entre os resultados de 1990 e 2000.

Considerando que a cultura da cana-de-açúcar é a que possui a maior área irrigada, e que, portanto, tem significativo impacto nos recursos hídricos regionais, foi publicado pela ANA no ano de 2017 o “Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil”. Nesse estudo foram evidenciados os dados coletados durante a safra 2015/2016. De acordo com esse documento a Região

Centro-Sul possuía 88,8% da área nacional cultivada e irrigada, e respondia por 91% da produção (ANA, 2017b). Dados do IBGE (2020) demonstram que, desse total, a área cultivada no estado de Minas Gerais representa 9%.

A avaliação do impacto da irrigação da cultura da cana-de-açúcar nos recursos hídricos locais necessita levar em consideração que, via de regra, a prática da

irrigação nessa cultura pode ser planejada para ser executada com quatro enfoques diferentes, a saber:

- irrigação plena ou total, que busca suprir o déficit hídrico total da cultura;
- irrigação com déficit (ou semiplena), que busca aplicar lâmina de água inferior a necessária para suprir o déficit hídrico total, em muitos casos buscando atender 50% da necessidade total;
- irrigação de salvamento, que é realizada durante um período exíguo, como após o plantio, ou após o corte anual da lavoura, para garantir o pegamento da “soca”;
- fertirrigação, que no caso da cultura da cana-de-açúcar, é caracterizada pela aplicação de vinhaça (resíduos do processo industrial da agroindústria da cana). Via de regra, a prática da fertirrigação é considerada como parte das operações de irrigação de salvamento.

Nesse cenário, ressalta-se que no “Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil” (ANA, 2017b), referente a safra 2015/2016, a área irrigada com a cultura de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais foi caracterizada da seguinte forma:

- quantitativo de áreas irrigadas por carretel enrolador (sistema de irrigação por aspersão autopropelida), ou por pivô rebocável, com a aplicação de lâmina média de 20 a 80 mm/ano (irrigação de salvamento) - 321.900 ha;
- quantitativo de áreas irrigadas por aspersão via pivô central ou sistema com deslocamento linear - 20.300 ha, sendo que desses, 7.500 ha são utilizados para a aplicação de lâmina média de 200 a 300 mm/ano (irrigação com déficit), e 12.800 ha são utilizados para a aplicação de lâmina média de 300 a 1.000 mm/ano (irrigação plena).

Ressalta-se que nesse levantamento não foi explicitada distinção entre áreas em que foi executada exclusivamente irrigação de salvamento, e áreas em que foi feita somente a aplicação de vinhaça (fertilirrigação).

Contudo, no SNIRH, é possível acessar o “Levantamento da Cana-de-Áçúcar Irrigada e Fertilirrigada no Brasil” (ANA, 2019b), que faz referência aos dados da safra 2018/2019. Nesse novo levantamento os dados foram apresentados separando as áreas que fizeram exclusivamente irrigação de salvamento (83.208 ha), e as que realizaram somente a aplicação de vinhaça (197.700). As áreas em que foram realizadas irrigação plena ou com déficit foram mensuradas em 56.350 ha. Não foram apresentadas informações referentes aos métodos de irrigação utilizados, todavia, por características inerentes a tecnologia de irrigação, a área que recebeu somente fertilirrigação certamente fez uso de sistemas de irrigação por aspersão autoprovelida. Da mesma forma, as áreas em que foram realizadas a irrigação plena ou com déficit fizeram uso majoritário de equipamentos de irrigação por pivô central.

Sobre as demais culturas cultivadas sob aspersão por pivô central, cuja a área irrigada também tem expressiva representação no Estado – 36% da área total, segundo “Atlas Irrigação” (ANA, 2017a) –, salienta-se que o equipamento pivô central tem dentre seus pontos positivos, a aplicabilidade nos diferentes sistemas produtivos utilizados nos principais cultivos agrícolas, como no caso dos grãos (soja, milho, feijão, arroz), cultivados em praticamente todo o Estado, como também para irrigação de culturas olerícolas (cebola, alho, tomate, cenoura), muito presente em determinadas regiões do estado de Minas Gerais, como na região do município de São Gotardo, na Bacia do Rio Paranaíba.

Vale a pena destacar que o “Atlas Irrigação” (ANA, 2017a) indica como polo consolidado, com forte perspectiva de expansão da irrigação, a região do Triângulo Mineiro, a região de fronteira do Distrito

Federal, Goiás e Minas Gerais, nas Bacias dos Rios Preto, Paracatu e São Marcos. Nessas regiões a irrigação é praticada, quase em sua totalidade, por sistema de aspersão por pivô central, e em menor grau por sistemas de aspersão lineares.

Faz-se necessário citar que os sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) têm tido expressivo aumento de área no estado de Minas Gerais, assim como também é observado em diferentes regiões do País, por ser possível obter maior eficiência de uso da água com esses sistemas, e também por poderem ser utilizados em diferentes sistemas produtivos e em diferentes culturas.

Nesse sentido, cabe salientar que os projetos públicos de irrigação implementados pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) na região Norte de Minas Gerais, a saber Projetos: Jaíba, Lagoa Grande, Pirapora e Gorutuba, que têm na fruticultura irrigada uma das suas principais atividades produtivas, utilizam de forma expressiva a irrigação localizada. No mesmo sentido, relata-se que a cafeicultura irrigada, desenvolvida na região do Cerrado Mineiro, como nos municípios de Araguari, Patrocínio e Patos de Minas também são observadas extensas áreas sob irrigação localizada. Ainda no Triângulo Mineiro, áreas de fruticultura (citrus e abacaxizeiro) também adotam sistemas de irrigação localizada.

Por fim, ressalta-se que não foram obtidos registros bibliográficos de áreas expressivas, que façam uso de sistemas não pressurizados de irrigação (irrigação por superfície).

Avanços, desafios e perspectivas

Os dados e discussão apresentados no presente estudo permitem estabelecer uma avaliação dos avanços, desafios e perspectivas para o uso da água para irrigação em Minas Gerais. Observa-se que a gestão dos recursos hídricos deve atuar em duas vertentes: a gestão da oferta e a gestão da demanda.

No que se refere à gestão da oferta, destacam-se ações combinadas de infraestrutura cinza e verde para armazenamento de água. Os barramentos exercem uma função estratégica na regularização de vazões para garantia do provimento no período de estiagem, mas devem ser construídos e mantidos de forma que minimizem impactos ambientais e riscos associados à gestão da segurança da estrutura de engenharia. A infraestrutura verde, de maneira complementar, permite a manutenção da água no território, bem como a redução do processo erosivo que impacta os corpos de água e auxilia na manutenção da qualidade das águas.

Na esfera da regulação, um avanço já em curso no Estado é a implementação da outorga sazonal. A avaliação da sazonalidade do processo de outorga de direito de uso de recursos hídricos permite o maior aproveitamento da água no período mais disponível, aumentando, portanto, a disponibilidade sazonalmente.

Na vertente “gestão da demanda” pode-se destacar o aprimoramento técnico e tecnológico no setor como fator-chave na eficiência do uso da água.

Visando o uso eficiente dos recursos hídricos é importante observar a eficiência com a qual são utilizados nos processos produtivos. Assim, dentro da atividade agrícola, a relação entre os produtos obtidos e a quantidade de recurso hídrico utilizado determina quão eficiente é o sistema.

A EUA tem sido definida de diversas formas. É possível que isso ocorra em função dos parâmetros de interesse do estudo (SIMÃO; RITCHIE; BEDNARZ, 2013). A Equação 1 apresenta a forma mais prática de determinar a EUA (SIMÃO, 2013).

$$EUA_{IRR} = Pr/(LBA) \quad (1)$$

em que:

EUA = eficiência de uso da água;

Pr = Produtividade (kg/ha);

LBA = Lâmina bruta de irrigação total aplicada (mm).

Há, ainda, a possibilidade de definir eficiência sob o aspecto da Economia da

Produção (DOLL; ORAZEN, 1992). Ou seja, a máxima eficiência física no uso de um insumo (no caso o recurso hídrico) pode ser observada na inflexão da curva que relaciona a produção obtida com a quantidade de água aplicada. Entretanto, para maximizar o lucro do produtor, tem que observar, neste caso, a relação entre os lucros obtidos e a água utilizada.

Silva (2014) realizou estudo no Perímetro Irrigado do Gortuba que avaliou a EUA das culturas de banana 'Prata-anã', banana 'Nanica', uva e manga. Os valores de EUA encontrados foram respectivamente 1,64, 2,21, 4,46 e 1,6 kg/m³ de água, demonstrando que a cultura da uva é a mais eficiente produzindo mais para cada metro cúbico de água recebido. Em função de resultados como esses é possível realizar o planejamento de uso da água na agricultura irrigada, objetivando o menor consumo dos recursos hídricos disponíveis.

Do ponto de vista prático, entretanto, a eficiência do sistema de irrigação (Ea) é o conceito de eficiência mais utilizado. A Ea é a razão entre a água captada do corpo hídrico e a disponibilizada para os cultivos de maneira uniforme, não incluindo, portanto, a forma com que a planta utiliza a água para formação de seus componentes de produção.

Ainda assim, é importante esclarecer que a Ea do sistema de irrigação não define isoladamente a EUA, mas, dependendo do conceito adotado, Ea pode compor a EUA.

Segundo Bernardo *et al.* (2019), sistemas por superfície por sulco convencional têm uma Ea potencial que, com boas condições de projeto e manejo, varia de 60% a 75%, enquanto na irrigação pressurizada por aspersão e localizada pode assumir valores de 85% a 95%, respectivamente. Destaca-se, ainda, que mesmo que a Ea dos sistemas de irrigação por superfície possa vir a ser bem mais baixa que a observada em outros sistemas, variando entre 40% e 70% (CHRISTOFIDS, 2002), é importante que estes sistemas continuem sendo estudados, pois são os mais utilizados no mundo, e necessitam que sejam adequa-

damente manejados e até otimizados. Os fabricantes de equipamentos de irrigação têm desenvolvido equipamentos cada vez mais potencialmente eficientes, sendo que atualmente é possível obter uniformidades de irrigação em pivôs centrais da ordem de 90% a 95%, bem como é possível utilizar gotejamento subsuperficial, instalados a 15 até 30 cm de profundidade com a finalidade de eliminar as perdas por evaporação e obter uniformidades e eficiências maiores que 95%. Sob o aspecto de uniformidade de aplicação da água, é importante frisar que o adequado projeto e um correto programa de manutenção dos equipamentos são imprescindíveis para o alcance desses resultados. Nesse sentido, Oliveira *et al.* (2015) avaliaram um sistema de irrigação por aspersão convencional recém-instalado com a finalidade de irrigar milho para a produção de silagem, e observaram que o ajuste do coeficiente de uniformidade da irrigação de 68,5% para 89,08% permitiu um acréscimo de 26,5% na produtividade, ressaltando dessa forma o quanto é importante ajustar a uniformidade de aplicação de água, visando economia de uso dos recursos hídricos e, ainda, aumento da rentabilidade da atividade.

Outra variável de destaque na "gestão da demanda" hídrica no setor de irrigação é a utilização de fontes alternativas de água. Uma destas é a água de reúso proveniente de estações de tratamento de esgotos, que pode ser adotada para fins de aumento da disponibilidade hídrica e/ou para aporte de nutrientes. Neste segundo caso, a prática é denominada por fertirrigação.

Segundo Angelakis *et al.* (2018), o esgoto tratado já é usado na irrigação, em diversas regiões do Planeta, desde à Idade do Bronze (3300 a.C. até 1000 a.C.). Nesse período, as civilizações Minoica (na Grécia antiga) e do Vale do Indo (atual Paquistão) planejavam e operavam a fertirrigação, conforme observa-se em ruínas ainda existentes, atualmente, nessas áreas.

Ao longo dos anos, com a evolução das tecnologias de tratamento de esgotos e dos equipamentos de irrigação, além das neces-

sidades contemporâneas, a água de reúso passou a compor, de maneira relevante, a matriz hídrica de diversas regiões do Planeta. Em Israel, 80% do esgoto tratado é adotado na irrigação, representando 40% da demanda de água para este fim. Ainda em Israel, considera-se que o efluente tratado em nível terciário pode ser usado para qualquer cultura, sem restrição (MARIN *et al.*, 2017).

É sabido que diferentes culturas demandam qualidades de água diferentes. Dessa forma, de acordo com Angelakis *et al.* (2018), a primeira regulamentação da prática de reúso, que se tem conhecimento, ocorreu em 1914 no estado da Califórnia, Estados Unidos, para irrigação de culturas a ser processadas antes do consumo.

Em termos de regulamentação para reutilização de água, muitos países já adotam padrões de qualidade de água. Porém, no Brasil ainda não foi possível estabelecer um quadro regulatório em nível federal para este fim. No território nacional há um documento norteador, denominado Interáguas, que foi publicado pelo governo federal em 2018, com padrões de qualidade de água para usos urbanos, industriais, ambientais, aquícolas e para irrigação (BRASIL, 2018). Porém, alguns Estados da Federação organizaram seus quadros regulatórios para este fim, como é o caso de São Paulo, Ceará, e mais recentemente, Rio Grande do Sul e Minas Gerais.

O estado de Minas Gerais regulamentou o reúso de esgoto tratado por meio da Deliberação Normativa Cerh-MG nº 65, de 18/6/2020 (MINAS GERAIS, 2020).

Na esfera da regulação, deve-se destacar a importância de incluir critérios de eficiência na avaliação das outorgas de direito de uso de recursos hídricos em Minas Gerais, tal qual já praticado pela ANA (2013).

Por fim, deve-se realçar a importância do monitoramento como instrumento de avaliação de uma irrigação eficiente. A referência ao monitoramento dá-se em diversas vertentes: monitoramento fluviométrico, monitoramento do uso de água,

monitoramento da aplicação de água na cultura, que de fato permite utilizar a métrica a favor da produtividade e eficiência de uso da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estado de Minas Gerais tem grande potencial para o desenvolvimento do agronegócio, e o aumento de produtividade relaciona-se diretamente com a utilização de técnicas de irrigação. O sistema de outorga vem-se aprimorando ao longo dos anos, a fim de garantir o provimento de água para os usos múltiplos. Entretanto, o crescimento da agricultura irrigada já observado em função da autorização dos usos e o potencial futuro mencionado trazem a importante discussão de incluir a eficiência da irrigação e, principalmente, o uso de técnicas de manejo de irrigação como variáveis de análise no processo de outorga, a utilização da outorga sazonal, a infraestrutura de reservação e a utilização de fontes alternativas, como é o caso do reúso de esgoto tratado. Essas ações devem estar integradas às técnicas conservacionistas de água e solo, recuperação das áreas de preservação permanente e nascentes para a sustentabilidade das propriedades e perenidade da produção. É dessa forma que Minas Gerais poderá estar em uma posição estratégica da produção agrícola brasileira.

REFERÊNCIAS

ANA. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF: ANA, 2017a. 85p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2019a. 96p. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. 2.ed.rev. e atual. Brasília, DF: ANA, 2019b. Disponível em: [\[publicacoes/cana_2019.pdf/view#:~: text=0%20Levantamento%20da%20Cana%20de,agricultura%20e%20dos%20de mais%20usos\]\(http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/cana_2019.pdf/view#:~:text=0%20Levantamento%20da%20Cana%20de,agricultura%20e%20dos%20de%20mais%20usos\). Acesso em: 14 jul. 2020.](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-</p>
</div>
<div data-bbox=)

ANA. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na região Centro-Sul do Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2017b. 30p. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/LevantamentoCanalIrigada_posCE_CEDOC_SemISBN2.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília, DF: ANA, 2013. 240p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicosAdministrativosdeOUTORGadeDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Painel de Monitoramento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil**. Brasília, DF: ANA, [2019c]. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/paineis-de-indicadores#:~: text=Painel%20 do%20Monitoramento%20da%20 Agricultura, regio%20C3%A3o%20 hidrogr%C3%A1fica%20estados%20 e%20munic%C3%ADpios](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/paineis-de-indicadores#:~:text=Painel%20do%20Monitoramento%20da%20Agricultura,regio%20C3%A3o%20hidrogr%C3%A1fica%20estados%20e%20munic%C3%ADpios). Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA; EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. 2.ed.rev. e ampl. Brasília, DF: ANA, 2019. 46p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usuarios-da-agua>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANA; EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014**: relatório síntese. Brasília, DF: ANA; EMBRAPA, 2016. 33p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ANGELAKIS, A.N. *et al.* Water reuse: from ancient to modern times and the future. **Frontiers in Environmental Science**, v.6, n.26, May 2018.

BARROS, G.S.C. *et al.* **PIB do agronegócio Minas Gerais - 2019**. Piracicaba: CEPEA, 2020.

BERNARDO, S. *et al.* **Manual de Irrigação**. 9.ed.atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545p.

BRASIL. Ministério das Cidades; IICA. **IN-TERÁGUAS**: elaboração de proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário tratado no Brasil - Produto VI - Plano de Ações/Política de Reúso (RF). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/Arquivos-SNSA/interaguas/reuso/produto6_plano_de_acoes_e_politica_de_reuso.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

BRUINSMA, J. (ed.). **World agriculture: towards 2015/2030 – an FAO perspective**. London: FAO: EARTHSCAN, 2003. 432p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-y4252e.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

CENSO AGROPECUÁRIO 2017: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, v.7, 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação & Tecnologia Moderna - ITEM**, Brasília, DF, n.54, p.46-55, 2002.

COLAIZZI, P. *et al.* Irrigation in the Texas High Plains: a brief history and potential reductions in demand. **Irrigation and Drainage**, v.58, n.3, p.257-274, July 2009.

DOLL, J.P.; ORAZEN F. **Production economics: theory with applications**. 2nd ed. Florida: Krieger, 1992. 470p.

EMBRAPA TERRITORIAL. Síntese Ocupação e Uso das Terras do Brasil. *In*: EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental**: uma análise do cadastro ambiental rural. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/car/sintese>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ERTHAL, E.S.; BERTICILLI, R. Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência & Tecnologia**, Cruz Alta, v.2, n.1, p.64-74, ago. 2018.

FAEMG. **Balanço 2020/Perspectivas 2021**. Belo Horizonte: FAEMG, [2020]. Disponível em: <http://www.faemg.org.br/Content/uploads/publicacoes/arquivos/XqUg1608136937918.pdf>. Acesso em: dez. 2020.

FURQUIM, M.G.D.; ABDALA, K. de O. Sustentabilidade e expansão da agricultura irrigada: um olhar para o setor no estado de

Goiás. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.47-56, nov. 2018/fev. 2019.

GRUÈRE, G.; SHIGEMITSU, M.; CRAWFORD, S. **Agriculture and water policy changes: stocktaking and alignment with OECD and G20 recommendations**. Paris: OECD, 2020. 51p. (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, n. 144). Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/agriculture-and-water-policy-changes_f35e64af-en. Acesso em: 14 jul. 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 14 jul. 2020.

IGAM. Portaria nº 30, de 15 de junho de 1993. Altera a redação da Portaria nº 97, de 20 de dezembro de 1990. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 15 jun. 1993. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=3776>. Acesso em: 14 jul. 2020.

IGAM. Portaria nº 10, de 30 de dezembro de 1998. Altera a redação da Portaria nº 030/93, de 7 de junho de 1993. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 23 jan. 1999. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=669>. Acesso em: 14 jul. 2020.

IGAM. Portaria nº 30, de 22 de Agosto de 2007. Institui a Campanha de Regularização na Gestão de Recursos Hídricos - Água: Faça o uso legal, e dá outras providências. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 25 ago. 2007.

IGAM. Portaria nº 49, de 1 de julho de 2010. Estabelece os procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos do domínio do estado de Minas Gerais. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 6 jul. 2010.

IGAM. Portaria nº 48, de 4 de outubro de 2019. Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do estado de Minas Gerais e dá outras providências. **MINAS GERAIS**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 5 dez. 2019.

IGAM. Portaria nº 26, de 5 de junho de 2020. Institui a Comissão Gestora Local – CGL – no âmbito do processo de outorga coletiva de direito de uso de recursos hídricos superficiais em áreas declaradas de conflito pelo uso dos recursos hídricos. **Minas Ge-**

rais: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 9 jun. 2020.

IGAM. **Sistema de Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos**: Certidão de Registro de Uso Insignificante de Recurso Hídrico. Belo Horizonte: IGAM, [2017]. Disponível em: <http://usoinsignificante.igam.mg.gov.br/mrhi/login.xhtml>. Acesso em: 14 jul. 2020.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

MARIN, P. *et al.* **Water management in Israel: key innovations and lessons learned for water scarce countries**. Washington: World Bank Group, 2017. 37p. Disponível em: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/657531504204943236/pdf/Water-management-in-Israel-key-innovations-and-lessons-learned-for-water-scarce-countries.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

MELO, A.D.D. **Diagnóstico do uso do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado do Gortuba**. 2011. 42f. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 7, de 4 de novembro de 2002. Estabelece a classificação quanto ao porte e potencial poluidor, tendo em vista a legislação de recursos hídricos do estado de Minas Gerais, e dá outras providências. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 5 nov. 2002.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 9, de 16 de junho de 2004. Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no estado de Minas Gerais. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 3 julho 2004.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 31, de 26 de agosto de 2009. Estabelece critérios e normas gerais para aprovação de outorga de direito de uso de recursos hídricos para empreendimentos de grande porte e com potencial poluidor, pelos comitês de bacias hidrográficas. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 27 ago. 2009a.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 33, de 20 de novembro de 2009.

Define o uso insignificante de poço tubulares situados nos municípios da região semi-árida constantes do Anexo Único desta Deliberação Normativa e dá outras providências. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 21 nov. 2009b.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 34, de 16 de agosto de 2010. Define o uso insignificante de poços tubulares localizados nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos que menciona e dá outras providências. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 17 ago. 2010.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa nº 65, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, p.10, 20 jun. 2020.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do estado de Minas Gerais. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, p.1, 5 set. 2019.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, p.3, 30 jan. 1999.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, 31 mar. 2012.

OLIVEIRA, F.G. *et al.* Influência da uniformidade de irrigação na produção e na rentabilidade de silagem de milho irrigado. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.2, p.103-108, 2015. Edição especial IRRIGA & INIVAGRI.

PAULA JÚNIOR, T.J. de; VENZON, M. (ed.). **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. 2.ed.rev. e atual. Belo Horizonte: EPAMIG, 2019. 920p.

RODRIGUES, L.N. **Mitos e fatos na agricultura irrigada (parte 1)**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52800136/mitos-e-fatos-na-agricultura-irrigada-parte-i>. Acesso em: 14 jul. 2020.

SILVA, J.T.C. **Avaliação da eficiência do uso da água dos lotes empresariais no Perímetro Irrigado do Gorutuba**. 2014. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais.

SIMÃO, FR. **The effects of varying levels**

of deficit irrigation and episodic drought stress on West Texas Cotton Cultivars. 2013. 214p. Dissertation (Doctor of Philosophy in Plant and Soil Science) – College of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Texas Tech University, Lubbock, 2013. Disponível em: <http://repositories.tdl.org/ttu-ir/handle/2346/50661>. Acesso em: 14 jul. 2020.

SIMÃO, FR.; RITCHIE, G.L.; BEDNARZ, C.W. Cotton physiological parameters affected by episodic irrigation interruption. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.3, p.443-454, 2013.

UNESCO. United Nations World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2016: water and jobs**. Paris: UNESCO, 2016. 148p. Disponível em: <https://www.unescap.org/sites/default/files/2016%20UN%20World%20Water%20Development%20Report-%20Water%20and%20Jobs.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

WORLD BANK. **Water in agriculture**. Washington: World Bank, 2020. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. Acesso em: 15 maio 2020.

MUDAS DE OLIVEIRA

**Garantia de procedência,
mudas padronizadas,
qualidade comprovada e
variedade identificada**

Pedidos e informações:

Campo Experimental de Maria da Fé -

CEP: 37517-000 - Maria da Fé - MG

e-mail: cemf@epamig.br

Tel: (35) 3662-1227



EPAMIG

AS MELHORES OPÇÕES EM IRRIGAÇÃO



i-Wob®2



LDN® LEPA



mini-Wobbler™



Xcel-Wobbler™



LDN® Circulo Parcial



Xcel-Wobbler™ UP3 TOP



Smooth Drive™



7025 Impact Sprinkler

Uso de águas de qualidade inferior para a irrigação

Claudio Augusto Uyeda¹, Flávio Gonçalves Oliveira², Fúlvio Rodriguez Simão³, Pedro Robinson Fernandes de Medeiros⁴

Resumo - A irrigação é uma maneira apropriada de promover o suprimento hídrico necessário para o incremento da produtividade das culturas. Para fazer uma boa irrigação, há a necessidade da retirada de água de mananciais superficiais ou subterrâneos, fazendo com que este setor da sociedade seja o maior demandante de recursos hídricos em relação às cidades e às indústrias. E para que não haja um conflito maior entre essas demandas, a utilização de águas de qualidade inferior seria uma boa solução, disponibilizando mais recurso hídrico para fins mais nobres, tal como, a dessedentação humana e animal. Contudo, para a utilização dessas águas necessita-se de certos cuidados para que não haja algum efeito deletério à cultura, nem também ao meio ambiente e aos equipamentos de irrigação. O conhecimento da qualidade da água a ser utilizada é de suma importância, pois, a partir daí, podem-se empregar técnicas de manejo adequadas, de forma que permita o uso da água que tenha qualidade inferior, sem que isso afete significativamente o resultado obtido na agricultura irrigada.

Palavras-chave: Salinidade. Efluente. Água residuária.

Use of quality water inferior in irrigation

Abstract - Irrigation is an appropriate way to promote the water supply needed to increase crop productivity. In order irrigate, it is necessary to use water from surface or underground sources, making this sector of society the biggest demand for water resources in relation to cities and industries. And so that there is no greater conflict between these water demands, the use of inferior water would be a good solution to reduce this conflict by making more water resources available for more noble purposes, such as human and animal drinking. However, for the use of these waters, precautions are necessary so that there is no harmful effect on the crop or on the environment and irrigation equipment. The knowledge of the water quality to be used is of paramount importance, since from it is possible to employ management techniques can be employed, in order to allow the use of inferior quality water without significantly affect the irrigated agriculture results.

Keywords: Salinity. Effluent. Agriculture.

INTRODUÇÃO

O uso racional de água na agricultura irrigada é um tema que se tornou muito comum em todos os ambientes nas últimas décadas, desde o acadêmico até dentro das propriedades rurais por parte dos consultores, extensionistas e agricultores. Isso se deu em parte pela instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos por meio da Lei nº 9.433,

de 8/1/1997, que no seu Artigo 1º trata a respeito dos fundamentos preditos em seus três primeiros incisos.

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o

consumo humano e a dessedentação de animais. (BRASIL, 1997).

Esta lei, além de delimitar as prioridades de usos múltiplos da água, considerou-a um insumo a mais para os agricultores, pois instituiu a cobrança pelo seu uso consuntivo. Logo o uso racional da água não é apenas uma ação de preservação do meio ambiente e da humanidade, mas também é uma ação econômica que visa reduzir gasto

¹ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. IFPE, Vitória de Santo Antão, PE, claudio.uyeda@vitoria.ifpe.edu.br.

² Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

³ Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG-DPPE, Belo Horizonte, MG, fulvio@epamig.br.

⁴ Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. Adj. UNIVASF, Juazeiro, BA, pedro.fernandes@univasf.edu.br.

com este insumo, em relação ao aumento de produtividade agrícola.

Mediante o crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas, houve a necessidade de aumentar a produção de alimentos, vestimentas e calçados. Juntando essa demanda por produtos agropecuários e a redução da quantidade de chuvas em várias regiões do Planeta, justificou-se o investimento em irrigação para que a necessidade hídrica das culturas seja suprida de forma artificial e não dependente das chuvas escassas e de sua irregular distribuição ao longo de um ciclo de cultivo. Esse aumento de áreas irrigadas gerou também o aumento da demanda de água, causando vários conflitos pela disponibilidade deste recurso.

Até então têm-se buscado alternativas de redução no uso de águas de boa qualidade para que haja uma maior disponibilidade hídrica para o consumo humano e animal. Uma dessas alternativas é o uso de água de qualidade inferior: águas salinas e de efluente de esgoto (doméstico ou industrial) tratado na agricultura. Porém, este tipo de água deve ser utilizado com restrições e precauções, pois pode causar malefícios à saúde humana, graves impactos ambientais negativos (poluição de aquíferos subterrâneos ou superficiais, salinização do solo) ou trazer prejuízos agrícolas pela queda de rendimento das culturas quando mal utilizado, principalmente, pelo manejo ineficiente da água no sistema solo-planta.

Portanto, este artigo tem como objetivo informar que é possível utilizar águas salinas e de efluentes na agricultura irrigada de forma sustentável e aumentando a produtividade agrícola. Assim, são apresentados aspectos da qualidade da água para fins de irrigação; potenciais benefícios do uso de efluentes e de águas residuárias para fertirrigação; parâmetros para verificar o risco de salinização e sodificação do solo; e avaliação de risco de entupimento de emissores.

QUALIDADE DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

Os parâmetros da qualidade da água para irrigação devem ser observados com

atenção. Segundo Bernardo *et al.* (2019), as características que determinam a qualidade da água para irrigação e o risco de salinização do solo podem ser agrupadas em seis parâmetros básicos:

- a) concentração total de sais solúveis ou salinidade (observação da razão da condutividade elétrica (CE) e a concentração de cátions, ou a razão entre a concentração de sólidos dissolvidos e a CE);
- b) proporção relativa de sódio, em relação a outros cátions ou capacidade de infiltração do solo (análise conjunta dos parâmetros – relação de adsorção de sódio (RAS) e salinidade);
- c) concentração de elementos tóxicos (íons de cloro (Cl), sódio (Na), boro (B), etc.);
- d) aspecto sanitário (esquistossomose, verminoses de modo geral, etc.);
- e) concentração de bicarbonatos;
- f) entupimento de emissores (observar fatores físicos para sólidos suspensos, químicos como pH, sólidos dissolvidos, etc. e biológicos para número de bactérias por litro).

São necessários cuidados ao utilizar águas de qualidade inferior, entretanto, considerados esses parâmetros o uso de efluentes e águas residuárias (ARs) apresenta, potencialmente, benefícios importantes, tanto para o irrigante, quanto para o ambiente. E as águas salinas, que apesar de seus efeitos deletérios na planta e no solo, podem ser utilizadas desde que com um bom manejo tanto da água quanto do solo, evitando seus impactos e conservando os aquíferos de boa qualidade para fins mais nobres.

POTENCIAIS BENEFÍCIOS DO USO DE EFLUENTES E DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FERTIRRIGAÇÃO

O aproveitamento de águas consideradas como de qualidade inferior apresenta

dois importantes ganhos para os recursos hídricos de forma ampla:

- a) reduz a captação nas fontes hídricas (rios, lagos, represas, etc.);
- b) evita lançamentos nestes corpos hídricos que, potencialmente, reduziriam a qualidade dessas águas, limitando os seus usos.

Recentemente, observam-se regiões que antes tinham plena disponibilidade hídrica e passaram a ter intenções de uso além da disponibilidade (SIMÃO; ANTUNES, 2015).

O problema da poluição derivada de atividades agrícolas deve ser observado de forma integrada com o impacto ambiental de outras fontes, como a poluição das cidades, das indústrias, da mineração, dentre outras, e não deve ser considerado nem menor, nem incontrolável, sendo propostas, por autores de diversas regiões, opções de manejo de resíduos de atividades agropecuárias e agroindustriais (LOEHR, 1974; MATOS; MATOS, 2017).

Segundo Matos e Matos (2017), os impactos negativos do lançamento (direto ou indireto) de ARs ricas em material orgânico em corpos hídricos são maiores que os positivos. Destaca-se como fenômeno negativo resultante mais complexo a eutrofização, que resulta em aumento de nutrientes essenciais para o fitoplâncton e as plantas aquáticas superiores, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), carbono (C) e ferro (Fe). Esses autores justificam, assim, a adoção de opções para disposição de ARs.

Dentre as vantagens do uso dessas “águas recicladas” citam-se:

- a) reduz o uso de fertilizantes minerais;
- b) garante suprimento de água para as culturas;
- c) impede o lançamento de esgotos domésticos e agroindustriais em corpos d’água;
- d) permite o suporte de matéria orgânica (MO) e nutrientes ao solo, essenciais às plantas.

A fertirrigação pode ser considerada como a aplicação conjunta de nutrientes via água de irrigação, visando ao atendimento das necessidades nutricionais das plantas. Segundo Coelho *et al.* (2010), a fertirrigação é uma técnica que viabiliza o uso de fertilizantes na agricultura irrigada com alta eficiência. Para o produtor irrigante, portanto, também pode haver economias quando se utilizam ARs e efluentes para fertirrigação, em especial no que diz respeito à redução da aquisição de fertilizantes químicos, além da preservação de suas fontes hídricas.

Andrade *et al.* (2012) verificaram maior crescimento da cultura do girassol quando irrigada com AR, associando a este resultado, principalmente, o efeito positivo do N presente nesta (30,28 mg/L), uma vez que na água de abastecimento este elemento, que é importante ao crescimento desta cultura, é ausente. No estudo realizado por Souza *et al.* (2015), a AR urbana foi utilizada de forma complementar na adubação da cultura feijoeiro (25% de adubação química), visto que o uso da AR na irrigação da cultura proporcionou alta produtividade (3.810 kg/ha), apesar da utilização de menores doses de fertilizantes químicos. Portanto, a aplicação de AR pode elevar o aporte de nutrientes no solo favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Apesar de todas as evidências científicas que comprovem os benefícios da utilização desses tipos de água, não se têm dados oficiais da quantidade utilizada por parte dos irrigantes no Brasil.

O processamento de café pode gerar resíduos e efluentes, com potencial poluidor, inclusive com o uso de quantidade expressiva de água para atividades de lavagem de frutos, por exemplo. Soares *et al.* (2015) esclarecem que o processamento dos frutos do cafeeiro, visando à produção do café cereja descascado (CD), é uma prática que vem sendo adotada por um número crescente de cafeicultores. O principal motivo para isso é que o CD é mais valorizado no mercado. Lo Monaco (2005) explica que essas ARs da lavagem

e descascamento dos frutos do cafeeiro (ARC), por serem ricas em material orgânico em suspensão e inorgânicos em solução, apresentam grande poder poluente para o ambiente.

Diante deste problema, Lo Monaco (2005) estudou a fertirrigação do cafeeiro com ARC, e concluiu que a sua aplicação na cultura, além de fornecer nutrientes, proporcionou condições para maior absorção de alguns macro e micronutrientes pelas plantas e lixiviação geral de macronutrientes no perfil do solo, além de aumentar a concentração de K trocável até 90 cm e a CE da solução do solo cultivado com cafeeiro. O aumento na concentração de K no solo proporcionou deficiência de cálcio (Ca) e, principalmente, de magnésio (Mg) nas folhas do cafeeiro, tornando-se recomendável o reforço desses macronutrientes em áreas fertirrigadas com ARC (LO MONACO, 2005). Portanto, apesar de benéfica ao ambiente, a fertirrigação com ARC necessita de cuidados e monitoramento para ser efetivamente positiva para o cafeeiro irrigado.

Na indústria sucroalcooleira o efluente da produção de álcool é a vinhaça. Pela proximidade entre as áreas de produção da cana e do seu processamento, o uso da vinhaça para fertirrigação é frequente. Com o incremento da produção de álcool no Brasil, também verifica-se o crescimento da produção de vinhaça, uma vez que, segundo Silva, Griebeler e Borges (2007), para cada litro de álcool são produzidos de 10 a 18 L de vinhaça.

Freire e Cortez (2000) esclarecem que a vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto poder poluente, mas também alto valor fertilizante, e destacam que o poder poluente da vinhaça é cem vezes o do esgoto doméstico, decorrente da sua riqueza em MO, baixo pH e elevada corrosividade, dentre outros fatores.

Silva, Griebeler e Borges (2007) destacaram que pelo fato de haver diferentes tipos de solo e composições de vinhaça, os resultados dos estudos sobre o uso da vinhaça são bastante variáveis;

entretanto, existe consenso de que a disposição deste efluente deve ser efetuada de acordo com a capacidade do solo em trocar e reter íons.

RISCO DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO DO SOLO

Os parâmetros essenciais para verificar tais riscos são: a condutividade elétrica da água (CEa), em dS/m, e a RAS, em (mmol_c L)^{0.5}. A CEa é a capacidade em que o meio aquoso tem em conduzir eletricidade, ou seja, quanto maior a CEa maior será a quantidade de sais dissolvidos nesta água, elevando assim o risco de salinização do solo caso não ocorra uma lixiviação (lavagem) destes sais depositados no solo por várias irrigações sucessivas. Esta lixiviação pode ser causada pela infiltração de água das chuvas ou por uma lâmina de água aplicada acima da necessidade da cultura ou do solo. O equipamento utilizado para esta medição é o condutivímetro que pode ser portátil (útil em campo) ou de laboratório. Já a RAS, geralmente, é calculada por meio do resultado da análise de água que pode ser feita em laboratórios específicos para fins agrícolas, a qual é calculada a partir da Equação 1. A sodificação do solo é um processo que geralmente ocorre após a salinização.

$$RAS = \frac{NA^+ \text{ (sódio)}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} \text{ (cálcio)} + Mg^{2+} \text{ (magnésio)}}{2}}} \quad (1)$$

em que:

RAS = relação de adsorção de sódio.

Ayers e Westcot (1999) elaboraram tabelas, como a Tabela 1, que facilitam a classificação das águas de qualidade inferior quanto aos riscos de salinização e sodificação do solo.

A salinização do solo interfere na absorção da água pelas raízes, pois o aumento gradativo dos sais na solução do solo reduz o potencial osmótico da água, afetando o processo passivo de entrada de água nas plantas (osmose). Ou seja, quando a quantidade de sais na solução é muito alta, as plantas não conseguem absorver

Tabela 1 - Classes de restrição ao uso da água para irrigação, segundo os riscos associados

| Risco | Sistema de irrigação | Variável | Classes de restrição | | |
|--|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------|------------|
| | | | Nenhuma | Leve a moderada | Severa |
| Salinização | | CEa (dS/m) | < 0,7 | 0,7 a 3,0 | > 3,0 |
| | | SDT (mg/L) | <450 | 450 a 2.000 | > 2.000 |
| Sodificação (redução da infiltração de água no solo) | | RAS (mmol/L) ^{1/2} | CEa (dS/m) | CEa (dS/m) | CEa (dS/m) |
| | | 0 a 3 | > 0,7 | 0,7 a 0,2 | < 0,2 |
| | | 3 a 6 | > 1,2 | 1,2 a 0,3 | < 0,3 |
| | | 6 a 12 | > 1,9 | 1,9 a 0,5 | < 0,5 |
| | | 12 a 20 | > 2,9 | 2,9 a 1,3 | < 1,3 |
| | | 20 a 40 | > 5,0 | 5,0 a 2,9 | < 2,9 |
| Toxicidade de íons específicos às culturas | Superfície | Na ⁺ (mmol/L) | < 3,0 | 3,0 a 9,0 | > 9,0 |
| | Aspersão | Na ⁺ (mmol/L) | <3,0 | > 3,0 | |
| | Superfície | Cl ⁻ (mmol/L) | <4,0 | 4,0 a 10,0 | > 10,0 |
| | Aspersão | Cl ⁻ (mmol/L) | <3,0 | > 3,0 | |
| | Aspersão | HCO ³⁻ (mmol/L) | <1,5 | 1,5 a 8,5 | > 8,5 |
| Obstrução em sistemas de irrigação localizada | | pH | < 7,0 | 7,0 a 8,0 | > 8,0 |
| | | Fe total (mg/L) | < 0,1 | 0,1 a 1,5 | > 1,5 |
| | | ISL | < 0,0 | > 0,0 | |

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1999).

Nota: CEa - Condutividade elétrica da água; SDT - Sólidos dissolvidos totais; RAS - Relação de adsorção de sódio; ISL - Índice de saturação de Langelier.

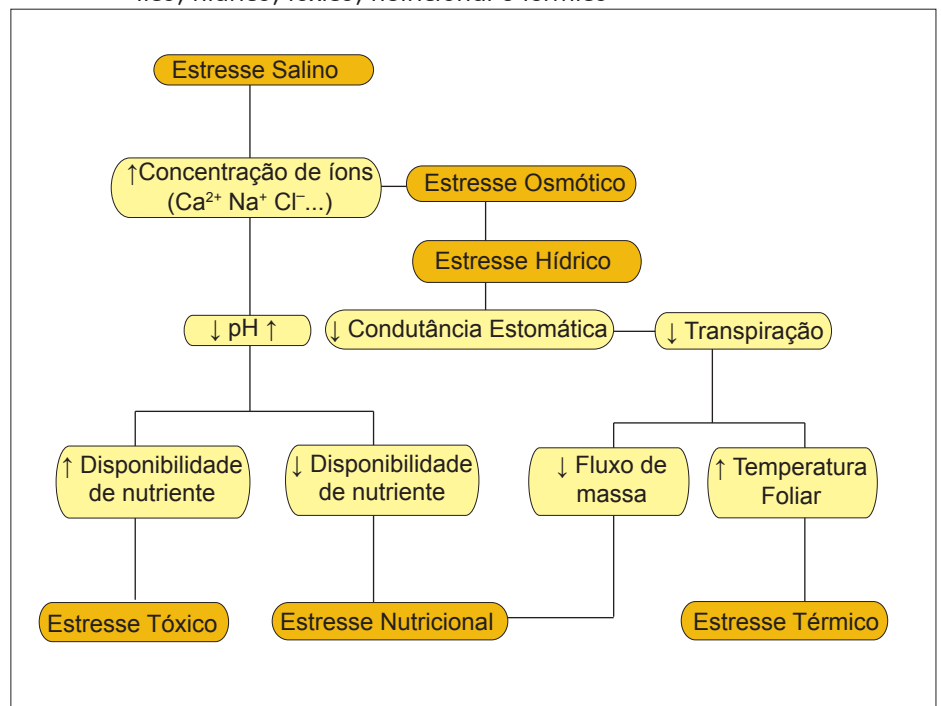
água, mesmo quando este solo estiver com a máxima capacidade de retenção de água (capacidade de campo), este fenômeno é chamado “seca fisiológica das plantas”. A sodificação que é o aumento da quantidade de sódio trocável adsorvido nas partículas de argila e o principal efeito é a impermeabilização do solo, ou seja, solos sódicos possuem baixa capacidade de infiltração de água e um grande problema de drenagem (encharcamento).

O estresse salino desencadeia um conjunto de estresses, cujo inter-relacionamento pode ser observado na Figura 1.

Além desses problemas, a alta quantidade de sais na água pode ocasionar efeitos indiretos ou relacionados com a nutrição das plantas, principalmente nas relações de nitrato, K ou Ca com o Na.

Cita-se ainda o efeito dos elevados teores de carbonato e bicarbonato na água, quando utilizada para irrigação, que pode

Figura 1 - Organograma relacionando o estresse salino com os estresses osmótico, hídrico, tóxico, nutricional e térmico



Fonte: Oliveira (2006).

promover a precipitação de Ca, na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3), facilitando um suposto processo de sodificação do solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

E por último, mas não menos importante, é necessário verificar a possibilidade de toxidez por íons específicos, principalmente, Na^+ , Cl^- e B que mesmo em pequenas quantidades podem ser altamente tóxicos. Nota-se que na Tabela 1, a restrição em relação aos íons tóxicos leva-se em conta como é aplicada a água via irrigação, se é umedecida a copa da planta (aspersão), provocando um efeito mais pronunciado destes íons; ou se é aplicada próximo ao solo (sulcos ou gotejamento), evitando o

contato da água e sais com as folhas (sulcos ou gotejamento).

A utilização de águas salinas na irrigação, quando não realizado um manejo adequado, pode ocasionar a salinização do solo após várias irrigações sucessivas. Para evitar tal problema, deve-se lançar mão do uso do processo de lixiviação, o qual pode ser feito pela infiltração de água das chuvas ou por uma lâmina de água adicional (AYERS; WESTCOT, 1999).

Segundo Ferreira (2001), para estimar a necessidade de lixiviação, é necessário conhecer tanto a salinidade da água de irrigação quanto a salinidade tolerada pela

cultura. A salinidade da água de irrigação pode ser determinada em termos de sua CE, ou por análise de laboratório. A determinação da salinidade tolerada pelas culturas é resultado de pesquisas realizadas com diferentes espécies de plantas, determinando-se as quedas na produtividade consequentes aos diferentes níveis de salinidade na zona radicular. A Tabela 2 apresenta, resumidamente, alguns desses resultados.

Na Tabela 2, a salinidade tolerada refere-se à salinidade média da água na zona radicular medida no extrato de saturação (CEes). Os valores de CEes correspondem aos níveis de salinidade que induzem uma

Tabela 2 - Tolerância à salinidade de algumas culturas e seu rendimento potencial em função da salinidade do solo ou da água de irrigação

| Cultura | Produção potencial | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | 100% | | 90% | | 75% | | 50% | | Zero% | |
| | CEes | CEai | CEes | CEai | CEes | CEai | CEes | CEai | CEes | CEai |
| Extensivas | | | | | | | | | | |
| Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>) | 7,7 | 5,1 | 9,6 | 6,4 | 13,0 | 8,4 | 17,0 | 12,0 | 27,0 | 18,0 |
| Arroz (<i>Oriza sativa</i>) | 3,0 | 2,0 | 3,8 | 2,6 | 5,1 | 3,4 | 7,2 | 4,8 | 11,0 | 7,6 |
| Cana (<i>Sacharum officinarum</i>) | 1,7 | 1,1 | 3,4 | 2,3 | 5,9 | 4,0 | 10 | 6,8 | 19,0 | 12,0 |
| Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) | 1,2 | 0,7 | 1,5 | 1,0 | 2,3 | 1,5 | 3,6 | 2,4 | 6,3 | 4,2 |
| Milho (<i>Zea mays</i>) | 1,7 | 1,1 | 2,5 | 1,7 | 3,8 | 2,5 | 5,9 | 3,9 | 10,0 | 6,7 |
| Soja (<i>Glycine max</i>) | 5,5 | 3,3 | 5,5 | 3,7 | 6,2 | 4,2 | 7,5 | 5,0 | 10,0 | 6,7 |
| Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) | 6,8 | 4,5 | 7,4 | 5,0 | 8,4 | 5,6 | 9,9 | 6,7 | 13,0 | 8,7 |
| Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) | 6,0 | 4,0 | 7,4 | 4,9 | 9,5 | 6,3 | 13,0 | 8,7 | 20,0 | 13,0 |
| Fruteiras | | | | | | | | | | |
| Limão (<i>Citrus limonea</i>) | 1,7 | 1,1 | 2,3 | 1,6 | 3,3 | 2,2 | 4,8 | 3,2 | 8,0 | 5,3 |
| Uva (<i>Vitis spp.</i>) | 1,5 | 1,0 | 2,5 | 1,7 | 4,1 | 2,7 | 6,7 | 4,5 | 12,0 | 7,9 |
| Hortaliças | | | | | | | | | | |
| Alface (<i>Lactuca sativa</i>) | 1,3 | 0,9 | 2,1 | 1,4 | 3,2 | 2,1 | 5,2 | 3,4 | 9,0 | 6,0 |
| Batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) | 1,5 | 1,0 | 2,4 | 1,6 | 3,8 | 2,5 | 6,0 | 4,0 | 11,0 | 7,1 |
| Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>) | 4,0 | 2,7 | 5,1 | 3,4 | 6,8 | 4,5 | 9,6 | 6,4 | 15,0 | 10,0 |
| Brócolos (<i>Brassica oleracea</i>) | 2,8 | 1,9 | 3,9 | 2,6 | 5,5 | 3,7 | 8,2 | 5,5 | 14,0 | 9,1 |
| Cebola (<i>Allium cepa</i>) | 1,2 | 0,8 | 1,8 | 1,2 | 2,8 | 1,8 | 4,3 | 2,9 | 7,4 | 5,0 |
| Cenoura (<i>Daucus carota</i>) | 1,0 | 0,7 | 1,7 | 1,1 | 2,8 | 1,9 | 4,6 | 3,1 | 8,1 | 5,4 |
| Melão Cataloup (<i>Cucumis melo</i>) | 2,2 | 1,5 | 3,6 | 2,4 | 5,7 | 3,8 | 9,1 | 6,1 | 15,0 | 10,0 |
| Milho Doce (<i>Zea mays</i>) | 1,7 | 1,1 | 2,5 | 1,7 | 3,8 | 2,5 | 5,9 | 3,9 | 10,0 | 6,7 |
| Pepino (<i>Cucumis sativus</i>) | 2,5 | 1,7 | 3,3 | 2,2 | 4,4 | 2,9 | 6,3 | 4,2 | 10,0 | 6,8 |
| Repolho (<i>Brassica oleracea capitata</i>) | 1,8 | 1,2 | 2,8 | 1,9 | 4,4 | 2,9 | 7,0 | 4,6 | 12,0 | 8,1 |
| Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) | 2,5 | 1,7 | 3,5 | 2,3 | 5,0 | 3,4 | 7,6 | 5,0 | 13,0 | 8,4 |

Fonte: Ferreira (2001).

Nota: CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS/m a 25 °C); CEai - Condutividade elétrica da água de irrigação (dS/m a 25 °C).

diminuição aceitável no rendimento da cultura, a qual equivale a uma queda de produção ≤ 10% (FERREIRA, 2001).

A necessidade de lixiviação, para determinados grupos de culturas, pode ser estimada recorrendo-se ao Gráfico 1. Para obtenção do Gráfico 1, considerou-se que a necessidade de lixiviação equivale à fração de lixiviação calculada com a Equação 2, e que o rendimento potencial é 100% (AYERS; WESTCOT, 1999).

Para uma cultura específica, Rhoades e Loveday (1990) recomendam a Equação 2.

$$FL = \frac{CE_{ai}}{5CE_{es} - CE_{ai}} \quad (2)$$

em que:

FL = necessidade de lixiviação (adimensional). Valor mínimo necessário para controlar a salinidade dentro dos limites de tolerância da cultura;

CE_{ai} = condutividade elétrica da água de irrigação (dS/m);

CE_{es} = condutividade elétrica média do extrato de saturação, correspondente à salinidade tolerada por uma determinada cultura (dS/m).

A lâmina anual de irrigação, a ser aplicada para satisfazer tanto a evapotranspiração anual da cultura quanto a necessidade de lixiviação, pode ser estimada empregando a Equação 3.

$$LA_{ai} = \frac{ET_c}{1 - FL} \quad (3)$$

em que:

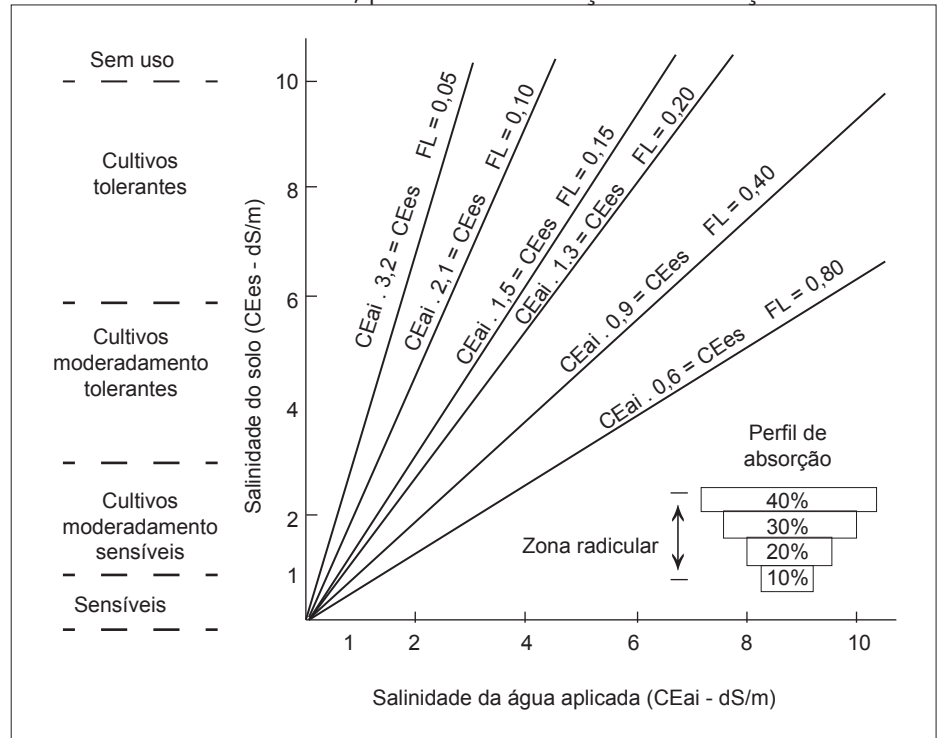
LA_{ai} = lâmina anual de irrigação (mm/ano);

ET_c = evapotranspiração anual da cultura (mm/ano);

FL = necessidade de lixiviação (adimensional).

Bresler, MacNeal e Carter (1982) citam várias equações que correlacionam a produção relativa e a salinidade no solo, citando a potencial, exponencial e a do platô-linear (Equação 4), sendo a última

Gráfico 1 - Efeito da salinidade da água de irrigação sobre a salinidade média na zona radicular, para diferentes frações de lixiviação



Fonte: Ayres e Westcot (1999).

Nota: CE_{es} - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; CE_{ai} - Condutividade elétrica da água de irrigação; FL - Fração de lixiviação.

mais difundida, proposta por Mass e Hofman (1977).

$$Y_r = 100 - b \cdot (CE_{es} - CE_{esL}) \quad (4)$$

em que:

Y_r = produção relativa da cultura (Y_c/Y_m) (%);

CE_{es} = condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado (dS/m);

CE_{esL} = condutividade elétrica limiar do extrato da pasta do solo saturado (dS/m);

b = redução da produção relativa por acréscimo unitário na CE_{es}, acima da CE_{esL} (%/dS/m).

Os valores de b e CE_{esL} são tabelados para muitas culturas. Entretanto, é importante a realização de pesquisas locais envolvendo as variedades utilizadas na região, uma vez que tanto o clima quanto a cultivar influenciam a produção.

Vale ressaltar que, para valores de salinidade menores que o limiar, a produção relativa é 100%, sendo que, para valores iguais ou maiores que a salinidade limiar, a produção relativa decresce linearmente. A partir de valores de produção relativa igual a 50%, a colheita torna-se, em geral, economicamente inviável (FERREIRA, 2001).

Em trabalho realizado por Oliveira (2006), o efeito da salinidade média ao longo do experimento sobre a produção relativa do feijoeiro cultivar Talismã, empregando-se o método proposto por Mass e Hoffman (1977), encontrou a salinidade limiar do feijoeiro igual a 1,67 dS/m, e o decréscimo da produção relativa, para cada unidade de CE_{es}, igual a 15,057%.

RISCO DE ENTUPIMENTO DE EMISSORES

Dentre os sistemas de irrigação existentes no mundo, a irrigação localizada é a

mais afetada pelo processo de entupimento do emissor, principalmente, o sistema de irrigação por gotejamento, pois trabalha sob baixa pressão de serviço e bocais de pequena dimensão, tornando-se mais suscetível ao entupimento.

A avaliação dos riscos de obstrução em sistemas de irrigação localizada (Tabela 1) está relacionada principalmente com as concentrações de ferro (Fe) e à precipitação de CaCO_3 . Esta última pode ser estimada por meio do ISL (AYERS; WESTCOT, 1999) (Equação 5).

$$\text{ISL} = \text{pHa} - \text{pHc} \quad (5)$$

em que:

pHa = pH da amostra da água;

pHc = pH de equilíbrio para CaCO_3 .

Valores positivos de ISL ($\text{pHa} > \text{pHc}$) evidenciam tendência à precipitação de CaCO_3 com risco de ocorrência de obstrução nos sistemas de irrigação, enquanto valores negativos do índice indicam que o CaCO_3 presente na água permanecerá dissolvido (AYERS; WESTCOT, 1999). O cálculo de pHc é realizado utilizando-se a Equação 6.

$$\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pKc}) + \text{pCa} + \text{p(Alk)} \quad (6)$$

em que:

$\text{pK}_2 - \text{pKc}$ = soma das concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ (mmol/L);

pCa = concentração de Ca^{2+} (mmol/L);

p(Alk) = soma das concentrações de CO_3^{2-} e HCO_3^- (mmol/L).

Além disso, o entupimento de emissores pode resultar de causas físicas como areia, silte e argila; biológicas como bactéria e alga; ou química como deposição mineral (PITTS; HAMAN; SMAJSTRLA, 1990).

A Tabela 3 mostra a classificação da qualidade da água em relação ao potencial de entupimento de gotejadores, com base em fatores físicos, químicos e biológicos.

Tabela 3 - Classificação da qualidade da água em relação ao potencial de entupimento de gotejadores

| Fator de entupimento | Risco de entupimento | | |
|--|----------------------|-----------------|---------|
| | Baixo | Moderado | Severo |
| Físico | | | |
| Sólidos em suspensão (mg/L) | < 50 | 50 - 100 | > 100 |
| Sólidos dissolvidos (mg/L) | < 500 | 500 - 2.000 | > 2.000 |
| Químico | | | |
| pH | <7,0 | 7,0 - 8,0 | > 8,0 |
| Manganês (mg/L) | <0,1 | 0,1 - 1,0 | > 1,0 |
| Ferro total (mg/L) | <0,2 | 0,2 - 1,5 | > 1,5 |
| Ácido sulfúrico (mg/L) | <0,5 | 0,5 - 2,0 | > 2,0 |
| Sulfeto de hidrogênio (mg/L) | <0,2 | 0,2 - 2,0 | > 2,0 |
| Biológico | | | |
| Bactérias heterotróficas (nº de bactérias/L) | <10.000 | 10.000 - 20.000 | >20.000 |

Fonte: Adaptado de Gilbert e Ford (1986).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do aumento da demanda dos recursos hídricos associada à menor disponibilidade de água, é inevitável que a sociedade exija que os usos sejam cada vez mais eficientes, mas além disso espera-se que as águas de qualidade inferior também sejam utilizadas cada vez mais. Entende-se por águas de qualidade inferior, as águas com maiores teores de sais, as ARs de esgoto doméstico, da indústria e do meio rural. Tais águas apresentam características que podem provocar problemas no solo, como salinização ou sodificação, na planta com redução de sua produção, no equipamento de irrigação com desgaste e entupimento, e nos aquíferos subterrâneos ou superficiais pela possibilidade de sua contaminação, seja por elementos químicos, físicos e biológicos.

Em virtude disso, o conhecimento da qualidade da água a ser utilizada é de suma importância, pois a partir da realidade existente podem-se empregar técnicas de manejo adequadas, de forma que permita o uso da água que tenha qualidade inferior sem que isso afete significativamente o resultado obtido na agricultura irrigada, garantindo sobretudo a sustentabilidade ambiental e econômica almejada.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L.O. de et al. Crescimento de girassóis ornamental em Sistema de Produção Orgânica e Irrigada com água residuária tratada. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p.69-82, 2012. Edição especial.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB: FAO, 1999. 153p. (FAO. Estudos. Irrigação e Drenagem, 29. Revisado I).
- BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. 9.ed.atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545p.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p.470,9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm#. Acesso em: 9 set. 2020.
- BRESLER, E.; MCNEAL, B.L.; CARTER, D.L. **Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling**. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 236p. (Advanced Series in Agricultural Science, 10).
- COELHO, E.F. et al. Fertirrigação. **Informe Agropecuário**. Irrigação, Belo Horizonte, v.31, n.259, p.58-68,70, nov./dez. 2010.

FERREIRA, P.A. **Qualidade de água e manejo água-planta em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV-DEA, 2001. 111p. (ABEAS: Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação, Módulo 10).

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles: emitter clogging. *In*: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (ed.). **Trickle irrigation of crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier Science, 1986. cap.3.1, p.142-163. (Development in Agricultural Engineering, 9).

LO MONACO, P.A. **Fertirrigação do cafeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. 2005. 96f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LOEHR, C.R. **Agricultural waste management: problems, processes, and approaches**.

New York: Academic Press, 1974. 576p.

MASS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.103, p.115-134, 1977.

MATOS, A.T. de; MATOS, M.P. de. **Disposição de águas residuárias no solo e em Sistemas Alagados Construídos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 371p.

OLIVEIRA, F.G. **Produção relativa do feijoeiro irrigado com água salina**. 2006. 61f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z; SMAJSTRLA, A.G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. Gainesville: IFAS, 1990. 20p. (IFAS. Bulletin, 258).

RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. *In*: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (ed.). **Irrigation of agriculture crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.1089-1142. (Agronomy, 30).

my, 1990. p.1089-1142. (Agronomy, 30).

SILVA, M.A.S. da; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108-114, jan./fev. 2007.

SIMÃO, F.R.; ANTUNES, A.J. Irrigação: manejo eficiente da água na agricultura irrigada em cenários de escassez hídrica. **Informe Agropecuário**. Estratégias para a convivência com o déficit hídrico, Belo Horizonte, v.36, n.285, p.20-30, 2015.

SOARES, S.F. *et al.* Produção de café cereja descascado com gasto mínimo de água. **Informe Agropecuário**. Estratégias para convivência com o déficit hídrico, v.36, n.285, p.67-77, 2015.

SOUZA, D.P. de *et al.* Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v.20, n.2, p.348-362, mar./jun. 2015.



NETAFIM™

PRODUZA MAIS COM MENOS

COM A IRRIGAÇÃO INTELIGENTE DA NETAFIM, VOCÊ NUNCA MAIS PRECISARÁ DEPENDER DAS CHUVAS.

PLANEJE A SUA PRODUÇÃO E GARANTA UMA OPERAÇÃO MUITO MAIS LUCRATIVA!

- QUALQUER CULTIVO
- QUALQUER SOLO
- QUALQUER RELEVO
- QUALQUER CLIMA
- QUALQUER LUGAR

PIVOT CENTRAL
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA
ENERGIA SOLAR

VALMONT SOLAR™ SOLUTIONS

SEJA PRODUTIVO
SEJA ECONÔMICO



BRASMAQUINAS
IRRIGAÇÃO

☎ 38 3821-2855

🌐 brasmaquinas.com.br

📍 Av. Edilson Brandão Guimarães, 1350
Janaúba - MG

VALLEY
Líder em Irrigação de Precisão

NETAFIM
GROW MORE WITH LESS

NETAFIM

Avanços tecnológicos dos equipamentos e emissores de irrigação

Marcus Vinícius Viana Schmidt¹, Carlos Barth², Marcus Henrique Tessler³, Flávio Gonçalves Oliveira⁴, João Batista Ribeiro da Silva Reis⁵, Mário Sérgio Paiva de Araújo⁶

Resumo - O desenvolvimento das civilizações passadas se confunde com a agricultura irrigada, uma vez que o homem precisa de alimentos para a sua sobrevivência. No início, o método de irrigação por sulcos permitiu a produção agrícola em épocas de estiagens e, em especial, em regiões áridas e semiáridas, e, com o passar do tempo e a invenção do aspersor na década de 1930, a irrigação passou por modernizações. Os equipamentos de irrigação foram sendo inventados com o passar dos anos, surgindo o autopropelido, o pivô central e a irrigação localizada. A indústria da irrigação foi então se adequando às demandas da sociedade e, principalmente, nas duas últimas décadas vem ofertando emissores mais resistentes e com uniformidade de irrigação potencialmente alta, com reduzidas pressões de trabalho e, conseqüentemente, menor consumo de energia.

Palavras-chave: Evolução tecnológica. Parâmetros operacionais. Sistemas de irrigação. Aspersão. Microaspersão. Gotejamento. Fertirrigação.

Technological advances in irrigation equipment and emitters

Abstract - The development of past civilizations is confused with irrigated agriculture, since man needs food for his survival. In the beginning, the furrow irrigation method allowed agricultural production in times of drought and especially in arid and semi-arid regions, and, with the passing of time and the invention of the sprinkler in the 1930s, irrigation underwent modernization. Irrigation equipment has been invented over the years, with self-propelled, central pivot and localized irrigation. The irrigation industry was then adapting to the demands of society and, mainly, in the last two decades it has been offering more resistant emitters with potentially high irrigation uniformity, with reduced working pressures and consequently less energy consumption.

Keywords: Technological evolution. Operational parameters. Irrigation systems. Sprinkling. Microsprinkler. Drip. Fertigation.

INTRODUÇÃO

A irrigação teve origem há cerca de 7.000 anos na Mesopotâmia, de acordo com historiadores, surgiu pela necessidade de fazer agricultura em um clima inóspito (VIOLETTE, 2017).

Os primeiros métodos adotados foram irrigação com sulcos ou inundação, os quais

utilizavam águas trazidas de rios ou nascentes para locais próximos onde eram cultivados os alimentos do dia a dia. Nos anos 30 foram criados os aspersores (CHRISTIANSEN, 1942), e na década de 1960 foi criado o método de irrigação localizada por gotejamento.

O objetivo de qualquer sistema de irrigação é aplicar uma quantidade definida

de água para as culturas no momento e no local certos. Independentemente do método utilizado, é necessário que os sistemas sejam eficientes para preservar os recursos naturais existentes, principalmente água e energia, otimizando a produção de alimentos e fibras para uma população crescente.

¹ Eng. Agrícola, M.Sc., Gerente Geral SENNINGER Irrigação do Brasil, Jaguariúna, SP, mschmidt@senninger.com.br.

² Eng. Agrônomo, Suporte Técnico Agrônomo NAANDANJAIN, Leme, SP, barth@naandanjain.com.br.

³ Eng. Civil, CEO NETAFIM Argentina, Campana, Argentina, marcus.tessler@netafim.com.

⁴ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

⁵ Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br.

⁶ Eng. Agrícola e Ambiental, D.Sc., Projetista, Montanha, ES, pmariosergio@yahoo.com.br.

A irrigação é a técnica que permite não só melhorar as produções, mas também a qualidade do produto final. Este fato é muito importante quando se trabalha com frutíferas ou hortaliças, pois, se a qualidade é precária, o valor obtido pelo produto é baixo, ou, por vezes, é inviável a comercialização.

A irrigação deve ser aplicada de forma controlada, evitando excessos. Desse modo é otimizado o uso da água e o consumo energético do sistema, além de evitar as perdas de fertilizantes e nutrientes do solo ocasionadas pela percolação profunda da água. Os principais fabricantes e instituições do setor de irrigação têm desenvolvido produtos e diversas tecnologias de aplicação, para atender esta necessidade juntamente com práticas agrícolas mais eficientes.

A irrigação pressurizada é dividida em métodos de aspersão e irrigação localizada. Nos métodos de aspersão estão presentes a aspersão convencional, o pivô central e o autopropelido. Já no método da irrigação localizada, estão a microaspersão e o gotejamento.

O objetivo com este artigo é apresentar os principais sistemas de irrigação pressurizados, com os vários tipos de emissores disponíveis no mercado.

ASPERSÃO

No caso dos sistemas de irrigação por aspersão, existem diversos fatores que determinam a característica e performance dos aspersores, como por exemplo: tipo de bocal, tamanho de gota, velocidade rotacional, diâmetro molhado, taxa de aplicação, pressão de operação, etc.

A combinação desses fatores, associados a outras características, por sua vez,

afeta a seleção de um sistema de aspersão e o seu desempenho, além de afetar o desempenho de um determinado campo de cultura. Na Tabela 1 é apresentada a classificação de acordo com a pressão de serviço.

Alguns aspersores e sua tecnologia foram desenvolvidos para o mercado de irrigação convencional, casas de vegetação, etc. e depois adaptados para irrigação mecanizada, pivô central e outras aplicações, como barras irrigadoras etc.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados exemplos de tipos de emissores para aplicação em irrigação convencional e pivô central.

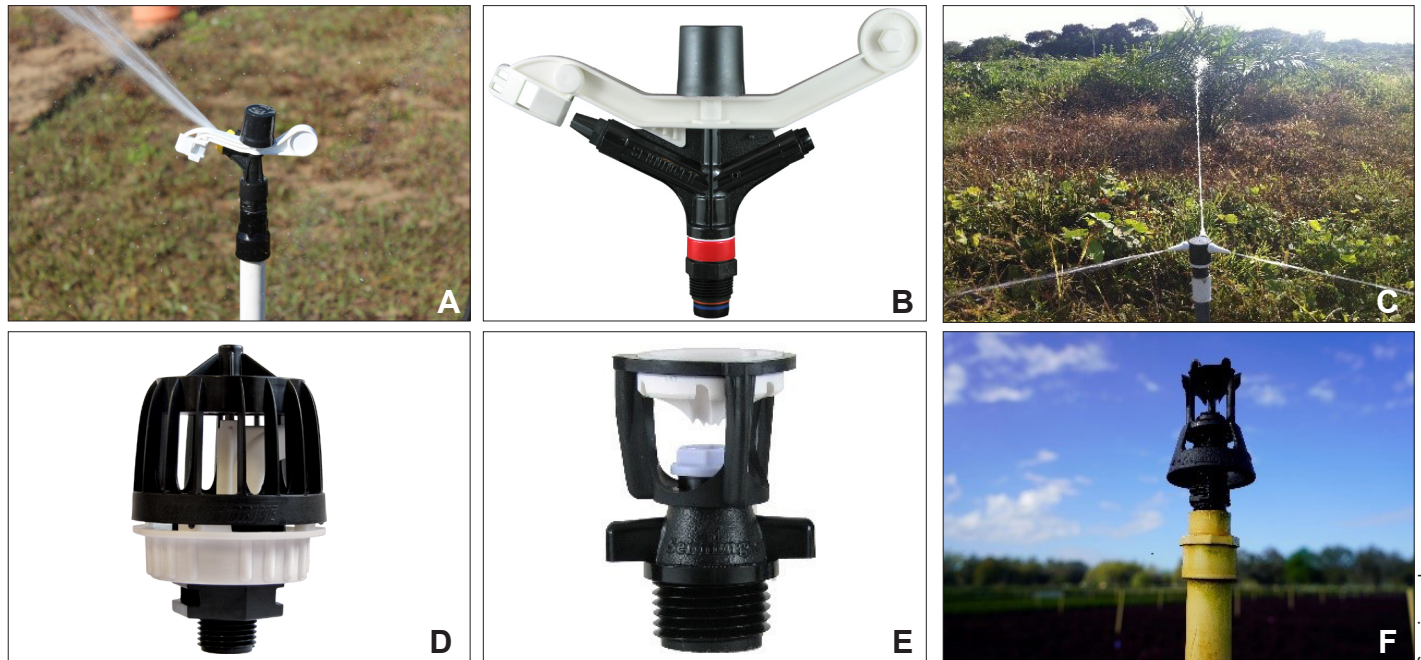
Tabela 1 - Classificação dos aspersores com relação à pressão de serviço

| Classificação da pressão | Tipo de aspersor | Pressão de serviço (m.c.a.) | Raio de alcance (m) |
|--------------------------|--|-----------------------------|---------------------|
| Alta | Canhões | >40 | >30 |
| Média | Minicanhões ou impacto com um ou dois bocais | 20-40 | 10-35 |
| Baixa | Spray, rotativos, etc. | 10-20 | 9-12 |
| Muito baixa | Spray, rotativos e borbulhadores | 4-10 | 3-8 |

Fonte: Adaptado de Bernardo (1985).

Nota: m.c.a. - Metros de coluna d'água.

Figura 1 - Aspersores para aplicação em irrigação convencional e pivô central



Nota: A - Aspersor de impacto baixa/média pressão com um bocal; B - Aspersor de impacto média pressão com dois bocais; C - Emissor baixa pressão com três bocais e ângulo do jato regulável; D - Aspersor rotativo baixa pressão com um bocal; E - Miniaspersor com defletor rotativo oscilante baixa/muito baixa pressão; F - Aspersor com defletor rotativo oscilante pressão muito baixa.

Com relação à modernização e avanço tecnológico na irrigação por pivô central, esta ocorre tanto na parte de gerenciamento da máquina: painéis de controle, acionamento, etc., como na parte estrutural e de componentes que buscam melhor desempenho, principalmente na parte hidráulica, visando maior eficiência energética e de aplicação. Cada setor ou fabricante que compõe o conjunto de irrigação tem desenvolvido e aprimorado seus produtos para melhor performance. A evolução dos emissores para pivô central está relacionada diretamente com o avanço tecnológico das máquinas.

O primeiro pivô central foi desenvolvido por volta de 1948 por Frank Zybach no Colorado, Estados Unidos, utilizava um sistema de pistões onde a água da irrigação movia as torres e trabalhavam com pressões de 60 até 120 PSI¹ (85 m.c.a.²) (ANA; EMBRAPA, 2019). A água era então aplicada por aspersores de impacto que operavam a uma pressão de 60 PSI (42 m.c.a.).

Por volta dos anos 1970, os motores elétricos e os motorreductores foram adaptados ao sistema e propiciaram uma diminuição significativa na pressão de bombeamento, passando então os pivôs a trabalharem com pressões menores e os aspersores de impacto com pressão de 40 PSI (28 m.c.a.).

A partir desse avanço os fabricantes de emissores passaram a desenvolver produtos mais eficientes e com pressão de operação menores, conforme demonstra o Gráfico 1.

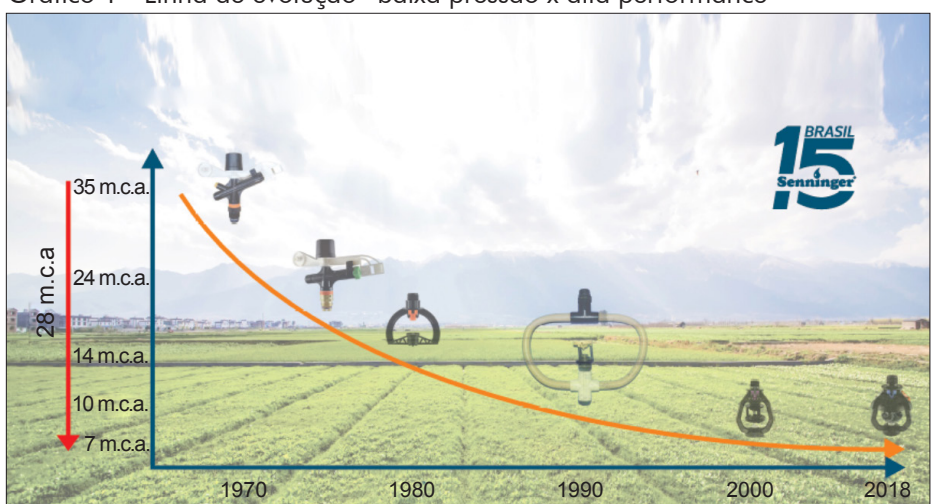
O primeiro passo foi a mudança de aspersores de impacto para spray, ainda na parte superior da tubulação e, após este, a adoção de tubos de descida para trazer o emissor mais próximo ao solo e do cultivo, aumentando a eficiência. Após o spray, veio o desenvolvimento de tecnologias rotativas que utilizam defletores ranhurados

Figura 2 - Aspersores para aplicação em pivô central



Nota: A - Spray; B - Spray com dois defletores; C - Rotativo oscilante (tecnologia Wobbler® - Senninger); D, E e F - Aspersores tipo borbulhadores para aplicação em pivô central com tecnologia de aplicação Low Energy Precision Application (LEPA).

Gráfico 1 - Linha de evolução “baixa pressão x alta performance”



Nota: m.c.a. - Metros de coluna d'água.

¹ PSI - libra força por polegada.

² m.c.a. - metros de coluna d'água.

para dividir o fluxo de água em mais jatos, melhorando a performance.

A próxima etapa foi o desenvolvimento da tecnologia rotativa com movimento oscilante do defletor, onde o fluxo d'água é dividido ainda mais em fluxos que proporcionam gotas de diferentes tamanhos (pequenos, médios e grandes) ao longo do raio molhado, mantendo o padrão e a consistência de aplicação e performance em condições de vento e evaporação, preservando a estrutura do solo.

A evolução tecnológica dos emissores e o aumento na eficiência de aplicação e uniformidade não seriam possíveis sem a utilização dos reguladores de pressão. Os reguladores de pressão são necessários quando não é possível fazer o dimensionamento das linhas de condução, para garantir que a máxima variação de pressão entre o primeiro e o último emissor fique dentro dos parâmetros de variação máxima permitida pela irrigação.

A função básica de um regulador de pressão é limitar as pressões excessivas e variáveis de entrada (fonte) a uma pressão de saída constante. O dimensionamento de um regulador de pressão deve levar em consideração a vazão, pressão nominal ou regulada e pressão máxima de entrada.

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS MECANIZADOS

A evolução tecnológica dos emissores, buscando operar com mais baixas pressões e melhor performance, também possibilitou diferentes maneiras na sua montagem e operação nos sistemas mecanizados. Estas evoluíram para trazer os emissores o mais próximo possível do dossel vegetativo, visando um aumento na eficiência de aplicação por meio da diminuição das perdas por evaporação e arraste.

A primeira alteração que propiciou um aumento na eficiência de aplicação foi a utilização de tubos de descida nos aspersores, mudando-os da parte de cima do pivô, "top of pipe", para montagem logo abaixo do tirante do lance. Essa mu-

dança originou três sistemas de montagens conhecidos como Mid Elevation Spray Application (MESA), Low Elevation Spray Application (LESA) e Low Energy Precision Application (LEPA) (WALLER; YITAYEW, 2016), os quais são apresentados no Figura 3.

No sistema MESA, os aspersores são montados a uma altura média entre o solo e o tubo da parte aérea do pivô (1,2 a 2,5 m). O espaçamento entre os aspersores é em torno de 3,0 m e estes operam com pressões de operação de 15-20 PSI com eficiências de aplicação em torno de 85% (MITCHELL *et al.*, 2016; PETERS; NEIBLING; STROH, 2016).

No sistema LESA, os aspersores são montados a uma altura baixa, em torno de 60 cm do solo, sendo os emissores espaçados no máximo a 1,5 m. Reduzindo as perdas por evaporação e arraste e con-

sumindo menos energia, pois opera com pressões muito baixas, 6-10 PSI.

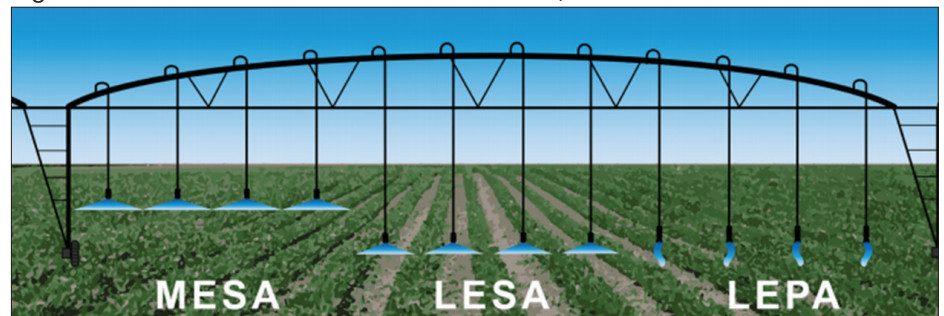
Os sistemas LEPA & Close Spacing –, aplicação precisa com baixa energia e, espaçamento curto –, são montagens em que os emissores, aspersores ou borbulhadores são colocados muito mais próximos ao solo, 15-40 cm de altura, com espaçamento muito reduzido entre um e outro, menor que 1,0 m, operando com pressões muito baixas, 6-10 PSI. Normalmente os emissores trabalham na posição "bubbler" ou borbulhador, em que a água não é aspergida sobre a cultura e sim aplicada em jorros ou em forma de leques muito próxima ao dossel da cultura ou solo.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo sobre cada tipo de emissores citados.

MICROASPERSÃO

A técnica da irrigação por microaspersão surgiu como método utilizado para

Figura 3 - Alturas relativas dos conceitos MESA, LESA e LEPA



Fonte: Adaptado de Howell (2006).

Nota: MESA - Mid Elevation Spray Application; LESA - Low Elevation Spray Application; LEPA - Low Energy Precision Application.

Tabela 2 - Potencial de aplicação dos emissores

| Emissor | Posição | Pressão de operação | Eficiência de aplicação (%) | Potencial de escoamento | Potência instalada |
|----------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------|
| Canhões | Topo | Alta | 60-75 | Baixo ↓ | Alta ↑ |
| Impacto | Topo | Média/Baixa | 80-85 | | |
| Spray | Topo | Baixa | 87-92 | | |
| Spray-Rotativo | MESA | Baixa/Muito baixa | 87-92 | Alto ↑ | Baixa ↓ |
| Spray e Oscilantes | LESA | Muito baixa | 90-95 | | |
| LEPA & Close Spacing | LEPA (bulbo) | Muito baixa | 95-98 | | |

Fonte: Adaptado de Schneider (2000) e Howell (2006).

Nota: MESA - Mid Elevation Spray Application; LESA - Low Elevation Spray Application; LEPA - Low Energy Precision Application.

cultivo de cítricos em Israel, sendo apresentada pela primeira vez na feira AgriTec em TelAviv no final dos anos 70, com um emissor não rotativo, um pouco diferente dos atualmente utilizados. No Brasil consta que a primeira utilização deste método foi em 1982 em um cultivo de goiaba, no município de Campinas, SP.

A irrigação por microaspersão é definida como: “sistema que utiliza microaspersores ou sprays e que aplicam a água na forma de jatos ou aerossol [...]” (TESTEZLAF, 2017), conforme é apresentado na Figura 4.

Em qualquer topografia e formato de área é possível utilizar o método de irrigação por microaspersão, desde que se faça um projeto hidráulico específico e que se atente para a velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo, devendo sempre a precipitação da água do microaspersor ser menor que a taxa de infiltração do solo – VIB, pois caso contrário haverá escoamento superficial, que é indesejável pelos efeitos de

erosão e lavagem superficial de defensivos e fertilizantes. O projeto de irrigação deve ser feito sempre de forma muito profissional, não só levando em conta a malha hidráulica e a precipitação do emissor compatível com a VIB do solo, mas também a sua uniformidade de vazão e de distribuição. Em topografias acidentadas, o uso de microaspersores autocompensados, ou seja, aqueles que mantêm a vazão constante independentemente da pressão da água, é um requisito fundamental.

Existe no mercado uma grande variedade de microaspersores, e o uso de cada um deve ser específico.

Microaspersor não compensado

Estes microaspersores não possuem mecanismo de regulagem de vazão e variam a vazão conforme varia a pressão de entrada neste emissor. A indicação é para uso em pomares de frutíferas, horticultura, viticultura, viveiros e estufas. Geralmente

são utilizados em áreas com topografia plana ou com pouco declive.

A faixa de vazão está ao redor de 30 a 200 L/h e com diâmetro molhado na faixa de 1 a 11 m. Outro modelo de microaspersor é o Jet, cuja saída da água é em forma de jato, conforme a Figura 5A.

O uso de emissores deste tipo reduz tanto a deriva da água por conta do vento como também a evaporação direta, tendo como resultado uma economia de água aplicada. A opção anti-inseto é desejável quando a região tiver histórico de problemas deste tipo.

A utilização de microaspersores invertidos é quase como uma obrigação em viveiros e estufas, para manter a área livre de tubulações e emissores para não interferirem nos serviços.

Um modelo perfeito para este uso são os microaspersores sem ponte, ou seja, sem o suporte para o rotor. Este suporte pode interceptar a água que sai do microaspersor, água esta que irá cair em forma de pingos, podendo remover semente ou plântulas do substrato.

Microaspersor autocompensado

Estes emissores possuem um dispositivo que permite a mesma vazão independentemente da pressão de entrada. Geralmente a variação de pressão permitida é de 15 a 40 m.c.a. (Fig. 5B).

As principais utilizações para estes microaspersores são: pomares, horticultura, estufas e viveiros. Como não são sensíveis à variação de pressão, podem ser instalados em linhas longas e em áreas com topografias irregulares.

Alguns modelos vêm com a opção de defletores removíveis que limitam o alcance do jato de água, sendo muito úteis em instalações com mudas recém-plantadas que não necessitam de um raio grande de alcance da água. Com o crescimento das plantas, os defletores são manualmente removidos e o alcance do jato aumenta, ficando na especificação original.

Os modelos Smart PC têm estrutura simples, fácil de uso e pressão iniciando em

Figura 4 - Microaspersor em operação



NaamDenJain

10 m.c.a., permitido o uso com linhas mais longas e em topografia declivosa suportando pressões de até 30 m.c.a., e com as opções de alcance de jato pequeno, médio e grande.

Emissores Mist

Estes emissores ficam em uma escala intermediária entre os microaspersores e os atomizadores. São utilizados para dupla finalidade: nebulização e irrigação em mudas plantadas em viveiros, com tamanho de gota ideal que reduz muito a deriva de névoa fina (Fig. 6A).

Atomizadores

Estes modelos de microaspersores produzem gotas de água de pequeno diâmetro, abaixo de 90 micrometros, e tem vários usos, não só na área agrônômica, mas também em aviários e outras. Os principais usos para estes emissores é climatização e fumigação (Fig. 6B).

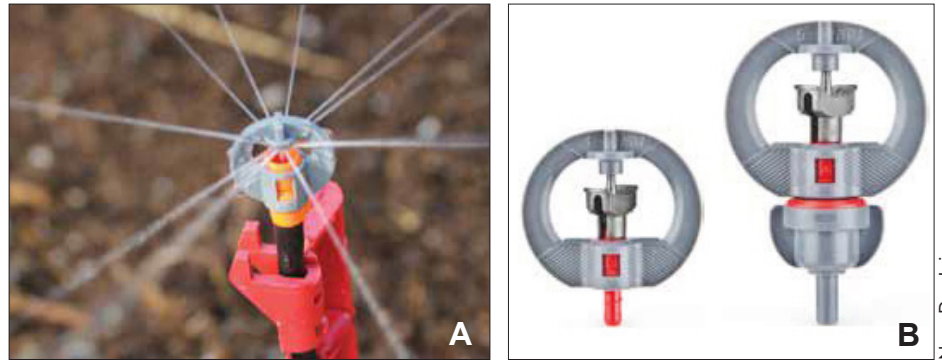
A climatização tanto é utilizada para a redução de temperatura em viveiros, aviários e na pecuária, como para aumento da umidade relativa (UR) do ambiente, quando desejável.

A redução de temperatura baseia-se no princípio do resfriamento evaporativo, que é a redução da temperatura causada pela passagem da água do estado líquido para o estado gasoso no ambiente. Quanto menor a gota maior será a área exposta ao ar e a evaporação e, portanto, melhor será o rendimento.

Como o funcionamento deste sistema é por pulso cíclico, permanecendo ligado por alguns segundos e desligando e voltando a funcionar para novo ciclo em 15 a 30 segundos, deve prever válvulas antidrenante (dispositivo de prevenção de vazamento – Leakage Prevention Device (LPD)) no emissor para que no período desligado a água não seja drenada pelos emissores, mas sim permanecendo dentro da tubulação. Assim, quando ligar novamente o sistema, a pressurização será total e imediata e todos os emissores irão funcionar ao mesmo tempo.

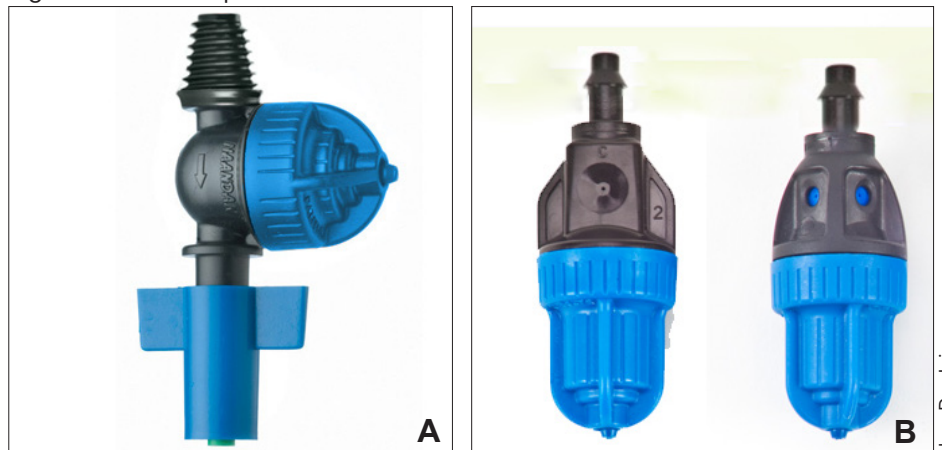
Outro uso dos nebulizadores que está-se intensificando é para a pulverização

Figura 5 - Microaspersores



Nota: A - Microaspersor Smart Jet; B - Modelo Smart Spin PC.

Figura 6 - Microaspersores



Nota: A - Green Mist; B - Super Fogger.

de defensivos em viveiros e estufas. O grande problema em estufas e viveiros ou outros ambientes fechados é a aplicação de defensivos pelo homem. Este deverá estar equipado com todos os equipamentos de proteção individual (EPIs) que se façam necessários, tornando esta tarefa estafante.

Quando a pulverização dos defensivos é feita via sistema de nebulização, o ambiente é previamente fechado, retirando todas as pessoas, e a seguir é feita a aplicação, sem mão de obra e sem perigo para os trabalhadores e com alta eficiência. A instalação também é muito simples com as tubulações e emissores aéreos, não impedindo ou atrapalhando os serviços.

Tecnologia Spark

O desenvolvimento mais recente em sistemas de microaspersão é a utilização

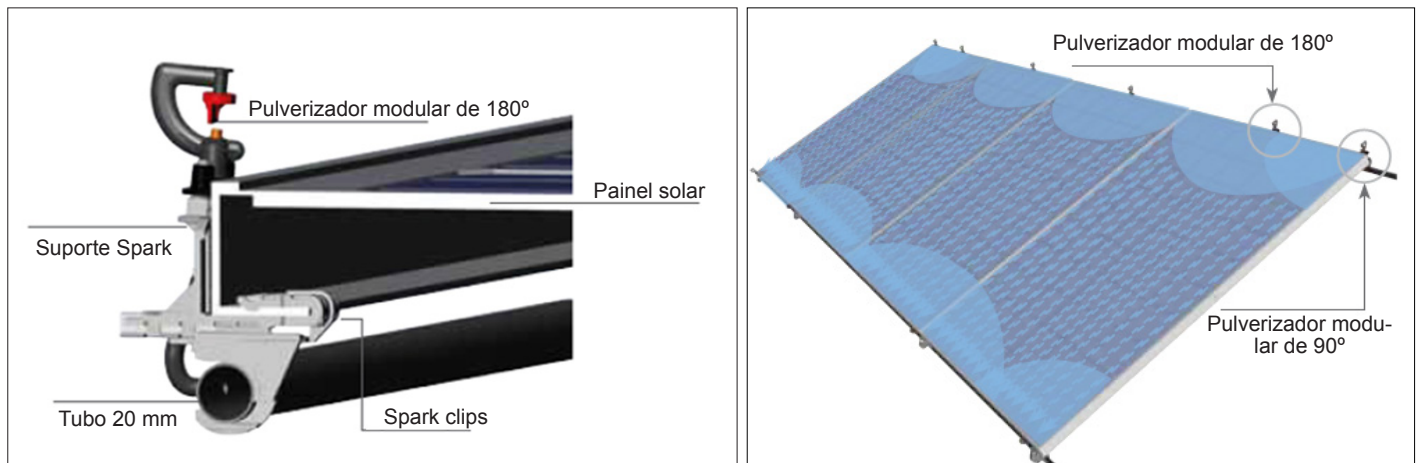
de emissores para a limpeza de painéis fotovoltaicos, conforme o Desenho 1.

É bastante conhecido no setor de geração de energia fotovoltaica que com o passar do tempo há redução da eficiência de geração de energia pela poeira e outros materiais que acumulam sobre a placa. Tem-se observado redução de até 30% na geração de energia, por este motivo.

A limpeza automática com a tecnologia Spark é uma interessante opção para painéis, pois não envolve mão de obra e é feita diariamente com um mínimo consumo de água, pois o emissor funciona de 20 a 30 segundos por dia.

O método de irrigação por microaspersão, apesar de ser o mais jovem dos métodos, com cerca de 40 anos, tem evoluído muito não só na concepção de novos modelos, mas também em aplicações, não ficando restrito somente na agricultura,

Desenho 1 - Tecnologia Spark



mas expandindo seu leque de opções para a indústria, avicultura, pecuária, painéis solares etc.

GOTEJAMENTO

A tecnologia do sistema irrigação por gotejamento originou-se em Israel, nos anos 1960 (MARQUES; FRIZZONE; TEIXEIRA, 2006), e foi fruto de um acaso, como muitas vezes ocorre com as grandes descobertas.

Um engenheiro de nome Simcha Blass, diretor do Departamento de Águas no Sul de Israel, a caminho de seu escritório, observou que várias árvores, plantadas em uma região árida, permaneciam permanentemente verdes e crescendo durante todo o ano. Após abrir uma pequena trincheira no local, observou que a linha adutora que levava água para o bairro vizinho, e que passava justamente ao lado das árvores, apresentava um pequeno vazamento.

A observação de que um vazamento insignificante e contínuo de água podia sustentar árvores de porte no meio de um deserto levou, alguns anos depois, ao desenvolvimento do primeiro gotejador idealizado por Blass, dando origem à tecnologia de irrigação por gotejamento (GOYAL, 2014).

O primeiro protótipo de um gotejador comercial surgiu de uma ideia muito simples de abrir um pequeno orifício em um tubo de polietileno, e envolvê-lo com um micro

tubo conectado a esse orifício, por onde a água fosse perdendo pressão à medida em que avançava pelo microtubo, e finalmente saía em forma de gotas. O kibbutz Hatzerim, que havia se associado e comprado a ideia original do engenheiro Blass, cria a primeira empresa de irrigação por gotejamento no mundo, a Netafim (HIRSCH, 2016). Desde então o desenvolvimento dessa tecnologia não para de crescer.

A tecnologia de irrigação por gotejamento esteve limitada a Israel até que novos gotejadores e acessórios para complementar os sistemas foram sendo aprimorados (filtros e válvulas), e finalmente, o conceito de irrigação por gotejamento, como um sistema novo e revolucionário, começa a se expandir.

A partir da segunda metade dos anos 1970, com o desenvolvimento de gotejadores mais sofisticados e confiáveis, e a partir da compreensão do potencial desses sistemas no aumento das produções e na qualidade final dos produtos irrigados, a tecnologia de irrigação por gotejo sai de Israel em direção a outros países do mundo, inicialmente sendo aplicado onde as áreas desérticas eram significativas (Estados Unidos, México, África do Sul, Austrália). No entanto, somente a partir dos anos 1980 é que a tecnologia da irrigação por gotejamento populariza-se e ganha adeptos em todo o mundo, tornando-se a opção técnica mais atrativa para um grande número de cultivos, em especial a fruticul-

tura, cotonicultura, citricultura, hortaliças, entre outros.

Ainda que o gotejamento tenha-se originado em Israel e as empresas israelenses continuam liderando o desenvolvimento dessa tecnologia, empresas de outros países já têm uma participação importante no crescimento do gotejamento em todo o mundo. Dentre estas destacam-se as empresas indianas, americanas, italianas, gregas, espanholas, coreanas, chinesas, entre tantas outras. O mercado é crescente e novas aplicações aparecem a cada dia.

No Brasil a irrigação por gotejamento aparece em torno de 1983, trazida por empresas que importavam tecnologia israelense ao País. A partir da segunda metade dos anos 1990, com a recente abertura comercial do País, as empresas israelenses começam a se instalar formalmente no Brasil. Já a partir do ano 2000, inicia-se a produção local de seus produtos, difundindo de forma definitiva a tecnologia.

Gotejadores

Os equipamentos de irrigação por gotejamento vêm-se desenvolvendo muito nos últimos 60 anos, tornando-se cada vez mais confiáveis e duráveis.

Nos primeiros gotejadores comerciais, o caminho em que a água percorria dentro do gotejador para dissipar energia (perder carga ou pressão) era um caminho helicoidal e muito longo, além do que a

água fluía através de uma área de seção transversal pequena. A velocidade da água dentro do gotejador não era grande, o que muitas vezes acarretavam problemas de funcionamento, em especial relativos a obstruções ou entupimentos. Em termos de engenharia, o fluxo nessas condições é conhecido como fluxo laminar.

A Figura 7 apresenta a evolução tecnológica dos gotejadores ao longo do tempo.

A partir dos anos 1970 desenvolveu-se um novo tipo de gotejador, em que o caminho interno percorrido é tortuoso e muito menor do que o apresentado no modelo anterior. Além disso possuía uma área de seção transversal interna maior, e com grande velocidade de escoamento de água. Esse gotejador, muito menos sujeito a entupimentos, tornava os sistemas de gotejamento mais confiáveis, mesmo sob regime de fertirrigação e/ou utilizando-

-se águas de baixa qualidade. Essa nova tecnologia incorpora hidraulicamente um fluxo turbulento no gotejador.

O caminho que a água percorre dentro do gotejador para perder energia é conhecido como o labirinto do gotejador, ou apenas labirinto (Fig. 8A). Ainda que o desenho, as dimensões e a forma tenham-se modificado significativamente nos últimos anos, todos os gotejadores modernos possuem esse sistema para induzir perda de carga.

Até meados dos anos 1970, os gotejadores eram externos à tubulação e inseridos mecanicamente no processo de fabricação. Em 1975 desenvolveu-se os primeiros gotejadores tipo botão, que são comuns até os dias de hoje, muito utilizados em viveiros e estufas (Fig. 8B).

Esses gotejadores, tanto os conhecidos como “in-line” até os gotejadores tipo botão “on-line”, apresentavam a mesma

característica de serem dependentes da pressão. Para um mesmo gotejador, se a pressão na linha varia de um ponto a outro, a vazão do gotejador muda de acordo com essa variação. Dessa forma, para que o sistema aplique água de maneira uniforme é necessário que o projetista fixe limites máximos de variação para a pressão, e, conseqüentemente, à vazão correspondente, uma vez que o conceito de uniformidade é fundamental em irrigação por gotejo.

Mais recentemente, a partir do fim dos anos 1970, incorporou-se mais um avanço tecnológico no desenvolvimento dos gotejadores. No mesmo gotejador de fluxo turbulento desenvolvido anteriormente, incorporou-se uma membrana de borracha ou silicone no corpo do gotejador (Fig. 8C). Essa membrana, chamada diafragma, ajusta-se dentro do gotejador, dependendo da pressão.

Figura 7 - História da evolução dos gotejadores

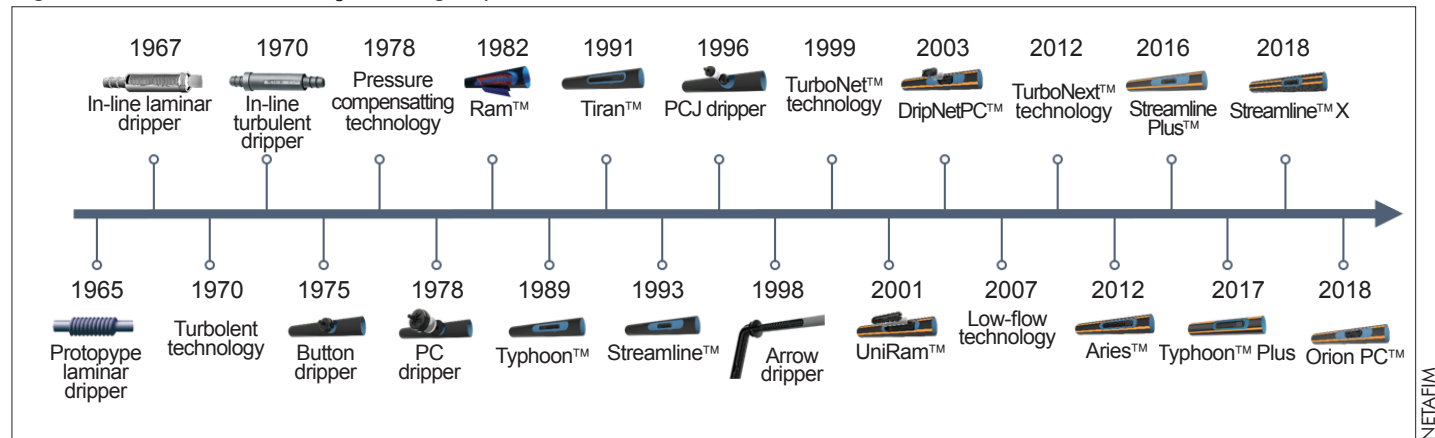
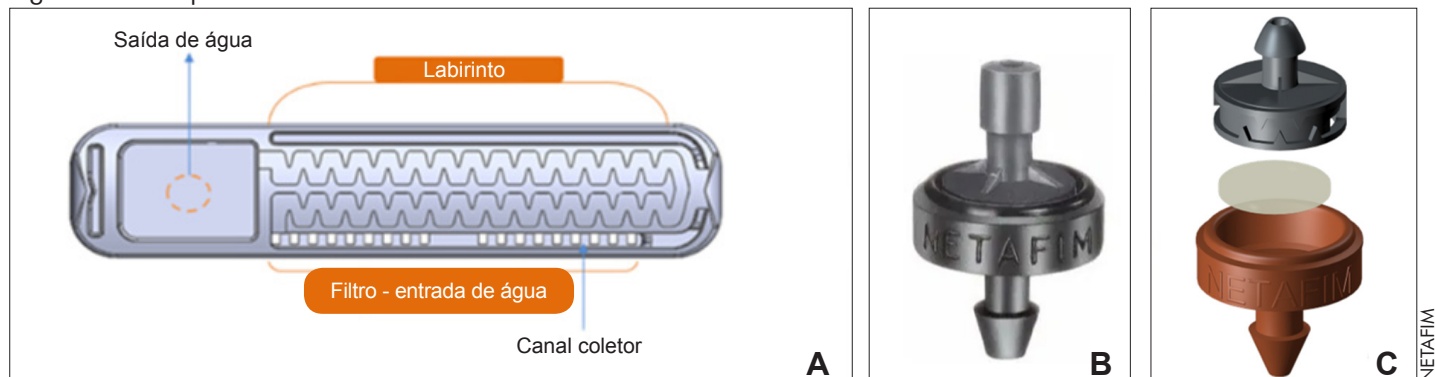


Figura 8 - Gotejadores



Nota: A - Representação de um gotejador; B - Gotejador tipo botão; C - Gotejador tipo botão autocompensável.

O diafragma incorporado exerce uma “regulagem” da pressão dentro do gotejador, fazendo com que, independentemente da pressão externa (pressão da linha), a vazão que cada gotejador vai aplicar seja sempre a mesma. Essa característica permite uma uniformidade de aplicação de água muito alta, dependendo apenas do gotejador. Em outras palavras, quando utilizado esse tipo de equipamento, a quantidade de água e de fertilizantes aplicados pelo sistema é igual em todo o campo, independentemente de topografia, comprimento da tubulação gotejadora, pressão na rede, etc.

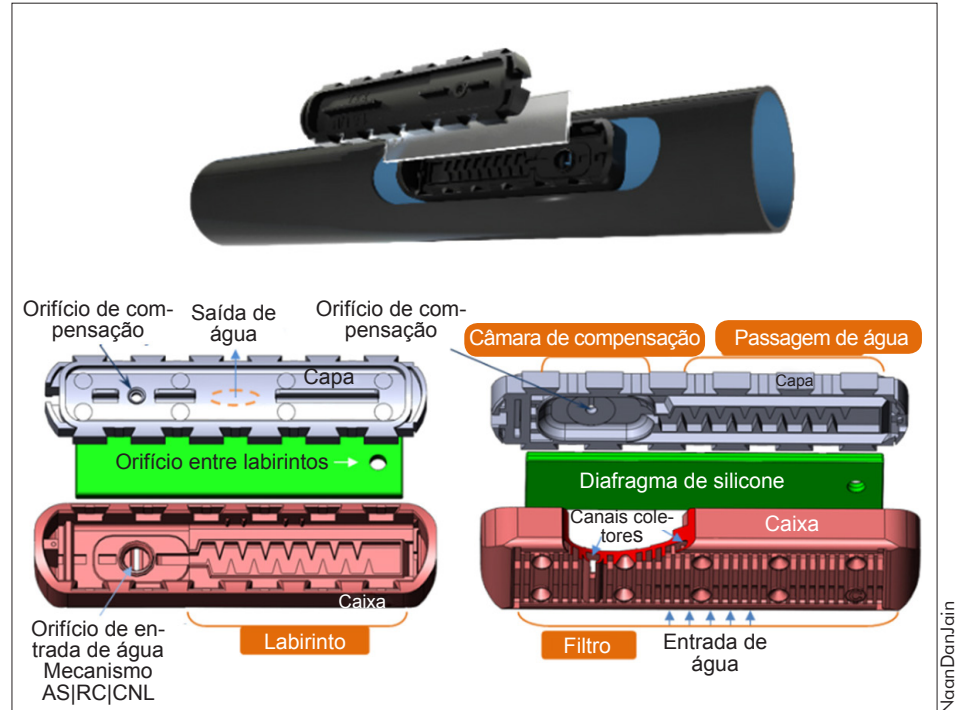
Esse tipo de gotejador é conhecido como autocompensável e foi considerado um dos avanços tecnológicos mais importantes no desenvolvimento dos sistemas de gotejamento. Ao mesmo tempo que se desenvolveu esse gotejador, incorporou-se também um mecanismo de autolimpeza nesses gotejadores.

Se alguma partícula ou impureza passar através dos filtros, penetrar o gotejador e chegar a bloqueá-lo, a membrana de regulação de pressão (diafragma) abre totalmente, permitindo que a passagem de água naquele instante seja a máxima. Nessas condições, o fluxo de água dentro do gotejador aumenta e elimina consigo a sujeira. Assim, além de desenvolver um mecanismo de autocompensão, incorporou-se neste um sistema de autolimpeza.

No início dos anos 1980, um novo gotejador foi desenvolvido, incorporando toda tecnologia de autocompensão e autolimpeza. O avanço significativo foi a introdução de tubulações onde os gotejadores foram incorporados durante o processo de fabricação da mangueira. Essa tubulação, com gotejadores integrados, é comumente chamada tubo gotejador, como pode ser visto no Desenho 2.

Nesse caso, a vazão e o espaçamento dos gotejadores são definidos pelo projetista, de acordo com os dados agrônômicos (cultura e solo) e a tubulação é fabricada de acordo com as especificações solicitadas. A vantagem desse equipamento é a redução de problemas de vandalismo, comuns

Desenho 2 - Tubo gotejador



NaamDanJain

quando na utilização de gotejadores de botão, aliado à praticidade de se estender e recolher essa tubulação no campo.

A partir dos anos 1990, a tecnologia de fabricação dos gotejadores permite duas opções: gotejadores autocompensados ou regulares, sejam de botões (externos) sejam integrais (internos). E é justamente a partir de década de 1990 e início do ano 2000 que o conceito da irrigação por gotejamento começa a se expandir fortemente em todo o mundo.

O desenvolvimento dos gotejadores continua, em especial no que diz respeito ao desenho de novos labirintos internos, garantindo uma performance ainda mais eficiente. Esses mesmos gotejadores vêm acompanhados de um pré-filtro, de modo que otimiza ainda mais as questões ligadas a obstruções.

Várias empresas apresentam diferentes modelos de gotejadores. Alguns gotejadores são planos, outros cilíndricos. Há gotejadores dimensionados para operar por várias temporadas, outros para apenas um ou dois ciclos. Alguns resistem a águas de baixa qualidade (residuais), outros nem tanto.

Dimensões internas e o desenho dos labirintos também apresentam características distintas. Não cabe aqui uma análise comparativa entre as várias opções.

Uma alternativa de irrigação por gotejamento são as “fitas gotejadoras” ou mais comumente chamado “tapes” (Fig. 9). Essa tubulação não possui gotejadores internos; durante o processo de fabricação imprime-se um labirinto na formação do tubo, por onde a água escoar. São produtos muito comuns no mercado, destinados em geral

Figura 9 - Fita gotejadora



NETAFIM

a pequenos e médios projetos de hortaliças, melão, cebola, etc., e cultivos de ciclo curto. Trata-se de uma tecnologia muito mais simples, sem o rigor da precisão que se espera de produtos com gotejadores inseridos ou em aplicações mais técnicas.

Novos produtos vão sendo desenvolvidos constantemente para aplicações especiais. Dentre estes têm-se os gotejadores tipo flecha, para aplicações em viveiros; os gotejadores com mecanismos antissucção, para trabalhar com sistemas de gotejo enterrado; gotejadores com produtos inibidores de intrusão de raízes; gotejadores antidrenantes, ou ainda, os desenvolvidos para aplicação em mineração (lixiviação de ouro e cobre); entre outros. A tecnologia avança.

De forma sucinta os gotejadores modernos incorporam uma série de parâmetros técnicos e de engenharia, que os tornam muito mais resistentes e adaptados à toda e qualquer situação de campo.

Cada aplicação requer um tipo de solução. Dentre outros parâmetros, a escolha do gotejador/tubo gotejador ideal é uma combinação de vários fatores, e vai depender da experiência dos técnicos e projetistas para definir a solução mais apropriada.

Vazão dos gotejadores

A vazão dos gotejadores tem mudado significativamente nos últimos anos. Com o desenvolvimento da tecnologia e do conhecimento agrônomico associado à irrigação por gotejamento, observa-se uma tendência de se utilizar a cada dia gotejadores de vazões menores.

A distribuição da água em torno do gotejador tende a ser maior lateralmente, quando se utilizam vazões menores, uma vez que a água vai-se distribuindo mais lentamente no solo. Do ponto de vista agrônomico, a taxa de aplicação de um sistema com essas características é menor, permitindo repor lentamente ao cultivo o que está sendo consumido pela evapotranspiração. E finalmente, ao aplicar água de forma mais lenta, minimiza-se o potencial de perdas por lixiviação.

A utilização de gotejadores com vazões menores tem um impacto muito grande na engenharia, permitindo linhas longas para a tubulação gotejadora, menor infraestrutura de rede hidráulica, simplificando a instalação dos sistemas e reduzindo também as questões de automatização.

A utilização de gotejadores de vazão menor só está sendo possível por causa do desenvolvimento tecnológico dos emissores apresentados anteriormente. Até poucos anos atrás era comum projetar sistemas com gotejadores de 8,0 L/h, 4,0 L/h, 3,6 L/h, entre outros. A tendência atual é a de se trabalhar com gotejadores de 1,6 L/h, 1,0 L/h, 0,6 L/h e até menores, de 0,4 L/h.

Há vários projetos utilizando-se gotejadores de pequena vazão, menor que 1,0 L/h, inclusive em irrigação subterrânea. É claro que a decisão de se utilizar essa alternativa passa por uma análise cuidadosa da qualidade da água, mas a tendência é a de que essa opção continue crescendo, uma vez que as vantagens agrônomicas e de engenharia são significativas.

Gotejamento enterrado

A técnica da irrigação por gotejamento enterrado – subsurface drip irrigation (SDI) é conhecida há muitos anos, e sua aplicação que estava restrita a poucos cultivos (hortaliças, tomate industrial, entre outros) vem-se expandindo rapidamente

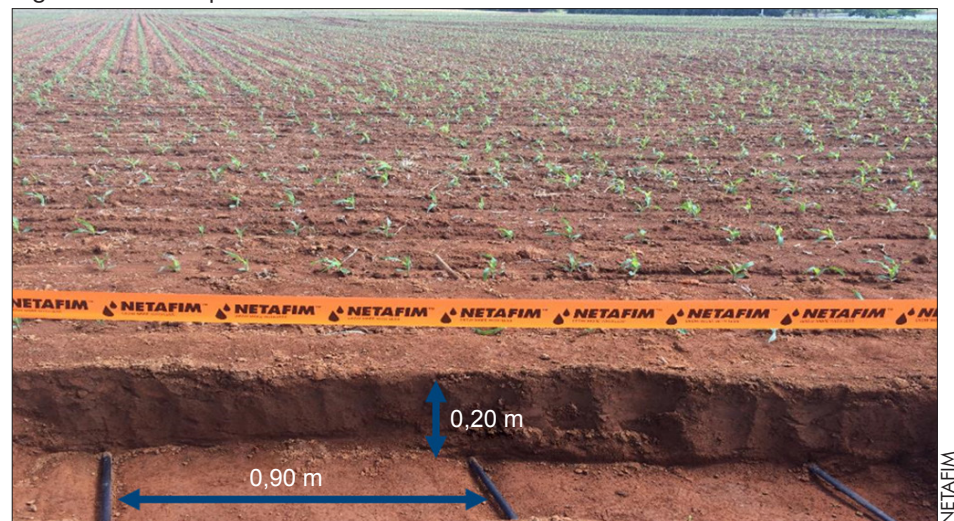
(GOMES; SOUSA, 2002). No Brasil, a cana-de-açúcar e o café são alguns dos cultivos que têm-se beneficiado do gotejamento enterrado com excelentes resultados (AGUIAR, 2002; FARIA; COELHO; RESENDE, 2004).

Nos últimos anos o interesse na irrigação de grãos (soja, milho, trigo), além do algodão, alfafa e pastagens, tem levado a um crescimento acelerado da aplicação de SDI. Já são inúmeros os projetos nessa área e vem crescendo anualmente.

Os parâmetros de instalação (profundidade, preparo de solo, plantio e instalação por sistema de posicionamento global – Global Positioning System (GPS), escolha da vazão e espaçamento dos gotejadores) e o manejo do sistema de gotejamento para solos tropicais, incluindo a garantia de germinação dos cultivos e os ajustes do sistema para as condições de plantio direto, já estão consolidados (Fig. 10). O gotejamento enterrado é uma realidade e sua aplicação nos cultivos anuais é uma das áreas de maior potencial de crescimento do gotejo no mundo.

A determinação do espaçamento entre as linhas gotejadoras e a profundidade de enterrio depende de inúmeros parâmetros, dentre estes o tipo de solo, o tipo de cultivo e a vazão do gotejador. Na maioria dos casos, há a expectativa de se germinar via irrigação. A tubulação gotejadora fica

Figura 10 - Gotejamento enterrado em milho



comumente enterrada entre 15 e 25 cm de profundidade, após uma análise cuidadosa do bulbo molhado, avaliando principalmente a ascensão capilar e o movimento lateral da água. O ideal é de que a água suba por capilaridade até alcançar as sementes recém-plantadas, garantindo uma germinação homogênea.

Uniformidade

O projeto hidráulico de um sistema de irrigação por gotejamento inicia-se na adequação do tipo de gotejador, e o espaçamento entre os gotejadores ao tipo de solo onde o cultivo está plantado. Para determinar precisamente esses valores, pode-se proceder a testes no campo e averiguar se a escolha foi apropriada. Em alguns casos um engenheiro experiente define esses parâmetros a priori, sem a necessidade de testes.

O espaçamento entre gotejadores não tem nenhuma relação com o espaçamento da cultura a ser irrigada. Tomemos por exemplo um cultivo de café. Se o café foi plantado a uma distância de 0,5 m entre plantas, e se o solo em questão tem textura média ou argilosa, pode-se optar por espaçamentos entre gotejadores que variam de 0,6 a 0,75 m. No caso de solos de textura leve (arenosos), o espaçamento entre gotejadores é reduzido, entre 0,4 e 0,5 m. O que se busca é a formação de um bulbo molhado, formando uma faixa contínua, onde as raízes do café possam extrair água e fertilizantes. Exemplificando, se para um espaçamento de 0,7 m entre gotejadores a faixa molhada é contínua, o café pode-se desenvolver adequadamente ainda que plantado à distância de 1 m ou até 0,5 m entre plantas.

A combinação do tipo de solo, vazão e distância entre os gotejadores é o que define a solução técnica do projeto, e não o espaçamento do cultivo em si. Como regra geral áreas com topografia acidentadas, seja por grandes declividades, seja quando o cultivo não é plantado em nível, requerem gotejadores autocompensáveis. Áreas mais planas podem ser irrigadas com gotejadores convencionais ou autocom-

pensáveis, caso deseje linhas gotejadoras muito compridas.

Em sistemas de gotejamento com gotejadores regulares (onde a vazão de um gotejador depende da pressão), há que estabelecer critérios de engenharia para assegurar um alto grau de uniformidade. Normalmente, se define que nesses casos um bom projeto tenha uma variação máxima de vazão entre os gotejadores de 10% (ALLEN *et al.*, 1998). Com esse critério assume-se que a uniformidade do sistema é alta e não deve afetar o resultado agrônômico.

Para variações maiores do que 10%, a desuniformidade aumenta e, consequentemente, a diferença entre a vazão dos primeiros e dos últimos emissores nas linhas laterais de irrigação será grande, e isso pode influir na produção, criando áreas mais produtivas do que outras. Isso é especialmente observado em cultivos perenes, onde ano após ano parte da lavoura é mais irrigada e fertilizada do que outras.

Para conseguir uma variação máxima de vazão de 10%, o projetista deve restringir a variação máxima de pressão dentro de um determinado setor, dependendo do gotejador (Desenho 3).

Em casos de topografias acidentadas, com declividades grandes, obter essa variação máxima de vazão pode ser difícil, podendo acarretar custos adicionais. Nesses casos, costuma-se optar por gotejadores autocompensáveis.

Sistemas que utilizam tubulações com gotejadores autocompensáveis caracterizam-se por uma alta uniformidade de

aplicação. Todos os gotejadores aplicam a mesma quantidade de água e nutrientes e, em geral, essa uniformidade é refletida na lavoura, com crescimento das plantas e produção muito similar em toda a área.

A eficiência de aplicação de água em sistemas autocompensados é muito grande, e pode chegar a 95%. Isto significa que, para cada 100 L de água aplicado, 95 L são consumidos pelas plantas. A alta uniformidade de aplicação acaba refletindo nos cultivos, com uma produção homogênea e de alta produtividade.

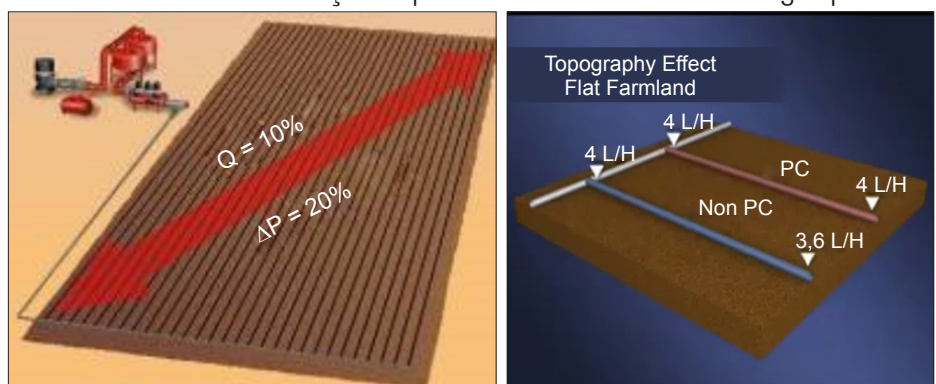
FERTIRRIGAÇÃO

Uma técnica já bem difundida, principalmente na irrigação localizada, é a aplicação de nutrientes via sistema de irrigação, método este chamado fertirrigação. Esta técnica permite realizar a distribuição de fertilizantes no campo de forma parcelada e no momento adequado, o que proporciona maior economia de fertilizantes, pois melhora o aproveitamento da água e diminui as perdas por volatilização.

Três fases devem ser obedecidas quando se faz a aplicação de produtos via água de irrigação (FRIZZONE *et al.*, 1985):

- fase 1 - pressurização do sistema de irrigação: esta depende do tamanho da área irrigada pelo setor da irrigação e é complementada quando toda a malha hidráulica está completa, sem que haja ar dentro. Normalmente é observada quando o manômetro e a amperagem da motobomba se estabilizam;

Desenho 3 - Limites de variação de pressão e vazão em sistemas de gotejamentos



b) fase 2 - aplicação do produto: pode ser com vários tipos de injetores, ou sejam, injetores tipo Venturi, moto-bombas centrífugas específicas para esta aplicação, injetores proporcionais, bombas de pistão ou mesas de fertirrigação;

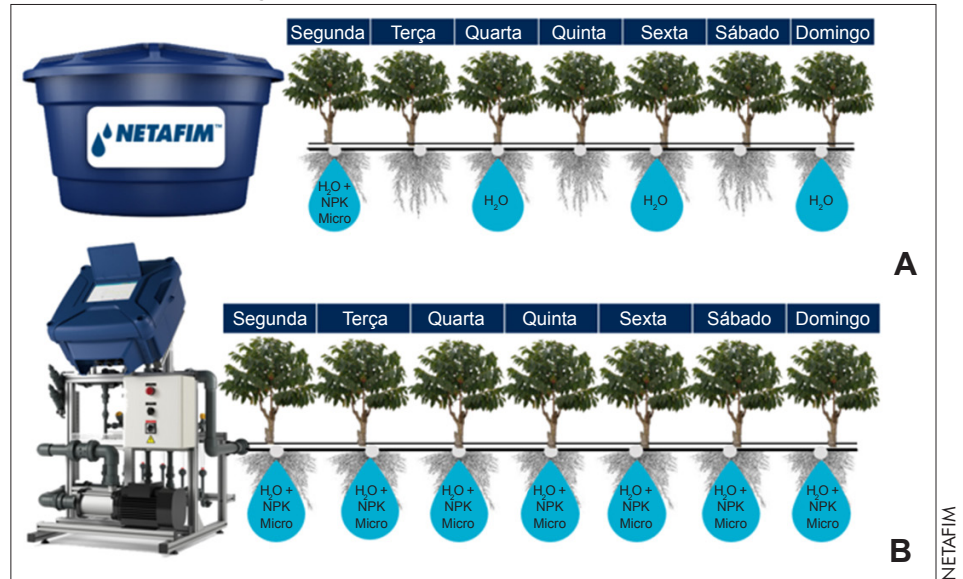
c) fase 3 - tempo de avanço: continuar irrigando somente com água até que toda a solução de fertilizantes saia pelos emissores. Este processo, popularmente chamado tempo, para limpar o sistema de irrigação, é o período que demanda entre a parada de injeção do produto e a saída final deste produto pelo emissor mais distante do ponto de injeção. Cada setor ou operação do sistema de irrigação tem o seu “tempo de avanço” específico, e que pode ser determinado experimentalmente colocando um corante forte na água de irrigação e medindo o tempo entre o início de injeção deste produto e a sua chegada no emissor mais distante. De forma correlata, pode-se determinar o “tempo de avanço” com o uso de um medidor de pH, utilizando um ácido para abaixar o pH da água de irrigação e medindo o tempo que demanda entre o início de aplicação desta solução ácida até o momento que abaixa a leitura do medidor de pH na água coletada no emissor mais distante do ponto de injeção.

A nutriirrigação é uma variação da fertirrigação, sendo que a diferença entre as duas é que na fertirrigação se estabelece uma aplicação quantitativa de fertilizantes de acordo com uma agenda semanal ou quinzenal de aplicação (Fig.11A). Já na nutriirrigação, aplicam-se os fertilizantes de forma proporcional, em que os nutrientes são sempre disponibilizados em todas as irrigações e de acordo com as fases fenológicas da cultura (Fig. 11B).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes métodos e sistemas de irrigação pressurizados vêm sofrendo im-

Figura 11 - Fertirrigação



Nota: A - Fertirrigação: agenda semanal e quantitativa de fertilizantes; B - Nutriirrigação: aplicação proporcional de fertilizantes de acordo com as fases fenológicas da cultura.

portantes modificações ao longo do tempo. Essas modificações realizadas pela indústria da irrigação, as quais levam em consideração a hidráulica dos sistemas, aliada às necessidades hídricas das culturas, permeando pelo entendimento do ambiente de cultivo (planta, solo, vento, temperatura e UR do ar), buscam incessantemente ofertar equipamentos de qualidade, com potencial de uniformidade de aplicação da água, menor requerimento de pressurização e de energia. Seja a irrigação por aspersão convencional, o pivô central, a microaspersão seja o gotejamento, hoje em dia é possível encontrar equipamentos de irrigação tecnologicamente avançados e que permitem o alcance dos objetivos da agricultura irrigada: obtenção de altas produtividades aliadas a menor consumo energético, com possibilidade de automação nos mais variados níveis.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana. **Agrianual**: Anuário da Agricultura Brasileira, São Paulo, p.256-257, 2002.

ALLEN, R.G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p.

(FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).

ANA; EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. 2.ed.rev. e ampl. Brasília, DF: ANA, 2019. 46p. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/porta/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019>. Acesso em: 14 jul. 2020.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Imprensa Universitária UFV, 1995. 657p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124p. (University of California Agricultural Experiment Station. Bulletin, n. 670).

FARIA, L.F.; COELHO, R.D.; RESENDE, R.S. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.589-602, set./dez. 2004.

FRIZZONE, J.A. *et al.* **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31p. (UNESP. Boletim Técnico, v. 2).

GOMES, E.P.; SOUSA, A. de P. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em função dos valores de lâminas de água aplicados por gotejamento superficial e subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p.35-41, jan./abr. 2002.

GOYAL, M.R. Principles of micro irrigation. In: GOYAL, M.R. (ed.). **Sustainable micro**

irrigation: principles and practices. Toronto: Apple Academic, 2014. part.II: Principles of micro irrigation, cap.11, p.197-236. (Research Advances in Sustainable Micro Irrigation, 1). Disponível em: http://www.agrifs.ir/sites/default/files/Sustainable%20Micro%20Irrigation%2C%20Principles%20and%20Practices%20%7BMegh%20R.%20Goyal%7D%20%5B1771880163%5D%20%282014%29_2.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

HIRSCH, S. Nation states and multinationals: common interests, conflicting interests and public policies. **Transnational Corporations Review**, v.8, n.1, p.17-27, 2016.

HOWELL, T.A. Water losses associated with center pivot nozzle packages. In: CENTRAL PLAINS IRRIGATION CONFERENCE, 2006, Colby, Kansas. **Proceedings** [...]. Colby: Kansas State University, 2006. p.11-24. Disponível em: <https://www.ksre.k-state.edu/irrigate/oow/cpic06.html>. Acesso em: 14 jul. 2020.

MARQUES, P.A.A.; FRIZZONE, J.A.; TEIXEIRA, M.B. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.2, n.1, p.17-31, jan./jun. 2006.

MITCHELL, J.P. et al. Precision overhead irrigation is suitable for several Central Valley crops. **California Agriculture**, v.70, n.2, p.62-70, Apr./Jun. 2016.

PETERS, R.T.; NEIBLING, H.; STROH, R. Low energy precision application (LEPA) and low elevation spray application (LESA) trials in the Pacific Northwest. In: CALIFORNIA ALFALFA & GRAIN SYMPOSIUM, 46., 2016, Reno, Nevada. **Proceedings** [...]. Davis: University of California, 2016. p.51-72. Disponível em: <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/?yr=2016>. Acesso em: 14 jul. 2020.

SCHNEIDER, A.D. Efficiency and uniformity of the LEPA and spray sprinkler methods: a review. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.4, p.937-944, 2000.

TESTEZLAF, R. **Irrigação:** métodos, sistemas e aplicações. Campinas: UNICAMP-Faculdade de Engenharia Agrícola, 2017. 215p.

VIOLLET, P.L. **Water engineering in ancient civilizations:** 5,000 years of history. London: CRC Press, 2017. 334p.

WALLER, P.; YITAYEW, M. Center pivot irrigation systems. In: WALLER, P.; YITAYEW, M. (ed.). **Irrigation and drainage engineering**. Bern: Springer, 2016. cap.12, p.209-228.

Plantas Alimentícias Não Convencionais



Acesse

www.epamig.br

em publicações disponíveis

e baixe gratuitamente estas cartilhas.



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



MINAS
GERAIS

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

Uso de sensoriamento remoto: imagens de satélite e Vants no gerenciamento da agricultura irrigada

Roberto Filgueiras¹, Luan Peroni Venancio², Silvânio Rodrigues dos Santos³, Willer Fagundes de Oliveira⁴, Flávio Gonçalves Oliveira⁵, João Batista Ribeiro da Silva Reis⁶

Resumo - A rentabilidade e a produtividade na agricultura aumentam quando o manejo das lavouras leva em consideração a variabilidade existente no talhão. Na agricultura irrigada, considerar essa variabilidade, sobretudo da necessidade hídrica, permitirá um uso mais eficiente de água, energia elétrica e fertilizantes. Para acessar essa variabilidade, o uso da ciência do sensoriamento remoto, imagens de veículos aéreos não tripulados e satélites, surge como uma alternativa, já que métodos tradicionais de manejo normalmente fornecem apenas informações pontuais. Especificamente, o sensoriamento remoto possui um enorme potencial para auxiliar no desenvolvimento da agricultura irrigada, contendo diferentes sensores e características que contribuem nesse sentido. Por fim, é importante destacar que as informações espacializadas não têm a pretensão de substituir as práticas convencionais de manejo da agricultura, mas sim de potencializá-las.

Palavras-chave: Irrigação. Irrigação de precisão. Drones. Monitoramento. Demanda hídrica.

Remote sensing use: satellite and UAVs images in the irrigated agriculture management

Abstract - Profitability and productivity in agriculture increase when crop management considers the variability in the field. In irrigated agriculture, considering this variability, especially water needs, will allow a more efficient use of water, electricity, and fertilizers. To access this variability, the use of the science of remote sensing, images of Unmanned Aerial Vehicle and satellites, appears as an alternative, since traditional methods of management usually provide only punctual information. Specifically, remote sensing has a great potential to assist in the development of irrigated agriculture, having different sensors and characteristics that contribute for this purpose. Finally, it is important to highlight that spatialized information is not intended to replace the practices of conventional irrigation management, but rather to enhance them.

Keywords: Irrigation. Precision irrigation. Drones. Monitoring. Water demand.

INTRODUÇÃO

A aplicação de água de forma eficiente nas lavouras é essencial, uma vez que permite que as plantas cresçam e produzam adequadamente, além de evitar o desperdício de água, um bem finito que necessita de um uso cada vez mais consciente. Ge-

ralmente, quando se pensa no uso correto da água na agricultura, está-se referindo na aplicação desse recurso na quantidade adequada e no momento certo, considerando uma demanda hídrica uniforme em todo o talhão (aplicação de uma lâmina de irrigação uniforme na área). Assim, no

momento digital em que a agricultura se encontra, a variabilidade espacial no manejo da agricultura irrigada tem ganhado relevância nos últimos anos (FILGUEIRAS; FERREIRA; CUNHA, 2020). Nesse sentido, além de aplicar água no momento correto e na quantidade certa, é preciso

¹ Eng. Agrícola e Ambiental, D.Sc., Pós-doutorando UFV, Viçosa, MG, roberto.f.filgueiras@ufv.br.

² Eng. Agrônomo, D.Sc., Pesq. CEAGRE, Pós-doutorando UFV, Viçosa, MG, luan.venancio@ufv.br.

³ Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. UNIMONTES, Janaúba, MG, silvanio.santos@unimontes.br.

⁴ Eng. Agrícola, Doutorando UNIMONTES, Prof. UNIMONTES, Janaúba, MG, willer.oliveira@unimontes.br.

⁵ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

⁶ Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br.

Submissão: 7/10/2020 - Aprovação: 19/10/2020

considerar a localidade específica que está demandando esse recurso, alocando-o de forma mais eficiente possível na lavoura. A espacialização das condições da cultura no campo, sobretudo da necessidade hídrica, tem ganhado relevância com o desenvolvimento de novas tecnologias derivadas da Agricultura 4.0 para o monitoramento da superfície.

A vantagem da consideração da variabilidade espacial no monitoramento agrícola está principalmente aliada à utilização de técnicas e produtos provenientes do sensoriamento remoto (SR). Os produtos derivados dessa ciência fazem com que o agricultor/consultor agrícola consiga acompanhar as lavouras de forma mais rápida e eficiente (RIBEIRO *et al.*, 2017), permitindo a identificação de possíveis problemas antes mesmo desses causarem danos à lavoura.

Para determinação da evapotranspiração, várias aplicações do Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (Safer) e do Surface Resistance Algorithm (Sural) também são utilizadas em conjunto com o modelo da eficiência do uso da radiação (EUR), para a obtenção dos componentes dos balanços de energia e de água, em diferentes escalas espaciais nos agroecossistemas que envolvem culturas irrigadas e vegetação natural, permitindo prever indicadores de balanço hídrico climático e de produtividade da água.

Portanto, a tecnologia de monitoramento por meio dessas técnicas tem-se tornado frequentes, principalmente com lançamentos de plataformas orbitais e com a recente popularização dos veículos aéreos não tripulados (Vants) na agricultura.

O aumento do número e a demanda por dados com características espaciais têm crescido significativamente na agricultura irrigada (FILGUEIRAS; FERREIRA; CUNHA, 2020). O fator que impulsiona o crescimento do uso desse tipo de dado está relacionado diretamente com a necessidade de se produzir alimento de forma mais rentável e economizando ao máximo os insumos utilizados na produção, em outras

palavras, produzir mais com menos. A agricultura irrigada é uma grande utilizadora de recursos hídricos, que, por sua vez, tem-se tornado menos disponíveis em termos quantitativos e qualitativos. Aliado a isso, existe a demanda crescente por outros setores, como a indústria e o abastecimento urbano, o que aumenta as chances de conflitos pelo seu uso, principalmente em regiões com intenso uso da irrigação.

Logo, é importante que se desenvolvam técnicas que elevem a eficiência do uso da água nesse setor, a qual pode ser obtida com o incremento da produtividade sem aumentar a lâmina de água aplicada à cultura, ou reduzindo-a sem, contudo, afetar de forma significativa a produtividade (REIS *et al.*, 2018). É nessa linha de pensamento que diversos pesquisadores têm criado e aprimorado metodologias para estimativas espacializadas da demanda hídrica das culturas, utilizando dados provenientes do SR (BASTIAANSEN *et al.*, 1998; ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; TEIXEIRA, 2010; SENAY *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2020).

No entanto, quando se menciona a expressão “monitoramento da agricultura irrigada”, logo se pensa na utilização de imagens para essa finalidade, porém, surge a dúvida de qual nível de aquisição de dados seria mais apropriado para se utilizar nos monitoramentos, aéreo com os Vants ou orbital com os satélites? Esse é um questionamento frequente, por isso, serão apresentados na sequência alguns pontos que podem ser adotados para sanar essa dúvida e que, assim, auxiliará no entendimento do melhor momento para a utilização de cada uma ou de ambas tecnologias.

IMAGENS DE VANTS OU DE SATÉLITES?

Primeiramente, não existe um monitoramento (por Vant ou satélite) que seja melhor do que o outro, ambas as formas possuem seus prós e contras. O ideal é utilizar ambas as tecnologias (Vants e satélites) de maneira complementar. Entretanto, partindo do pressuposto que se deve

utilizar a maneira mais viável para cada situação, acredita-se que terá momentos que será mais oportuna a utilização dos Vants, ao passo que, por outro lado, existirão momentos que as imagens provenientes de satélites serão mais eficazes.

Para a tomada de decisão quanto a escolha do nível de aquisição que melhor atenderá às necessidades, torna-se imprescindível atentar-se a certas características do mapeamento que se deseja realizar, a destacar:

- a) O que será monitorado?
- b) Qual é o tamanho da área?
- c) Qual a época de monitoramento?
- d) Existe a necessidade de detalhamento espacial?
- e) Qual é o intervalo necessário de uma imagem à outra?
- f) Precisa-se de informações detalhadas do espectro eletromagnético para se estimar algum parâmetro biofísico em específico?

Posterior à reflexão dessas perguntas, fica mais fácil de proceder com a escolha da melhor opção para cada caso. Entretanto, é interessante que o usuário tenha conhecimento das vantagens, desvantagens e características relacionadas com essas imagens.

Vantagens e desvantagens das imagens de Vants e satélites

Se for realizada uma comparação entre as imagens provenientes de Vants e satélites, podem-se destacar algumas vantagens (+) e desvantagens (-) de se optar por imagens de Vants ou de satélites. É claro que existem disponíveis diferentes sensores orbitais e diferentes Vants, o que vão causar uma certa variação nas características das imagens, entretanto, de modo geral destacam-se os seguintes benefícios e limitações para cada um desses dois tipos de monitoramento.

Vantagens e desvantagens dos satélites:

- a) imagear grandes áreas com uma única imagem (+);

- b) repetibilidade fixa de aquisição de dados (+);
- c) elevado número de sensores gratuitos disponíveis para download (+);
- d) grande banco de dados históricos (+);
- e) maior disponibilidade de imagens em diferentes regiões do espectro eletromagnético (+);
- f) maior capacidade de se estimar parâmetros biofísicos voltados para monitoramento de áreas irrigadas (+);
- g) problema de aquisição de dados em regiões com grande nebulosidade (-);
- h) menor detalhamento espacial das imagens (-);
- i) menor flexibilidade de obtenção de imagens (-).

Vantagens e desvantagens dos Vants:

- a) imagens com maior resolução espacial (+);
- b) maior flexibilidade para aquisição das imagens (+);
- c) capacidade de realizar o planejamento do mapeamento (+);
- d) possibilidade de incorporar diferentes sensores em um mesmo Vant (+);
- e) mapeamento sem problemas com nuvens (+);
- f) geralmente menor resolução espectral (-);
- g) preço de sensores multiespectrais e termais relativamente caros e associados à variação cambial (-);
- h) dificuldade de calibração radiométrica para estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação (-);
- i) monitoramento de áreas menores (-);
- j) autonomia de bateria relativamente baixa, dependendo do sensor (-).

Atualmente podem-se encontrar muitas imagens de satélites que estão disponíveis gratuitamente e possuem um grande banco de dados históricos de imagens, sendo muito importante para estudos que envolvam a análise temporal de dados (ex.: crescimento de áreas, desmatamentos, zoneamento

agroclimático etc.) e monitoramentos atuais. Dentre essas imagens disponíveis, destacam-se para uso na agricultura as dos satélites provenientes da constelação Landsat (Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8) e Sentinel 2 (Sentinel 2A e 2B).

Por outro lado, temos modelos de Vants conhecidos como Vants multirrotores e de asa fixa. Geralmente os equipamentos multirrotores tendem a ser mais baratos e ter uma menor autonomia de voo (em torno de 30 minutos), quando comparados com os Vants de asa fixa (em torno de 2 horas). Entretanto, os Vants de asa fixa possuem maior custo de aquisição. É importante ressaltar que, dependendo do monitoramento que se quer fazer, ainda será necessária a aquisição de câmeras multiespectrais e/ou termais.

Características das imagens

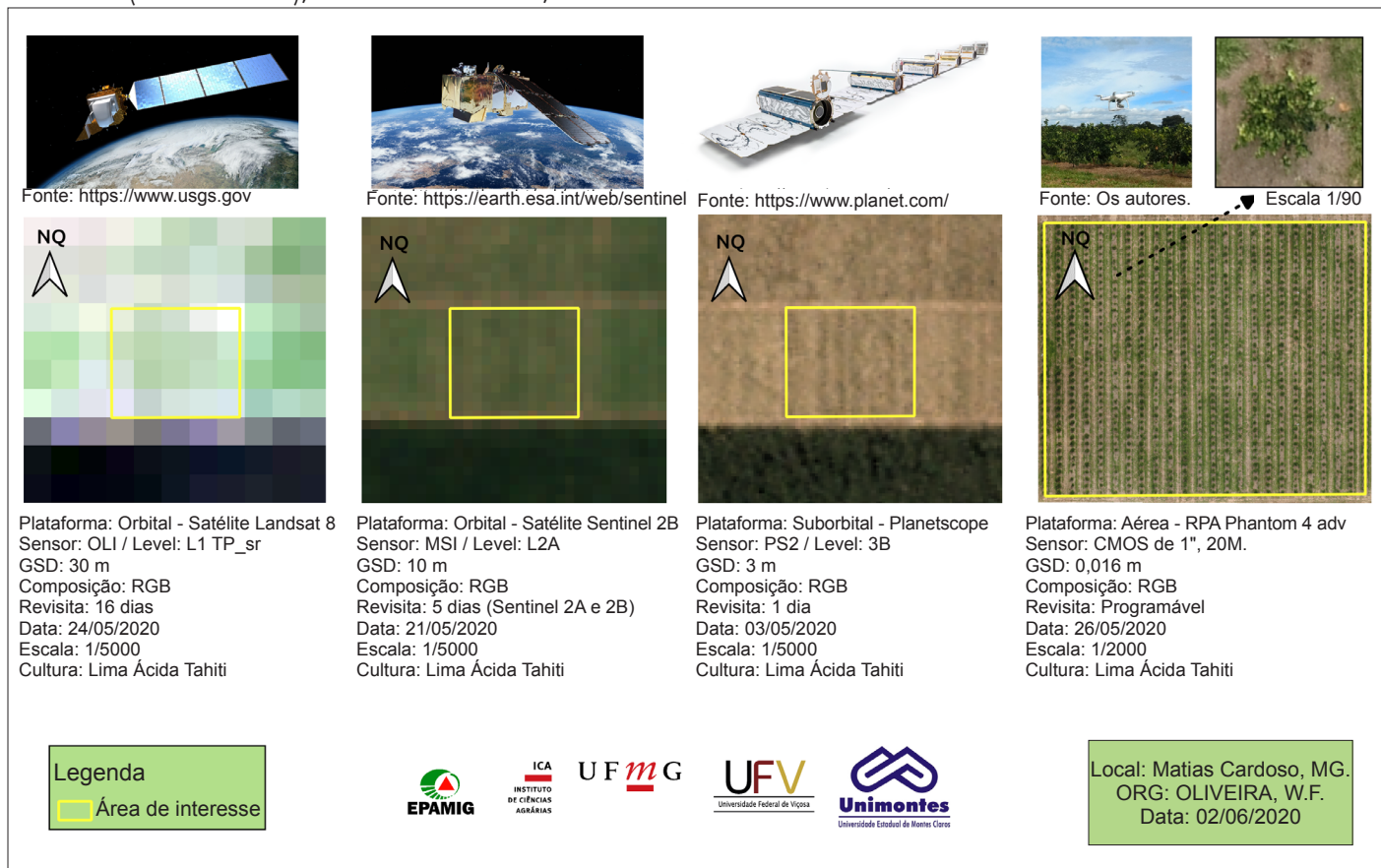
Os sensores que captam as imagens podem ser caracterizados a partir de resoluções, sendo: espectral, espacial, radiométrica e temporal. A resolução espectral está relacionada com a amplitude de comprimento de onda (faixa espectral) e/ou o número de bandas captadas pelo sensor, sendo maior a resolução espectral à medida que a faixa espectral da banda se estreita, ou quando possui maior número de bandas em uma determinada faixa do espectro. A resolução espacial refere-se ao tamanho da menor parte de uma imagem (pixel), ou a menor área imageada por um sensor (MOREIRA, 2011). A resolução radiométrica está relacionada com a capacidade que o sistema sensor possui em estratificar em diferentes níveis de cinza a energia eletromagnética refletida e/ou emitida da superfície e captada pelo sensor (ROSA, 2009). Já a resolução temporal está relacionada com a frequência que o sistema sensor revisita o mesmo local. É importante destacar que a resolução temporal não se aplica para os Vants, uma vez que essa característica não é fixa nesse caso, como nas plataformas orbitais, é flexível e está atrelada com a necessidade ou disponibilidade do usuário.

A maioria dos sensores embarcados nas plataformas é do tipo passivo, isto é, registram a radiação eletromagnética (oriunda do sol) refletida e/ou emitida pelos objetos na superfície terrestre, o que implica em interferências das condições atmosféricas presentes no momento da obtenção da imagem, principalmente em relação à energia refletida. Quando se trata dos Vants, esses voam mais próximos dos alvos, onde a máxima altura permitida é de 120 m contada a partir do ponto de decolagem (ANAC, 2017), podendo ser desconsiderada essa interferência.

A resolução temporal é uma variável decisiva na escolha de uma plataforma em vários projetos de SR agrícola. Quanto maior a repetitividade, maior a chance de obter imagens sem restrições (causadas por cobertura ou sombra de nuvens) e maior o número de imagens para uma determinada safra de uma cultura. Para culturas com ciclo de três a quatro meses (como alguns grãos e cereais), dependendo da época do ano (chuvosa) e da resolução temporal do satélite que será utilizado, pode-se ter dificuldades na obtenção de imagens livres de nuvens para essas culturas, principalmente quando se leva em consideração a probabilidade de ocorrência de nuvens ou sombra de nuvens na área de interesse. No entanto, esforços têm sido feitos para realizar uma calibração entre sensores orbitais (uso de múltiplos satélites) com intuito de elevar a frequência de imagens e aumentar a possibilidade de imagens livres de nuvens (FILGUEIRAS *et al.*, 2020a). Por outro lado, os Vants possibilitam a programação de voos para captura das imagens, podendo agendar os monitoramentos em épocas importantes no que se refere ao manejo da área, uma vez que a frequência do monitoramento é decidida pelo usuário e não possui problemas com questões de nebulosidade (Fig. 1).

Os Vants possuem capacidade de imagear a superfície com um maior detalhamento espacial, quando comparado com plataformas orbitais (Fig. 1). Pela Figura 1

Figura 1 - Comparativo entre plataformas e sensores na aquisição de imagens em área de produção de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia*), em Matias Cardoso, MG



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: A área imageada (em amarelo) é a mesma nas quatro plataformas, onde da esquerda para direita tem-se um aumento da resolução espacial.

é possível verificar que a imagem captada pelo Vant, em voo realizado em plantação de lima ácida 'Tahiti' (idade = 1,3 ano), é a mais detalhada espacialmente (*ground sample distance* - GSD = 0,016 m) dentre as plataformas comparadas.

Esse aspecto é importante, sobretudo quando se busca obter um maior nível de detalhamento espacial da área irrigada, como por exemplo, verificar problemas que podem estar associados à distribuição de água em talhões, ou até mesmo a obstrução de algum emissor (KAMBLE; KILIC; HUBBARD, 2013; MAES; STEPPE, 2019; ALVINO *et al.*, 2020).

Aspecto importante para o monitoramento da agricultura irrigada é a possibilidade de estimar parâmetros relacionados com a cultura que está no campo, como

evapotranspiração atual (ETa), biomassa, temperatura da superfície (Ts) dentre outros (FILGUEIRAS *et al.*, 2019c). Para que isso seja possível é muito importante que o sensor seja capaz de captar a radiação eletromagnética em diferentes faixas do espectro eletromagnético e que se tenha uma calibração radiométrica consistente para um monitoramento com qualidade. Nesse ponto, os estudos e tecnologias embarcadas estão mais desenvolvidos nas plataformas orbitais.

Dando sequência na discussão sobre o uso de imagens de Vants e satélites na agricultura irrigada, também serão abordados o potencial e as possibilidades existentes para essas tecnologias. O enfoque dessa discussão será principalmente voltado para a obtenção de informações sobre a

demanda hídrica da lavoura e as possibilidades de aprimorar o manejo da água na agricultura irrigada.

OBTENÇÃO DE PRODUTOS PROVENIENTES DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A AGRICULTURA IRRIGADA

Os resultados de técnicas de SR têm ganhado aplicação prática, visando o fornecimento de informações que subsidiem a tomada de decisão no manejo da irrigação, especialmente em largas escalas (grandes áreas irrigadas por pivô central). Dentre as diversas aplicações, tanto estudos envolvendo o uso de imagens de sensores embarcados em plataformas orbitais (KAMBLE; KILIC; HUBBARD, 2013; ALVINO *et al.*, 2020; FILGUEIRAS *et*

al., 2020b; MUSSI *et al.*, 2020) quanto em Vants (MAES; STEPPE, 2019; WU *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020) têm demonstrado grande potencial em estimar os coeficientes e a demanda hídrica das culturas, bem como as condições hídricas dos solos.

Os sensores que estão a bordo das plataformas orbitais e suborbitais, na maioria das vezes, captam a radiação eletromagnética refletida ou emitida da superfície. Por meio da intensidade da radiação refletida (reflectância – ondas curtas) ou emitida (comprimento de onda termal – ondas longas), que é captada referente a um determinado comprimento de onda para um alvo específico, torna-se possível inferir sobre este alvo ou superfície (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Além da resposta de uma única amplitude de comprimento de onda (banda do sensor), geralmente procede-se com a relação entre essas bandas, podendo esse procedimento ser denominado álgebra de mapas. Com base na resposta das bandas e na relação algébrica entre as bandas de um mesmo sensor, iniciam-se e criam-se modelos para obter dados relacionados com as variáveis biofísicas das culturas, dentre essas a ETa.

A ETa é uma variável-chave para manejar a irrigação com base em dados climáticos, sendo de grande importância a busca por métodos mais inovadores que considerem a variabilidade espacial na sua estimativa, favorecendo um uso da água mais racional e sustentável (ZHANG; KIMBALL; RUNNING, 2016). Nesse sentido, a obtenção da ETa por meio de imagens tem sido objeto de inúmeras pesquisas (FARG *et al.*, 2012; ZHANG; KIMBALL; RUNNING, 2016; COAGUILA *et al.*, 2017; FILGUEIRAS *et al.*, 2019b; VENANCIO *et al.*, 2021;). VENANCIO *et al.* (2019) que trazem uma revisão sobre os principais métodos de estimativa de evapotranspiração e destacam duas linhas de estimativas com base em SR. A primeira linha destacada são os métodos que se baseiam nos mo-

delos de balanço de energia, e a segunda são os que se baseiam nos índices de vegetação (IV).

Os IVs são um dos principais produtos que podem ser obtidos com dados de SR, sendo possível a partir destes estimar os coeficientes da cultura (Kc), bem como o coeficiente basal da cultura (Kcb) (CAMPOS *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2020). Estes, por sua vez, associados aos dados de evapotranspiração de referência (ETo), possibilitam estimar as demandas hídricas de culturas como: milho, trigo, soja, algodão, uva, alface e batata (KAMBLE; KILIC; HUBBARD, 2013; ALVINO *et al.*, 2020; MUSSI *et al.*, 2020; PÔÇAS *et al.*, 2020). Com isso, as referidas demandas podem ser correlacionadas com outros métodos adotados na propriedade rural, de modo que se tem ajustes refinados quanto ao gerenciamento da irrigação.

Dentre os IVs, o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (ROUSE *et al.*, 1974) e o Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) (HUETE, 1988) são exemplos bastante aplicados nas estimativas de Kc (FARG *et al.*, 2012; OLIVEIRA; FERREIRA; DANTAS, 2016; LIMA *et al.*, 2019), e que podem ser usados na previsão da ETa das culturas se associados à ETo. O NDVI e o SAVI são calculados por meio das Equações 1 e 2.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

$$SAVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V + L)} \cdot (1 + L) \quad (2)$$

em que:

ρ_{IVP} e ρ_V = refletância das bandas espectrais do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e vermelho (ρ_V);

L = fator de correção de brilho do solo (varia entre 0 e 1, de acordo com a densidade da vegetação).

É importante destacar que os IVs por serem normalizados pela forma que são

calculados possuem intervalos bem definidos de variação, o que permite, a partir de seus valores, analisar mais facilmente, por exemplo, a condição de sanidade de uma vegetação. No caso específico do NDVI, este IV varia de -1 a +1, sendo que valores menores que zero são observados em corpos hídricos límpidos. Valores positivos próximos de zero são vistos em solos expostos, rochas e outros objetos inanimados. Valores próximos de +1 (NDVI \geq 0,66) estão mais associados às plantas bem nutridas e mais saudáveis, no seu máximo desenvolvimento vegetativo. Entretanto, esses valores próximos de +1 podem ser reduzidos com a presença de estresse biótico e abiótico, tal como déficit hídrico, deficiência nutricional ou ataque de pragas e doenças.

Dando continuidade à obtenção de produtos para auxílio no manejo da agricultura irrigada, pode ser estimada a fração evapotranspirativa (ETf = ETa/ETo) por meio de três produtos estimados por imagens de satélite. Essa parametrização (Equação 3) faz parte Safer desenvolvido por Teixeira (2010).

$$ETf = \exp \left[\alpha + \beta \left(\frac{T_s}{\alpha_0 \cdot NDVI} \right) \right] \quad (3)$$

em que:

ETf = fração evapotranspirativa (adimensional);

α e β = coeficientes de parametrização;

α_0 = albedo de superfície;

Ts = temperatura da superfície (°C);

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index (adimensional).

Para aplicar essa Equação os coeficientes α e β podem variar de região para região, tendo o ajuste desses coeficientes sido objeto de estudo de alguns pesquisadores (VENANCIO *et al.*, 2021).

Para fins de auxílio no gerenciamento da irrigação também estão sendo desenvolvidos trabalhos que visam estimar a umidade do solo (JALILVAND *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2019; FILGUEIRAS *et al.*, 2020b), visto que um dos objetivos do manejo da irrigação é manter uma umidade adequada

na zona radicular para que a planta possa se desenvolver corretamente (sem deficiência hídrica). Neste sentido, o protótipo de Vant com radar desenvolvido por Wu *et al.* (2019) possibilitou a elaboração de mapas de umidade a até 20 cm de profundidade, com alta resolução para condições de campo. Já Filgueiras *et al.* (2020b) propuseram estimar a umidade a partir de balanço de água no solo, utilizando como base de entrada o Kc e a ETo aliados a IV estimados por imagem de satélite, obtendo bons resultados. Jalilvand *et al.* (2019) utilizaram imagem de radiômetro embarcado em satélite e observaram elevado erro de estimativa em pequenas áreas irrigadas, creditando isso à baixa resolução espacial.

Além das possibilidades de estimar parâmetros relacionados com o manejo da agricultura irrigada, esforços têm sido desenvolvidos com intuito de disponibilizar, de modo pronto para uso, dados para o monitoramento e gerenciamento de culturas irrigadas, utilizando imagens provenientes da constelação Landsat.

Dentre esses esforços, citam-se o desenvolvimento da plataforma Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux) (ALLEN *et al.*, 2015; FOOLAD *et al.*, 2018), que disponibiliza produtos derivados das imagens Landsat, processadas pelo algoritmo *Mapping EvapoTranspiration at high Resolution using Internal Calibration* (METRIC) (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007) e o Simplified Surface Energy Balance-BR (ANA, 2020) que processa os dados Landsat e disponibiliza os produtos processados pelo algoritmo SSEBop (SENAY *et al.*, 2013). Ambas as plataformas foram desenvolvidas para processar as imagens com o Google Earth Engine (GEE) e disponibilizam os produtos de forma gratuita para os usuários.

Esforços como estes são muito relevantes para a conexão do SR com as demandas de campo, uma vez que não

são necessários conhecimentos de processamento digital de imagens para a sua utilização (FILGUEIRAS *et al.*, 2019b; VENANCIO *et al.*, 2020). O SSEBop-BR foi desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em parceria com United States Geological Survey (USGS) e a empresa Agrosatélite. Para ter acesso aos dados desse produto não é necessário cadastro, bastando apenas acessar o endereço eletrônico¹. Os produtos EEFlux também podem ser acessados pelo endereço eletrônico². Exemplos dos produtos disponibilizados por essas plataformas podem ser observados nas Figuras 2 e 3.

Na Figura 3 é possível observar todo um histórico da ETa e do NDVI em que se percebe um comportamento temporal similar das variáveis, o que justifica a existência de diversos estudos com o NDVI para estimativas de Kc e de demanda hídrica das culturas. Além disso, esse histórico permite ao agricultor conhecer um pouco mais sua lavoura, ou seja, qual a época de maior e menor ETa (demanda hídrica), qual o consumo médio, qual a produtividade da água (quantos m³ de água se gasta para produzir 1 kg de alimento), dentre outros. Lembrando que os dados da Figura 3 podem ser baixados em formato “xls” e ser trabalhado no Excel.

APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO VOLTADAS À AGRICULTURA IRRIGADA

Algumas aplicações do SR que podem auxiliar no cotidiano da agricultura irrigada são os exemplos apresentados com imagens de satélites, no entanto, metodologias similares poderiam ser aplicadas fazendo uso de sensores embarcados em Vant.

Estão apresentados na Figura 4 produtos provenientes da plataforma orbital Landsat-8 para uma porção da área do Perímetro Irrigado do Jaíba, localizado na

região Norte do estado de Minas Gerais. Nesta Figura 4 podem ser observados o NDVI, a Ts e a fração ETf. Observa-se, na parte central e noroeste da área apresentada, a predominância de pivôs centrais, e na parte nordeste, a predominância dos lotes menores do Perímetro Irrigado.

Dando enfoque às informações para área do pivô central destacada pela circunferência na coloração preta, pode-se verificar a evolução da cana soca na safra 2019/2020. Observa-se, pela queda dos valores de NDVI, que a cana-de-açúcar foi colhida no intervalo entre a primeira (18/9/2019) e segunda (4/10/2019) imagens apresentadas na Figura 4. Continuando a análise, observa-se que o NDVI aumenta nas datas seguintes, decrescendo novamente na última imagem (4/9/2020), o que indica, provavelmente, que a colheita da cultura se aproxima.

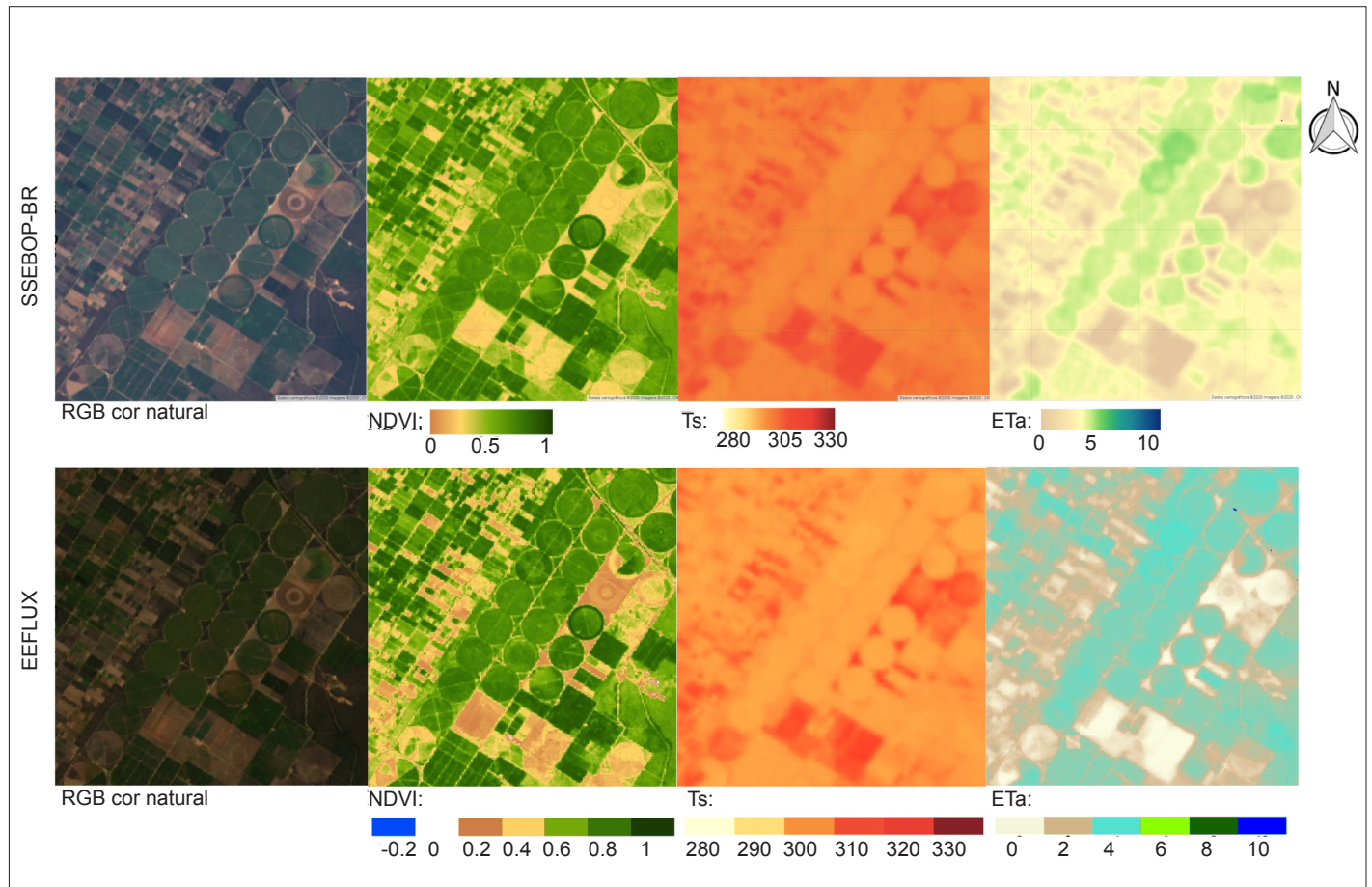
A relação do NDVI com a Ts auxilia no entendimento da demanda hídrica da cultura no campo, que pode ser observada também pela ETf estimada pelo algoritmo Safer, utilizando os parâmetros de calibração ajustados por VENANCIO *et al.* (2021).

Um aspecto importante que se pode observar na Figura 4 é a variabilidade espacial dos produtos de SR em algumas áreas irrigadas, como o caso do pivô central indicado pela seta preta (para a data de 4/9/2020). Nesse pivô central, em específico, pode ser observado que essa variabilidade está visivelmente mais clara nas imagens a partir da data do dia 17/1/2020, sendo crescente até a data do dia 4/9/2020. Entretanto, não é sempre que se consegue visualizar a variabilidade do talhão agrícola analisando uma grande região (imagem inteira), com grande amplitude para os valores das imagens, como na Figura 4. Dessa forma, quando o intuito é observar a variabilidade espacial dos valores dentro de um pivô central, por

¹ <https://ssebop.users.earthengine.app/view/ssebop-br>.

² <https://eeflux-level1.appspot.com/>.

Figura 2 - Exemplo de alguns produtos disponíveis nas plataformas SSEBop-BR e EEFlux para aquisição

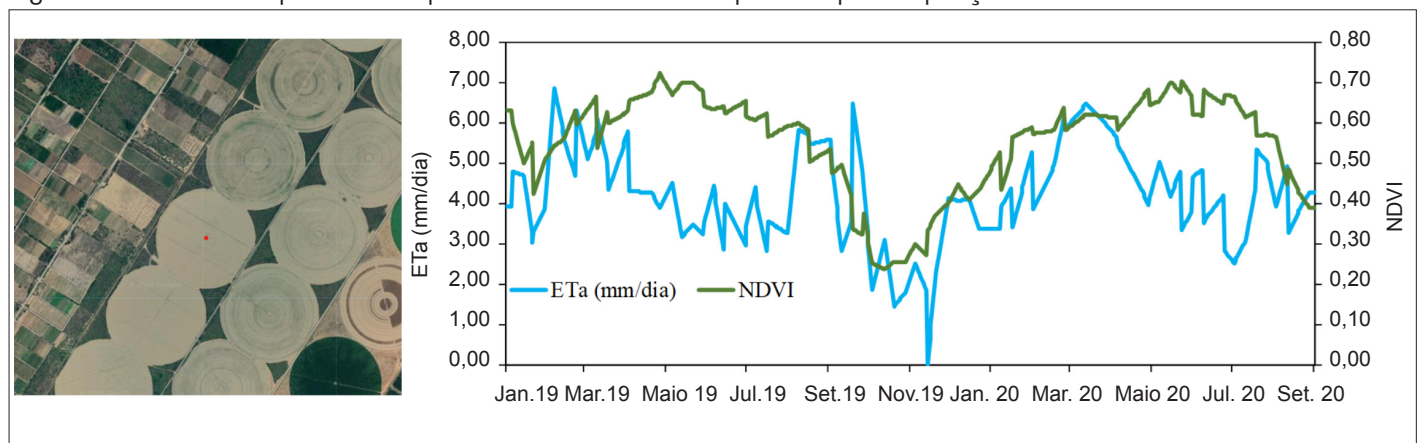


Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Imagens Landsat-8 referentes ao dia 2/7/2020 para o município de Jaíba, MG.

SSEBop-BR - Simplified Surface Energy Balance-BR; EEFlux - Earth Engine Evapotranspiration Flux; RGB (composição) - Red, Green, Blue; NDVI - Normalized Difference Vegetation Index; Ts - Temperatura da superfície; ETa - Evapotranspiração atual.

Figura 3 - Histórico de produtos da plataforma SSEBOP-BR disponíveis para aquisição

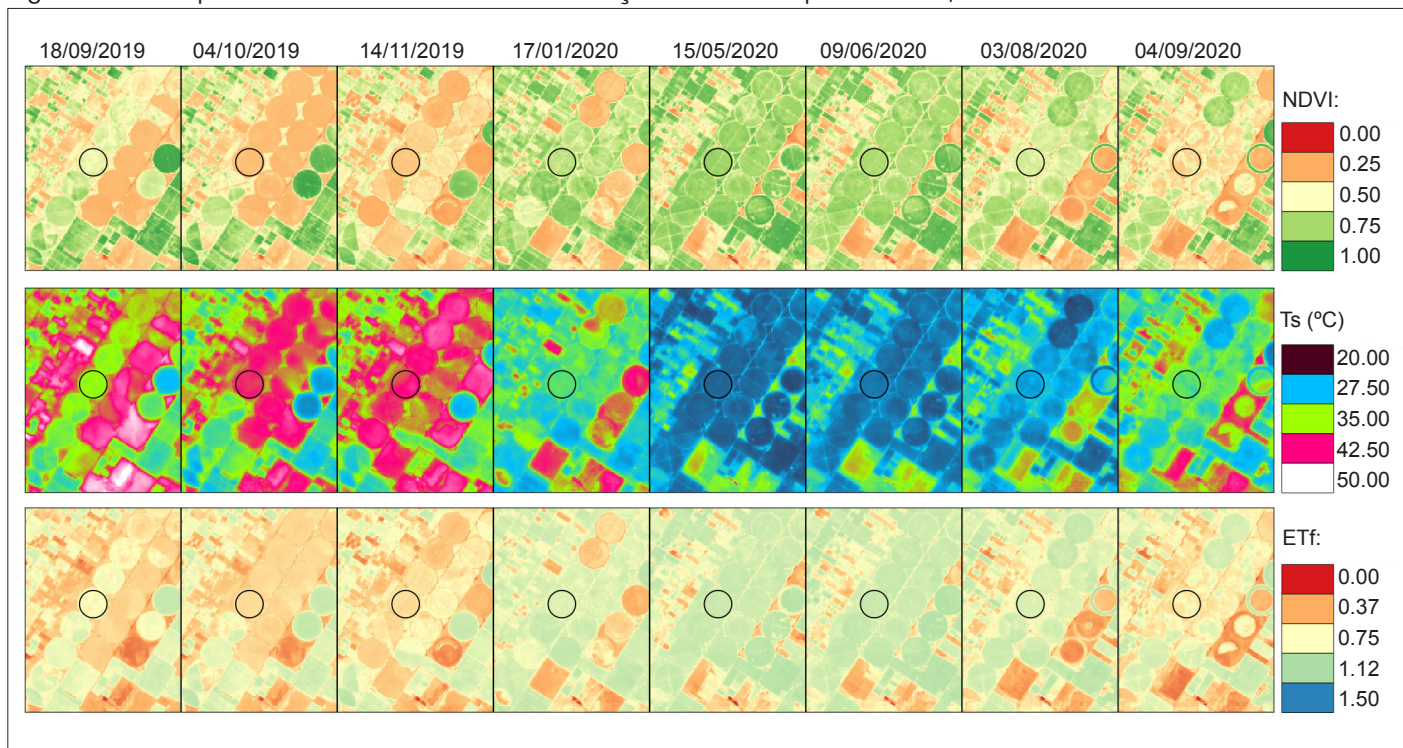


Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Pivô central localizado no município de Jaíba, MG.

SSEBop-BR - Simplified Surface Energy Balance-BR; ETa - Evapotranspiração atual; NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

Figura 4 - Acompanhamento da safra da cana-de-açúcar no município de Jaíba, MG



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Produtos obtidos por sensoriamento remoto em que o NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index), Ts é a temperatura da superfície e ETf a fração evapotranspirativa.

exemplo, o recomendável é que se recorte a imagem para a área de interesse (por exemplo, para o pivô central) e faça essa análise considerando apenas a amplitude de valores existentes na área de interesse. Fazendo isso, a variabilidade torna-se muito mais fácil de ser observada.

Outra análise interessante que pode ser executada para uma área irrigada é a análise da dispersão dos valores entre os produtos de NDVI e Ts, conhecida também como espaço Ts-NDVI (FILGUEIRAS *et al.*, 2019a), conforme pode ser observado no Gráfico 1. A relação dessas duas variáveis permite inferir sobre a situação real da cultura no campo, uma vez que essas possuem sensibilidades diferentes para uma mesma variável. Considerando que as demais práticas do manejo agrícola estão sendo corretamente realizadas (adubação, controle de plantas invasoras, monitoramento de doenças etc.) e que o solo da área seja homogêneo, tanto a Ts quanto o NDVI nos dão uma ideia sobre a condição hídrica

da cultura, em que a Ts seria um retrato mais momentâneo da condição hídrica, ao passo que o NDVI já seria um reflexo do manejo da irrigação na cultura. No entanto, como essa é uma situação hipotética, trabalhar com a relação entre ambas as variáveis auxilia no entendimento do que está ocorrendo no campo.

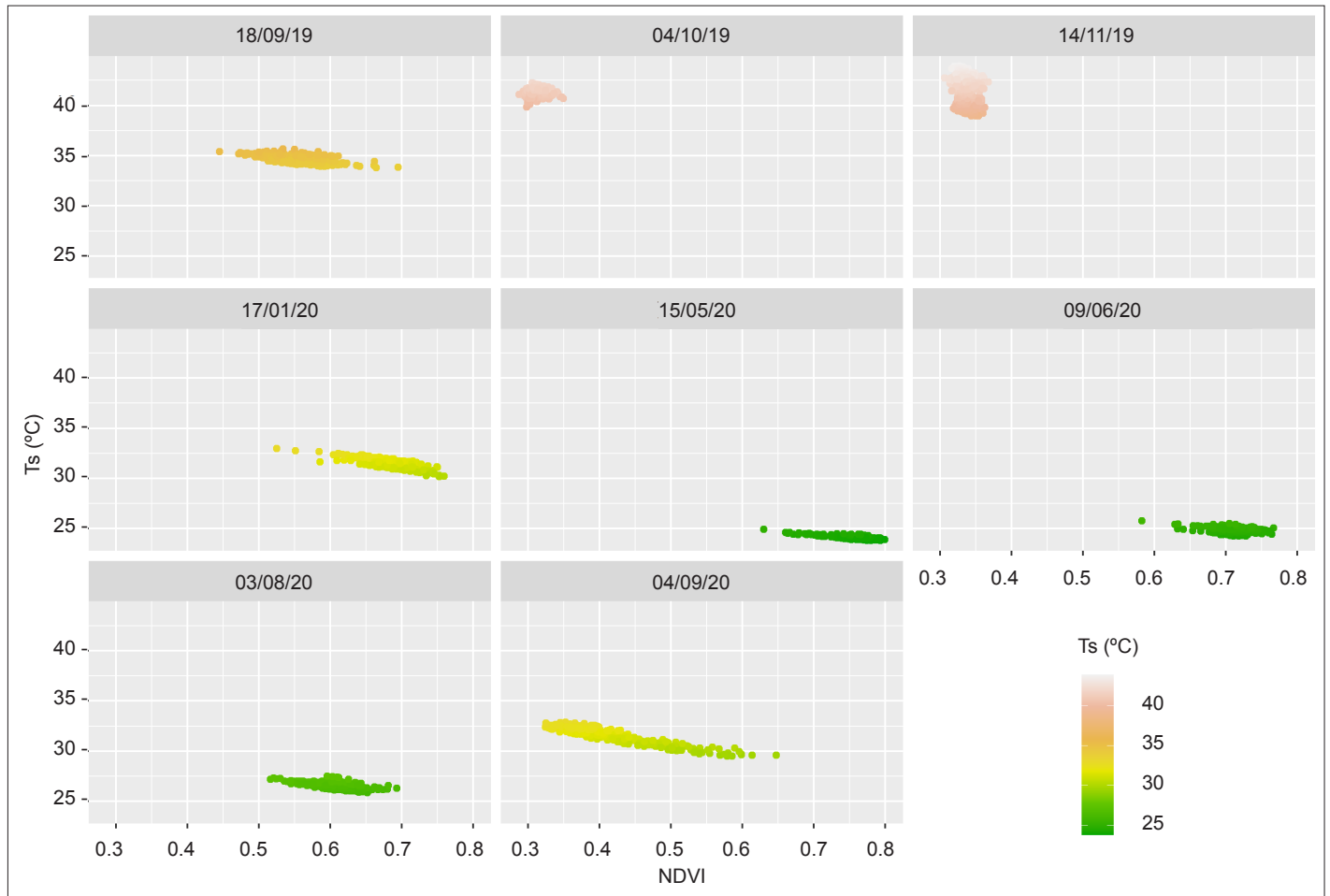
No Gráfico 1 foi realizada a análise do Ts-NDVI para o pivô central destacado na Figura 4 pela circunferência em preto. Percebe-se, de modo geral, que nas datas 4/10/2019 e 14/11/2019 a área desse pivô central apresentava-se predominantemente com solo exposto e restos de palhada. Já nas demais datas, observa-se que a área possui cultura em desenvolvimento, entretanto, com grande variabilidade tanto no que se refere ao vigor vegetativo (valores de NDVI) como em termos de Ts. Essa característica do padrão de dispersão dos pontos pode ser relacionada com o tipo de manejo de irrigação executado no local. De acordo com a ANA (2017), 92% da

irrigação de cana-de-açúcar no Brasil é executada por salvamento, o que justifica a elevada variabilidade do NDVI e da Ts para uma mesma data (Gráfico 1), com exceção das datas 4/10/2019 e 14/11/2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SR é uma ferramenta importante para nortear as decisões do agricultor no campo, sendo cada vez mais utilizada para a estimativa da demanda hídrica das culturas de forma espacializada, o que não é possível com os métodos tradicionais de manejo. Percebe-se que existem inúmeras formas e métodos que podem ser utilizados para auxiliar ou até mesmo aprimorar o gerenciamento e manejo da agricultura irrigada por técnicas de SR. Com os lançamentos de satélites e as possibilidades de usar múltiplos satélites para um mesmo objetivo, aliado ao uso de imagens detalhadas e programadas dos Vants, o SR está cada vez mais presente nos campos agrícolas, tornando o manejo da agricultura irrigada cada vez mais eficiente e

Gráfico 1 - Análise espacial e temporal do Ts-NDVI para cana-de-açúcar plantada sob pivô central no município de Jaíba, MG



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Ts - Temperatura da superfície; NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

detalhado. Por outro lado, é importantíssimo deixar claro que essas novas tecnologias de SR não devem ser vistas como algo que substituirá os métodos de manejo da irrigação atualmente utilizados, mas sim como uma ferramenta complementar para potencializá-los.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, Aug. 2007.

ALLEN, R.G. *et al.* EEFlux: a Landsat-based evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine. *In: IRRIGATION*

SYMPOSIUM: EMERGING TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE IRRIGATION, 2015, Long Beach, California. **Proceedings** [...]. St. Joseph, MI: ASABE, 2015. Tema: A Tribute to the Career of Terry Howell. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=46446&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=>. Acesso em: 17 jul. 2019.

ALVINO, F.C.G. *et al.* Vegetation indices for irrigated corn monitoring. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.40, n.3, p.322-333, May/June 2020.

ANA. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF, ANA, 2017. 85p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/impressa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgricaulturaIrrigada.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2019.

ANA. **Estimativas da evapotranspiração**

real por sensoriamento remoto no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2020. 41p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/23-estimativas-de-evapotranspiracao-real-por-sensoriamento-remoto/view>. Acesso em: 9 set. 2020.

ANAC. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p.52, 3 maio 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2017/resolucao-no-419-02-05-2017>. Acesso em: 9 set. 2020.

BASTIAANSSEN, W.G.M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1 - formulation. **Journal of Hydrology**, v.212/213, p.198-212, Dec. 1998.

- CAMPOS, I. *et al.* Water productivity and crop yield: a simplified remote sensing driven operational approach. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.249, p.501-511, Feb. 2018.
- COAGUILA, D.N. *et al.* Water productivity using SAFER - Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving in watershed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.8, p.524-529, Aug. 2017.
- FARG, E. *et al.* Estimation of evapotranspiration ETc and crop coefficient Kc of wheat, in south Nile Delta of Egypt using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.15, n.1, p. 83-89, June 2012.
- FILGUEIRAS, R.; FERREIRA, L.B.; CUNHA, FF. da. Irrigação digital. In: QUEIROZ, D.M. *et al.* (ed.). **Agricultura Digital**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2020. v.1, p.350.
- FILGUEIRAS, R. *et al.* Condição de áreas irrigadas baseadas no espaço TS-NDVI e TVDI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019a, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2019a. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/condicao-de-areas-irrigadas-baseadas-no-espaco-ts-ndvi-e-tvdi#>. Acesso em: 9 set. 2020.
- FILGUEIRAS, R. *et al.* Dynamics of actual crop evapotranspiration based in the comparative analysis of SEBAL and METRIC-EEFLUX. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p.72-80, out. 2019b. Edição especial Inovagri.
- FILGUEIRAS, R. *et al.* Fusion of MODIS and Landsat-Like images for daily high spatial resolution NDVI. **Remote Sensing**, v.12, n.8, p.1297, Apr. 2020a.
- FILGUEIRAS, R. *et al.* Productivity and water demand of maize estimated by the modified satellite Priestley-Taylor algorithm. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.40, n.6, p.2991-3005, set. 2019c. Suplemento 2.
- FILGUEIRAS, R. *et al.* Soil water content and actual evapotranspiration predictions using regression algorithms and remote sensing data. **Agricultural Water Management**, v.241, Nov. 2020b.
- FOOLAD, F. *et al.* Comparison of the automatically calibrated google evapotranspiration application – EEFlux and the manually calibrated METRIC application. Basel: Preprints, 2018. Disponível em: <http://www.preprints.org/manuscript/201807.0040/v1>. Acesso em: 11 set. 2020.
- FORMAGGIO, A.R.; SANCHES, I.D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288p.
- HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, Aug. 1988.
- JALILVAND, E. *et al.* Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region. **Remote Sensing of Environment**, v.231, Sept. 2019.
- KAMBLE, B.; KILIC, A.; HUBBARD, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. **Remote Sensing**, v.5, n.4, p.1588-1602, Apr. 2013.
- LIMA, A.L.B. *et al.* Biophysical parameters and actual evapotranspiration of bean culture by means of remote sensing. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.13, p.156-166, 2019.
- MAES, W.H.; STEPPE, K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. **Trends in Plant Science**, v.24, n.2, p.152-164, Feb. 2019.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4.ed.atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 422p.
- MUSSI, R.F. *et al.* Evapotranspiração da cana-de-açúcar estimada pelo algoritmo SAFER. **Irriga**, Botucatu, v.25, n.2, p.263-278, abr./jun. 2020.
- OLIVEIRA, T.C. de; FERREIRA, E.; DANTAS, A.A.A. Temporal variation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and calculation of the crop coefficient (Kc) from NDVI in areas cultivated with irrigated soybean. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.9, p.1683-1688, Sept. 2016.
- PÔÇAS, I. *et al.* Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: a review on spectral vegetation indices approaches. **Agricultural Water Management**, v.233, Apr. 2020.
- REIS, J.B.R. da S. *et al.* Irrigação: manejo apropriado para evitar desperdício de água. **Informe Agropecuário**. Gestão de recursos hídricos e ambientais, Belo Horizonte, v.39, n.304, p.53-64, 2018.
- RIBEIRO, R.B. *et al.* Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens sentinel-2^a. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.6, p.1884-1893, out. 2017.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7.ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 260p.
- ROUSE, J.W. *et al.* Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: NASA, 1974. v.1: Technical Presentations, section A, p.309-317.
- SANTOS, R.A. dos *et al.* Actual evapotranspiration and biomass of maize from a red-green-near-infrared (RGNIR) sensor on board an unmanned aerial vehicle (UAV). **Water**, v.12, n.9, Sept. 2020.
- SENAY, G.B. *et al.* Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather Datasets: a new parameterization for the SSEB approach. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v.49, n.3, p.577-591, June 2013.
- TEIXEIRA, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v.2, n.5, p.1287-1319, May 2010.
- VENANCIO, L.P. *et al.* Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura. **Irriga**, Botucatu, v.24, n.4, p.719-746, out./dez. 2019.
- VENANCIO, L.P. *et al.* Evapotranspiration mapping of commercial corn fields in Brazil using SAFER algorithm. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.78, n.4, p.e20190261, 2021.
- VENANCIO, L.P. *et al.* Mapping within-field variability of soybean evapotranspiration and crop coefficient using the Earth Engine Evaporation Flux (EEFlux) application. **PLOS ONE**, v.15, n.7, p.e0235620, 2020.
- WU, K. *et al.* A new drone-borne GPR for soil moisture mapping. **Remote Sensing of Environment**, v.235, Dec. 2019.
- ZHANG, K.; KIMBALL, J.S.; RUNNING, S.W. A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v.3, n.6, p.834-853, Nov./Dec. 2016.

Uso de energia solar fotovoltaica na agricultura irrigada

Vânia Reis de Souza Sant'Anna¹, Flávio Gonçalves Oliveira², Maria Joselma de Moraes³, João Batista Ribeiro da Silva Reis⁴

Resumo - A agricultura irrigada ganha cada dia mais espaço, sendo responsável por boa parte da produção mundial; entretanto, é altamente dependente de recursos energéticos, e isto aumenta com a inserção de novas tecnologias, como controle e automação. Dessa forma, a geração fotovoltaica vem em muitos casos atender esta necessidade de energia renovável em sistemas de irrigação. O uso da geração fotovoltaica para acionamento de motobombas no Brasil está sendo inserido paulatinamente, isto ocorre por causa do clima propício, de novas tecnologias e da disponibilidade de conhecimento. A energia fotovoltaica possui um grande potencial de crescimento com o advento da Agricultura 4.0, por ser uma geração localizada e com alto nível de confiabilidade.

Palavras-chave: Irrigação. Agricultura 4.0. Motobomba. Energia renovável. Sustentabilidade.

Use of photovoltaic solar energy in irrigated agriculture

Abstract - Irrigated agriculture gains more space every day, being responsible for much of the world production; however, it is highly dependent on energy resources and this increases with the introduction of new technologies such as control and automation. Thus, photovoltaic generation comes in many cases to meet this need for energy in irrigation systems for renewable energy in irrigation systems. The use of photovoltaic generation to drive motor pumps in Brazil is being inserted gradually, this occurs because of the favorable climate, new technology and the availability of knowledge. Photovoltaic energy has great growth potential with the advent of Agriculture 4.0, as it is a localized generation with a high level of reliability.

Keywords: Irrigation. Agriculture 4.0. Motor pump. Renewable energy. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A análise da demanda de energia como instrumento de planejamento em áreas rurais induz ao estudo de um Programa de Geração de Energia Elétrica que pode ser composto por fontes renováveis, exploráveis e indicadas para comunidades agropecuárias, em projetos de eletrificação rural e direcionando-as para o desenvolvimento sustentável.

Existem demandas por inovação e modernização no campo, que potencializam resultados positivos para o setor produtivo e indicam que um *mix* energético possa ser

adotado na escolha das fontes, buscando-se eficiência e economicidade. É essencial, então, uma avaliação técnica dos recursos disponíveis, para que o projeto a ser empreendido possa ser compatível com a capacidade de pagamento do consumidor rural, e de que seu planejamento estratégico viabilize sua implementação, distribuição e manutenção na propriedade (ZHU, 2020).

Há uma variedade tecnológica de fontes renováveis de energia, citam-se como exemplos a eólica, a hidrelétrica, os biocombustíveis e a solar fotovoltaica. Os recursos naturais, a análise climatológica do

local, os recursos financeiros e a demanda de carga são aspectos significativos para a determinação do *mix* de fontes energéticas, integrando geração de energia e sistemas agropecuários, com o uso isolado ou não de uma destas (HUANG *et al.*, 2020).

Reconhece-se a variabilidade que existe no fornecimento da água para a irrigação e outros usos. Tem-se, então, estrategicamente, que estabelecer critérios para disponibilizar recursos hídricos com qualidade, considerando os aspectos da escassez de água, as atividades produtivas irrigadas da agricultura e pecuária e

¹ Física e Matemática, D.Sc., Prof^{ta} Secretaria de Estado de Educação - SEE, Viçosa, MG, vaniareisfisica@hotmail.com.

² Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

³ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof^{ta} UEG, Anápolis, GO, mjmoraes60@gmail.com.

⁴ Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br.

a proteção ao meio ambiente, levando-se em conta a pegada hídrica como indicador (MARACAJÁ *et al.*, 2012).

O perfil da propriedade vai trazer informações relevantes: o que produz? Está conectada à rede elétrica (*on grid*)? Está desconectada da rede elétrica (*off grid*)? Demanda realização de obras adicionais para sua implementação? Há disponibilidade de capital próprio? Há linhas de financiamento que possibilitem o seu aporte? Qual das opções permitirão maior eficiência energética e menor custo para manutenção e operação? Há entraves legais para a implementação do *mix* de energia ou de uma das fontes?

O produtor rural questiona e busca apoio tecnológico para a otimização de sua produção, seja agrícola seja pecuária. Procura setores que poderão indicar confiabilidade técnica com custo/benefício e garantias de sucesso, assim como maior lucratividade, e que ofereçam um modelo que equilibre produtividade e proteção dos recursos naturais (ZAVALA *et al.*, 2020).

O sistema fotovoltaico (SFV) permite gerar energia elétrica a partir da incidência de energia solar, e a energia elétrica alimenta todos os setores da economia. Este estudo tem como objetivo avaliar a inserção do SFV, para bombeamento de água, considerando suas diversas aplicabilidades no meio rural, nos processos de otimização do uso da água, promovendo economia de eletricidade, melhorando sua eficiência de aplicação, aumentando a segurança no fornecimento de energia, assim como, redução das emissões de CO₂ no meio ambiente e a dependência de combustíveis fósseis (FRIZZONE, 2007; HUANG *et al.*, 2020; ZHU *et al.*, 2020).

FONTES DE ENERGIA USADAS PARA SISTEMA DE BOMBEAMENTO

A energia elétrica usada no meio rural pode ser de fontes renováveis, como as energias eólica e solar, não renováveis como combustíveis fósseis (diesel) e fornecida pela rede elétrica, em cuja matriz energética

tem-se mais de 80% de energia sendo gerada pelas fontes hídricas, renováveis.

O sistema de bombeamento é definido como o conjunto de instalações e equipamentos que permitem o deslocamento de um fluido entre diversos pontos de um processo, de modo que vença as distâncias e a diferença entre os níveis geométricos de tais pontos, garantindo o fornecimento de água com quantidade e pressão suficientes para determinada aplicação, como uso residencial, serviços públicos, consumo industrial, irrigação, entre outros (GOMES; CARVALHO, 2012).

Os dois equipamentos mais importantes para o sistema de bombeamento são o motor e a bomba (conjunto motobomba), no qual o motor tem a função de transformar a energia elétrica em energia mecânica para a bomba por meio de acoplamento de eixo. A bomba, por sua vez, usará esta energia mecânica do seu eixo em energia potencial de água.

As bombas, assim como os motores, são encontradas nos mais variados modelos. Os motores são responsáveis pela transmissão da rotação no eixo da bomba, fazendo com que esta transmita a energia rotacional em energia potencial de água.

A fonte de energia disponível irá definir o tipo de motor a utilizar, podendo ser: elétricos, combustão interna (ciclo otto e diesel) e eólico (energia do vento). Os motores elétricos são os mais comumente usados, podendo-se utilizar a energia proveniente da rede elétrica – corrente alternada (CA) ou de geradores fotovoltaicos – corrente contínua (CC). Já os motores de combustão na sua maioria utilizam derivados de petróleo, sendo que estes motores para atender a potências maiores utilizam o diesel como combustível.

Motores elétricos usados em sistema de bombeamento

Os motores elétricos são classificados em dois grupos em função do sinal de alimentação que são de CC e CA, sendo que para cada um destes tipos existem suas variações.

O sistema elétrico brasileiro possui sinal de CA, assim, praticamente todos os motores que estão sendo usados na área rural são de CA e, na quase totalidade, são motores assíncronos de indução, podendo ser de rotor ou gaiola (MORAES, 2013).

Segundo Oliveira Filho *et al.* (2010), 75% dos transformadores utilizados no setor rural são monofásicos, sendo um valor expressivo de propriedades rurais que são atendidas por este sistema de distribuição de energia elétrica. Mas isto torna-se um limitador de tamanho de motor elétrico monofásico a ser utilizado nestas propriedades. Já para sistema de distribuição trifásico de energia elétrica, isto não ocorre, pois permite o uso de motores trifásicos com uma ampla faixa de potência.

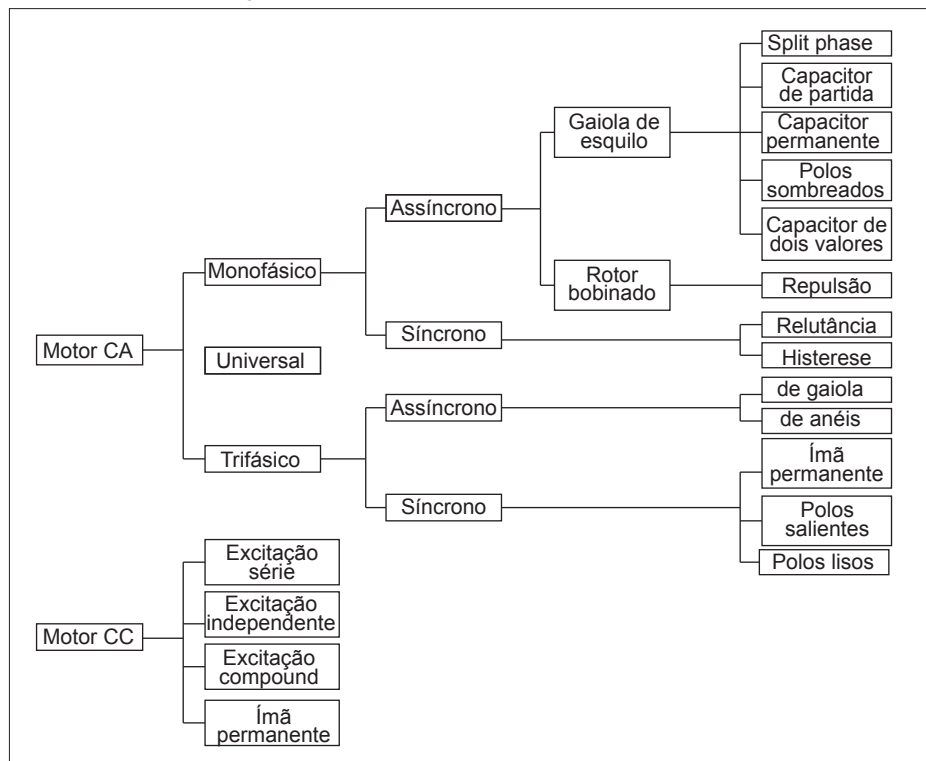
Apesar dos motores trifásicos possuírem superioridade em robustez, economia e eficiência sobre os motores monofásicos de mesma potência, o sistema monofásico é largamente utilizado, isto se deve ao seu custo de implantação ser cerca de 60% menor que o equivalente trifásico (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2005).

O gerador fotovoltaico gera o sinal em CC, a maioria dos sistemas comercializados é de motores de CC ou com inversores de frequência, caso o motor seja de CA. O motor de CC possui algumas características que são consideradas melhores do que os de CA, mas por outro lado, tem custo mais elevado. Optando-se por motores de CA, com a inserção de inversores de frequência, o sistema também encarece. É necessário, então, uma análise do custo/benefício na escolha do motor para inserção em projeto com geração fotovoltaica. Dentro destes dois grupos existem os subtipos em função da configuração elétrica de cada um (Fig. 1).

Tecnologia fotovoltaica como geradora de eletricidade

A célula solar absorve a energia incidente, proveniente do sol, convertendo-a em energia elétrica e alimentando o motor acoplado à bomba utilizada para extrair água do poço ou do reservatório.

Figura 1 - Classificação dos motores elétricos



Fonte: WEG (2021).

Nota: CA - Corrente alternada; CC - Corrente contínua.

O aproveitamento da energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica traz modularidade, ou seja, dimensionamento adequado à necessidade local, desde alguns miliwatts até muitos megawatts, além de portabilidade, adaptabilidade, baixo custo de manutenção, dispensando combustível, transporte e mão de obra altamente especializada. É não poluente na sua utilização e facilmente adaptável em locais de difícil acesso ou desconectados da rede elétrica (SANT'ANNA *et al.*, 2015; ZAVALA *et al.*, 2020).

O mercado fotovoltaico oferece várias tecnologias, o grupo das células convencionais: células de silício monocristalino e de silício policristalino; grupo dos filmes finos: as células de silício amorfo e as células do composto binário, que compõem o grupo III-IV da tabela periódica dos elementos, disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS) ou de telureto de cádmio (CdTe), as de arseneto de gálio (GaAs), as do com-

posto ternário, como exemplo, dissulfeto de cobre e índio (CuInSe₂), e as células de multijunção (BOLTON, 1982).

O tipo de tecnologia solar fotovoltaica a ser utilizado depende das características óticas de cada um, do seu *band gap*, do seu coeficiente de absorção ou da sua resposta espectral, associada com suas propriedades eletrônicas, que irão indicar o seu rendimento de acordo com a área disponível para a instalação do sistema (MANZANARES, 2008).

As células fotovoltaicas normalmente encontradas no mercado são à base de silício, em destaque o silício policristalino que possui uma boa relação custo-eficiência (GREENPRO, 2004). Estes autores atestam também que as células são compostas por dois materiais semicondutores separados por uma barreira de potencial, em que, quando há a incidência da radiação em um desses materiais, cria-se uma diferença de potencial na célula, e, ao fechar-se, o circuito ligando um material ao outro, tem-se uma corrente elétrica.

Os módulos fotovoltaicos são constituídos por um arranjo de células que, quando conectadas, atingem o valor total de tensão e corrente que determinam a potência do módulo, atendendo-se, assim, aos interesses comerciais. O dimensionamento de um projeto fotovoltaico considera dentre outros aspectos técnicos, a incidência de energia solar sobre o local onde o sistema será implementado, a demanda de carga consumida e qual a potência do SFV que atenderá ao consumidor (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

É importante ressaltar que os inversores de frequência são aparelhos responsáveis pela transformação da CC produzida pelos módulos em CA necessária ao funcionamento de motores elétricos (CC/CA) (GREENPRO, 2004).

O mercado solar movimentou uma diversidade de modelos e insumos. No Brasil, a inserção da tecnologia, nas mais diversas áreas, desde as publicações das Resoluções Normativas nº 482, de 17/4/2012 (ANEEL, 2012) e nº 687, de 24/11/2015 (ANEEL, 2015), tem crescido significativamente. Investidores têm buscado disseminar e comercializar a energia solar como alternativa segura para o desenvolvimento econômico familiar rural, de empregos e de oportunidades para todos (MENEGAKI, 2011; PACESILA; BURCEA; COLESCA, 2016; HUANG *et al.*, 2020).

Descrição geral do SFV + motobomba

Vários elementos precisam ser considerados no dimensionamento de um bombeamento com utilização de energia solar, como, por exemplo, a distância entre a fonte de água e a zona irrigada; a profundidade em que se encontra a água; o tipo de terreno; as zonas de sombreamento; a qualidade da água; o caudal e a pressão necessária; o tipo de bombeamento, se por gotejamento ou aspersão; o tipo de bomba; o número de módulos fotovoltaicos e o sistema de monitoramento (ZAVALA *et al.*, 2020).

O sistema solar fotovoltaico para o acionamento de motobombas é composto, basicamente, dos seguintes equipamentos:

- arranjo de módulos fotovoltaicos dimensionado para gerar eletricidade;
- conversor de frequência que permite alterar a velocidade do motor e modular o sinal de CC para CA;
- conjunto motobombas submersas ou de superfícies;
- tanque de armazenamento;
- conjunto de válvulas ou chaves que controlam o fluxo de água para os diferentes setores destinados ao recebimento da demanda de água previamente calculada.

As recomendações para a escolha do SFV + motobomba são (BAYOD RÚJULA, 2009):

- para os geradores solares que tenham potência nominal superior a 500 W, deve-se instalar o contador volumétrico para medir o volume de água bombeada;
- que as bombas tenham proteção quanto à falta de água, considerando-se a interrupção da sua velocidade de rotação;
- que as perdas, por atrito, nos tubos ou no sistema hidráulico sejam meno-

res do que 10% da energia hidráulica útil proporcionada pela motobomba;

- d) não se devem utilizar grandes bombas em pequenos poços, para que não provoque a entrada de uma mistura de ar e água na bomba.

Em relação ao motor, Bayod Rújula (2019) orienta o uso de motores de CA para faixas de 10 cv ou mais e que estes, mesmo mais econômicos do que os motores de CC, exigem gastos com inversores (conversores CC/CA), levando a pequenas perdas de conversão. São constituídos por gerador fotovoltaico, SFV conectado a uma bomba submersa de CA, por meio de um inversor de frequência, que à medida que a incidência de energia solar varia sobre os módulos, a tensão de saída varia e, em consequência, mudam-se a velocidade do giro do motor e o fluxo de água bombeada. A Figura 2 ilustra o SFV + motobomba.

Já os motores de CC, menores, são conectados ao SFV e à motobomba e, variando-se a energia solar incidente sobre o gerador solar, alteram-se a tensão de saída, a velocidade de rotação do motor e, consequentemente, o fluxo de água bombeado. É recomendável, porém, o uso de um controlador de carga ou regulador solar – Seguidor do Ponto de Potência Máxima (SPPM), para otimizar o rendimento, gerenciando a energia do gerador.

As bombas de extração são classificadas em:

- centrífugas e volumétricas, de acordo com o modo como a água é movida entre dois níveis;
- de superfície ou submersas, observando-se sua localização em referência à fonte de água.

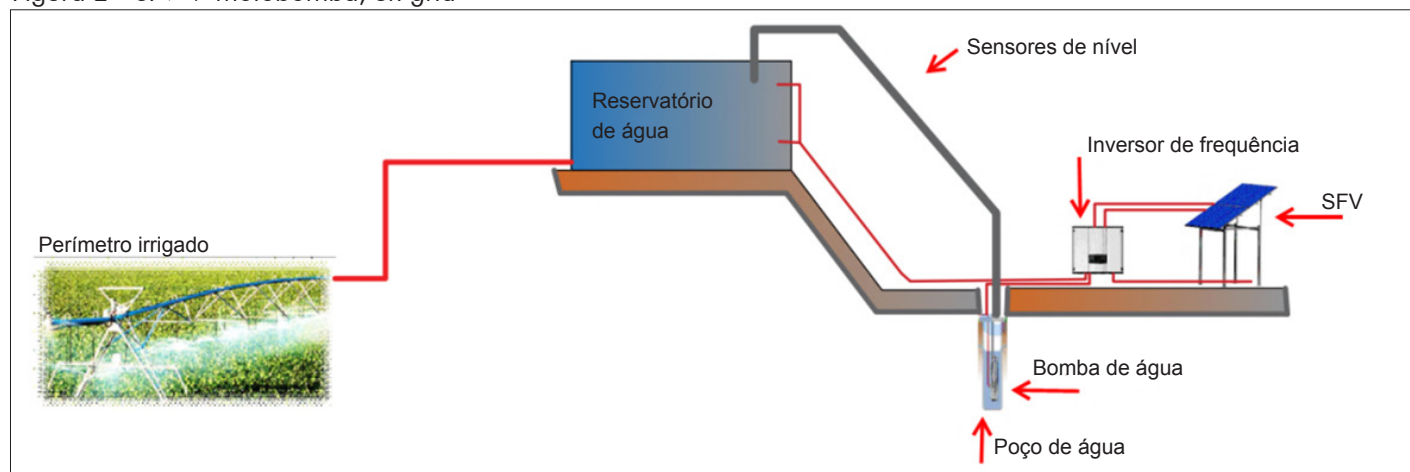
Estas podem ser acionadas por motores elétricos de CC ou CA. A escolha ideal, da bomba solar, deve-se basear em uma combinação destes três critérios de operação e funcionamento, descritos no Quadro 1.

No entanto, para o produtor que já conta com um conjunto motobomba convencional, não solar, sugere-se o uso de um variador de frequência, que reduza o seu pico de arranque na conversão da energia gerada, e um número de módulos fotovoltaicos maior do que a sua demanda de carga para alimentar todo o sistema e garantir sua eficiência e os picos de arranque.

APLICABILIDADE: OFF GRID, ON GRID, GERENCIAMENTO DE ÁGUA

A agricultura e a pecuária demandam que o abastecimento de água seja acessível e abundante, que se tenha água para o gado, para as caixas d'água, para residências, sítios e fazendas, para a comunidade, além dos serviços de saúde, educação,

Figura 2 - SFV + motobomba, on grid



Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: SFV - Sistema fotovoltaico.

Quadro 1 - Classificação de bombas de extração

| Bombas centrífugas | | Bombas volumétricas | |
|--|---|---|---|
| Superficiais | Submersas | Cilindro | Diafragma |
| Operando 20 mil a 40 mil L/dia. Capacidade de sucção 7 m no máximo. Toleram certa quantidade de areia e sedimentos. Carga dinâmica total 1 a 10 m | Operando 5 mil a 20 mil L/dia. Carga dinâmica total 20 a 35 m. Não deve operar a seco, prevenindo contra o superaquecimento. Toleram certa quantidade de areia e sedimentos. | Operando 1 mil a 5 mil L/dia ou para grandes profundidades. Quanto maior a incidência de energia solar, maior a velocidade do motor e maior o fluxo de água bombeada. Devem operar conectadas a um controlador de carga, para otimizar a potência do SFV. | São econômicas, porém os diafragmas precisam ser substituídos periodicamente, gerando custos. |

Fonte: Adaptado de Bayod Rújula (2009).

Nota: SFV - Sistema fotovoltaico.

comunicação e bombeamento de águas de reúso (BARROS *et al.*, 2015). A pegada hídrica é o indicador de sustentabilidade pelo uso racional da água na irrigação e de poluição da água por meio da indústria e da agricultura.

A irrigação tem na tecnologia fotovoltaica recurso significativo para vencer as dificuldades advindas das variações climáticas, típicas de cada região. Em regiões áridas, a energia solar em abundância, ao gerar energia durante o dia, poderia ser utilizada, concomitantemente, para irrigar. Não sendo aproveitada durante o dia, a água poderia ser armazenada em reservatórios, sendo usada durante a noite. Extremamente interessante para regiões isoladas, como na África Subsaariana ou sul da Ásia, regiões desconectadas da rede elétrica e para países em desenvolvimento, proporcionando energia elétrica para a realização de trabalhos e atividades de subsistência básica (GIORDANO *et al.*, 2012).

A substituição da engenharia diesel pela engenharia solar tem projetos desenvolvidos em regiões da África, Índia, América do Sul e Europa com o foco na redução de CO₂ e na economia de 30% de água com o método combinado de várias válvulas, mangueiras, tubos e a água escorrendo lentamente em intervalos regulares até as raízes das plantas, utilizando-se o sistema de irrigação por gotejamento, como sendo mais eficiente neste processo e o controle via smartphone da quantidade de energia

produzida pelo sistema (ROBLIN, 2016).

A irrigação de pequenas propriedades poderia mudar a vida de milhares de pessoas, pode-se avaliar que durante a estação seca, o fornecimento de água permitiria o cultivo de colheitas e o ganho de uma receita em época de ganhos incertos, além da possibilidade de expansão do rebanho. Citam-se exemplos de Madhya Pradesh na Índia, cuja produção de trigo foi incrementada em mais de 70%; na Tanzânia, onde os agricultores obtêm ganhos com o cultivo de vegetais irrigados, aumentou em metade os seus rendimentos; na Zâmbia, em que 20% de propriedades irrigadas conseguiram ganhar 35% a mais nesta época do ano (GIORDANO *et al.*, 2012).

A disseminação da tecnologia é de vital importância para que o pequeno, médio ou o grande proprietário rural conheçam a engenharia da energia solar, mas a informação precisa trazer, além do conhecimento técnico, dados que o assegure quanto ao modo de captação de água da chuva, em como obter financiamentos, dar incentivo às mulheres à frente do negócio familiar, informações sobre o mapeamento de águas subterrâneas, o monitoramento e a conscientização de pequenos riscos ambientais, o auxílio na compra de equipamentos, o estímulo à compra coletiva, assim como a formação de cooperativas (GIORDANO *et al.*, 2012).

O Gráfico 1 ilustra dados de projetos de inserção da irrigação em Ghana, Tanzânia,

Zâmbia e Burkina Faso, como resultados do trabalho de AgWater Solutions Project (GIORDANO, 2012), para desenvolvimento de propriedades rurais.

A eletrificação rural traz impactos positivos para o meio ambiente, para a economia, para a sociedade e suas instituições promovidas pelo acesso à água, à tecnologia, à informação e pelo equilíbrio entre a sustentabilidade e o uso dos recursos hídricos com investimentos inteligentes.

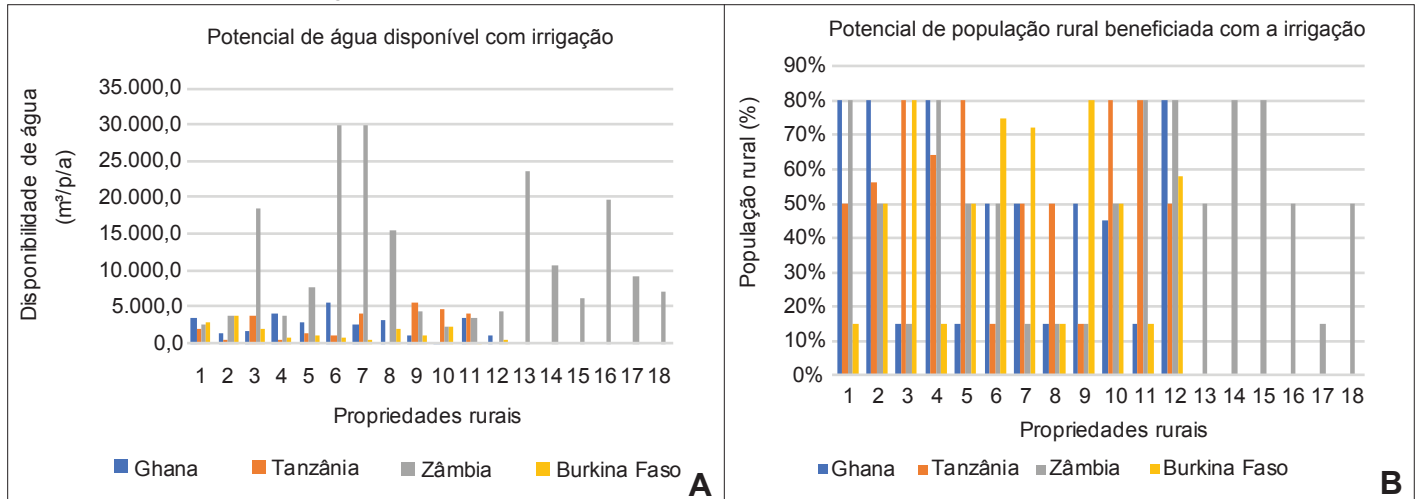
Morales (2011) concluiu, em estudo de compilação de dados acerca de projetos de irrigação movidos por energia solar no Brasil, que o sistema é viável tecnicamente, principalmente, pela inserção da irrigação nas propriedades rurais, assegurando a produção e aumentando a renda. Entretanto, o autor ressalta que é importante ter conhecimento das vantagens, configurações e limitações dos sistemas, a fim de realizar um projeto coerente com a realidade do produtor rural.

ESPECIFICIDADES CLIMATOLÓGICAS

Incidência de radiação solar

A energia solar incidente na superfície terrestre é distribuída irregularmente, pois tem a influência das características ambientais do local, da hora do dia e dia do ano. É definida a irradiação solar em Wh/m² (GREENPRO, 2004). De acordo com Villalva e

Gráfico 1 - Projeto de irrigação para desenvolvimento de propriedades rurais



Fonte: Dados básicos Giordano (2012).

Nota: A - Disponibilidade de água para população rural com projetos de irrigação; B - Porcentual do potencial da população rural atendida com os projetos de irrigação inseridos na comunidade.

Gazoli (2012), as regiões dos polos recebem menor porção da radiação solar por causa da inclinação dos seus raios em relação à linha do zênite. Em contrapartida, em áreas no entorno da linha do Equador, a insolação sofre menor variabilidade em função das estações do ano e com menor valor para o ângulo zenital dos raios solares que atingem a superfície perpendicularmente, e, em consequência, atravessam menor massa da atmosfera (SILVA, 2011) (Fig. 3).

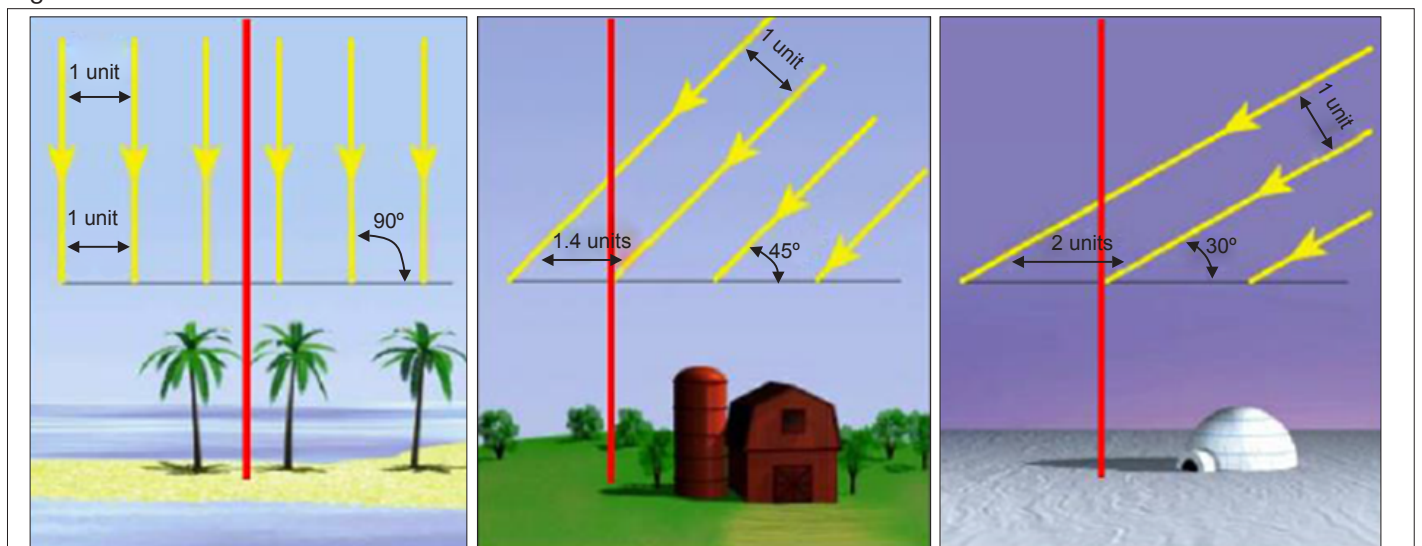
Potencial do Brasil

Segundo Campos e Alcântara (2016), as condições atmosféricas, a princípio, poderiam ser um fator limitante para a instalação de sistemas eletrovoltaicos. No entanto, estudando a interferência de dias nublados sobre a produtividade, em Belém, PA, cidade próxima à linha do equador e consequentemente em posição global privilegiada, foi observado que no período vespertino, os índices de irradiação

diminuíam em virtude da ocorrência frequente de precipitação. Apesar disso, no local, tem-se como período ótimo de incidência de energia solar os meses de setembro e outubro, em decorrência da boa taxa de irradiação solar e do baixo índice pluviométrico nesses meses.

No “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (PEREIRA *et al.*, 2017) encontra-se ilustrada a irradiação média anual para todo o território brasileiro, pode-se notar que as regiões mais

Figura 3 - Incidência dos raios solares em diferentes latitudes



Fonte: Andrade (2017).

Nota: unit - Unidade de comprimento.

propícias ao aproveitamento da energia solar no Brasil são o interior do Nordeste e o Norte do estado de Minas Gerais (Mapa 1).

Andrade (2017) desenvolveu pesquisa, cujos resultados estão ilustrados no Gráfico 2, e observou o comportamento da radiação solar em médias horárias, para cada mês dos anos de 2007 a 2016, município de Montes Claros no Norte de Minas Gerais. Nota-se que há redução vertical e longitudinal nas dimensões dos gráficos à medida que termina o período do verão (meses de janeiro e fevereiro) e aproxima-se o inverno (meses de junho e julho). Consta-se que a intensidade da radiação e o tempo de insolação diminuem. Observando-se o comportamento da irradiação solar ao longo do dia, percebe-se um valor de pico próximo ao meio-dia, sendo o seu pico máximo médio no mês de fevereiro, equivalendo a 910 Wh/m² e o mínimo médio no mês de junho a 690 Wh/m².

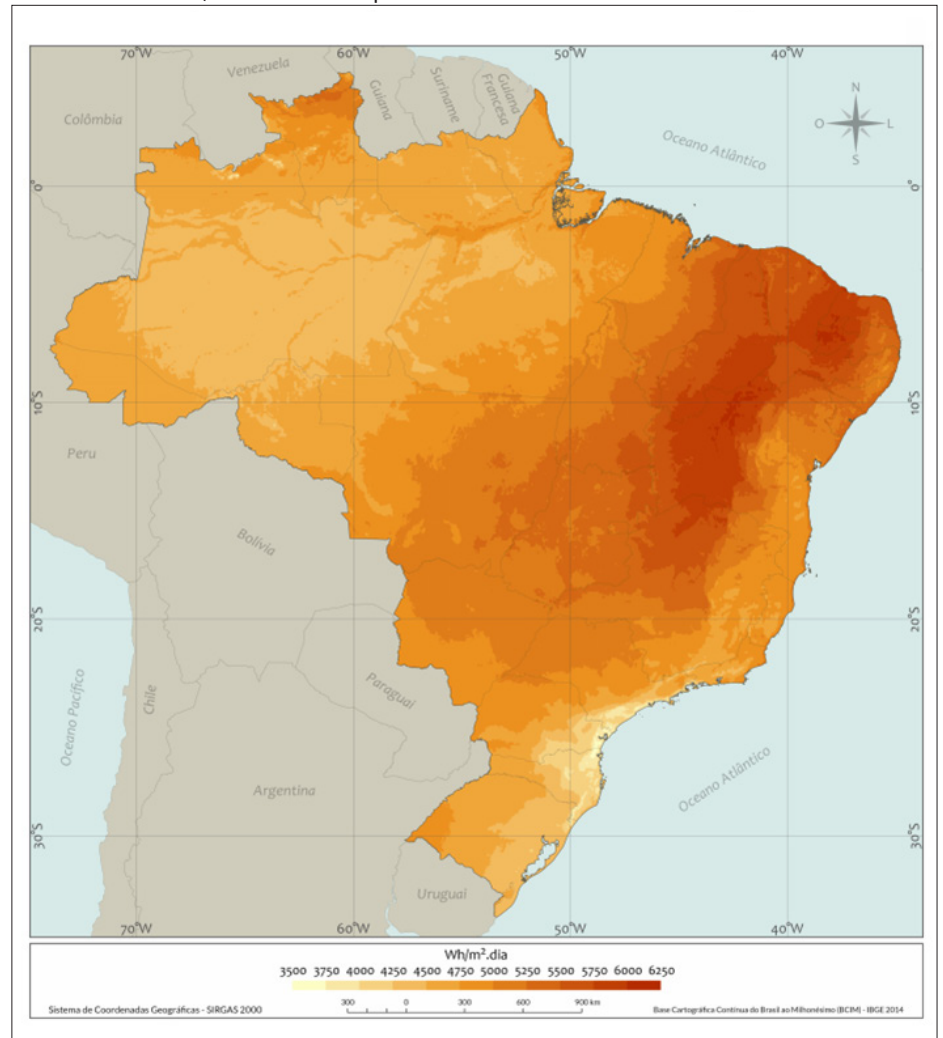
INSERÇÃO DIGITAL, INTERNET DAS COISAS, CONTROLE E AUTOMAÇÃO

O setor agrícola a cada dia enfrenta o dilema do crescimento da produção decorrente do aumento da população, e luta para que este crescimento seja de forma sustentável, considerando-se as intercorrências, como as variabilidades climáticas e o esgotamento de recursos naturais (KLERKX; ROSE, 2020). Em contrapartida, surge um avanço tecnológico que visa contribuir de forma efetiva neste processo.

Segundo Rose *et al.* (2021), este avanço tecnológico deve-se às tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, a robótica, automação, o *big data*, a internet das coisas, a edição de genes e os drones, que estão sendo apresentadas como soluções para os desafios associados à produção de alimentos. Estas novas tecnologias, segundo Rose e Chilvers (2018), seriam então, a quarta revolução agrícola ou Agricultura 4.0.

A Agricultura 4.0, portanto, vem seguindo o modelo de gestão da Indústria 4.0, que trabalha com informações em volume expressivo e com respostas em tempo real.

Mapa 1 - Atlas solarimétrico ilustrando o total diário da irradiação global horizontal, média anual para o território brasileiro em Wh/m²/dia



Fonte: Pereira *et al.* (2017).

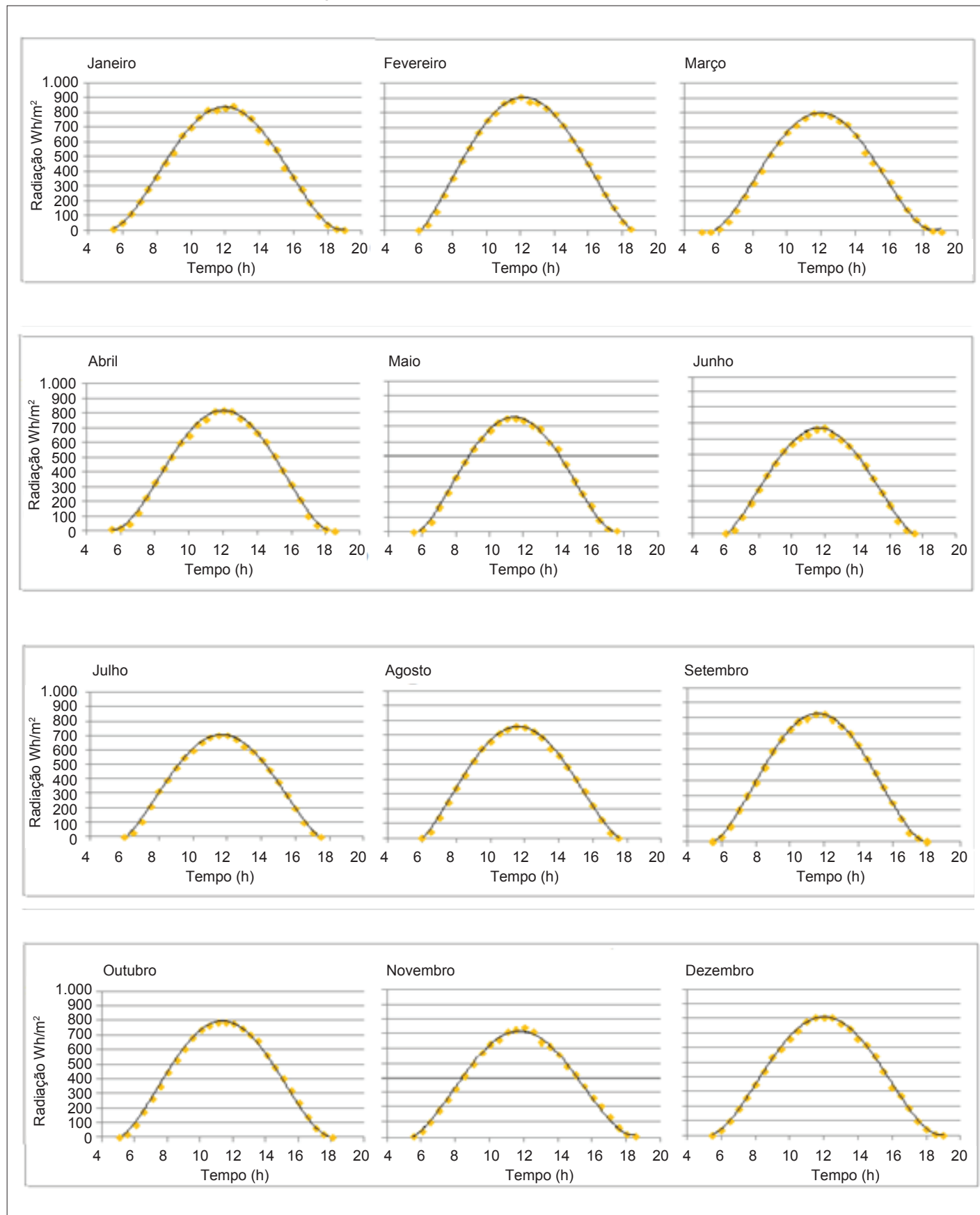
Com isso, o conceito 4.0 para os diferentes setores (indústria, agricultura e pecuária) depende de computadores, banco de dados, sistemas de informação e sistemas de transmissão de dados, sendo estas ferramentas, em sincronia, que irão gerir os processos. A internet das coisas – internet of things (IoT) traz a interação direta entre objetos inteligentes, como sensores, smartphones, dentre outros, monitorando todo o processo, os quais, quando voltados à agricultura, possibilitam mudanças significativas no sistema de produção.

A Agricultura 4.0 no Brasil demandará, para a sua inserção no campo, acessibilidade aos recursos energéticos e, às vezes, a propriedade distante da rede elétrica

encontra-se limitada e impedida de utilizar tais dispositivos ou alternativas já presentes em outros locais onde a energia elétrica é oferecida abundantemente, mesmo que em valores excessivamente caros para o empreendedor rural. A energia solar fotovoltaica traz a confiabilidade na geração de energia elétrica necessária para sustentar esta nova forma de gestão e suas inovações (ATLANTICO, 2020).

Dentre estes processos encontram-se os sistemas de irrigação que utilizam sensores automatizados para o controle de todas suas funções, independentemente do tamanho. Dessa forma, depreende-se que a junção dessas duas operações (automação e irrigação) surgiu da tentativa de aperfeiçoar os recursos

Gráfico 2 - Comportamento da irradiação solar ao longo do dia para cada mês no município de Montes Claros, MG



Fonte: Andrade (2017).

produtivos, da competitividade e da redução de custos. Entretanto, a automação não se faz necessária somente pela possibilidade de diminuição dos custos com mão de obra, mas, principalmente, por necessidades operacionais, tais como, a irrigação de grandes áreas durante o período noturno. Tais recursos possibilitam a economia de energia e água quando houver a necessidade de variação da vazão (FERNANDES; TESTEZLAF, 2002; MORAES *et al.*, 2014).

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A pesquisa considerou uma área de 4 ha irrigados por aspersão convencional e abastecida por um poço tubular. São as condições mais comuns aos pequenos irrigantes da região do Norte de Minas. As variáveis analisadas foram obtidas de projetos de irrigação para um mesmo tamanho de área, a energia elétrica considerada foi monofásica, e a distância da rede de energia elétrica a ser instalada foi de 500 m, sendo proposta a utilização de diferentes fontes e alternativas de energia:

- a) energia da rede elétrica, funcionando 21 horas por dia (convencional) (ER);
- b) energia da rede elétrica, funcionando apenas com tarifa noturna (ERTN);
- c) energia solar *off grid*, sem baterias (ES);

d) energia solar *off grid*, com baterias (ESB);

e) energia solar *on grid* (ESR).

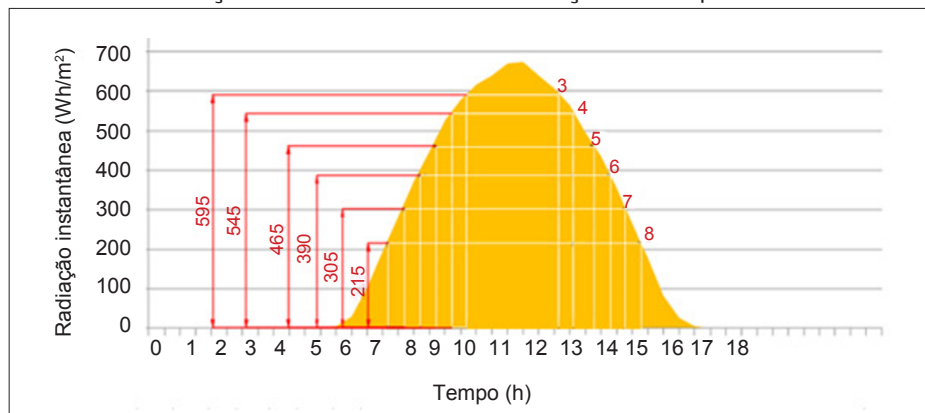
Os dados da energia solar incidente no local nos meses de junho pela média de nove anos, considerado este o pior mês de produtividade para a cidade de Montes Claros, foram utilizados para gerar a curva de radiação solar instantânea média ao longo do ano. Utilizaram-se os valores de radiação instantânea de 595, 545, 470, 390, 305 e 215 Wh/m² durante o funcionamento do sistema nos instantes iguais a 3, 4, 5, 6, 7 e 8 horas, respectivamente (Gráfico 3).

O ponto máximo de aproveitamento da radiação solar foi entre 5 e 6 horas por dia de funcionamento do sistema de irrigação, o mesmo ocorrendo com o custo total do sistema de irrigação/SFV, como pode ser observado nos Gráficos 4 e 5.

O custo mensal da energia, o tempo de funcionamento e a potência de cada projeto, onde os valores de energia demandada independem do tipo de fonte de energia, estão relacionados com a eficiência e a folga da bomba que foram analisados.

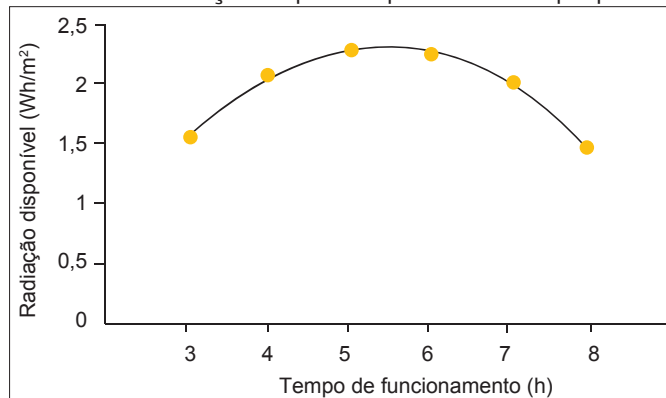
Logicamente, nos projetos ES e ESB, o tempo de funcionamento do sistema descontando-se a utilização da energia fotovoltaica foi equivalente a 100% do tempo de funcionamento em ambos os projetos, levando à isenção dos custos mensais com energia. O ERTN teve custo anual, com energia equivalente à, aproximadamente, metade do custo do ER, como consequência da tarifa reduzida para irrigação noturna. Dentre os projetos que dispunham da rede elétrica, o ESR obteve menores custos anuais, pois houve redução em gastos com energia elétrica convencional ao utilizar-se energia solar.

Gráfico 3 - Radiação instantânea média em função do tempo



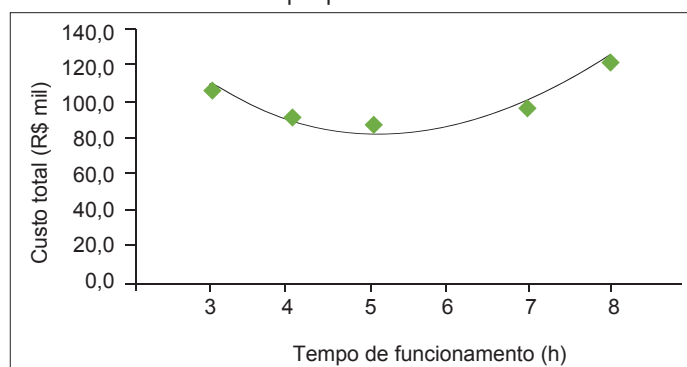
Fonte: Andrade (2017).

Gráfico 4 - Radiação disponível para cada subprojeto



Fonte: Andrade (2017).

Gráfico 5 - Custo total para implantação de módulos solares em cada subprojeto



Fonte: Andrade (2017).

A Tabela 1 ilustra a análise dos custos com implantação e consumo anual, em uma comparação entre todos os projetos e o ES. Observaram-se custos menores de energia para o projeto ES e o ESB, apesar do alto custo de implementação de ambos, inviabilizando-os em relação aos que fizeram uso de energia da rede. O ES foi melhor apenas em contraposição com o ESB. Segundo Lana *et al.* (2015), as baterias são normalmente responsáveis pelo alto custo do sistema, porém é um item que deve ser estudado de forma mais aprofundada, a fim de evitar falhas no dimensionamento e consequente superfaturamento.

A Tabela 2 exibe que a melhor opção de fornecimento de energia, de acordo com o estudo do Valor Presente Líquido (VPL), foi para o ERTN, seguido por ESR e ER. O projeto ERTN necessitou de um investimento de R\$ 10 mil a mais do que o ER, dos quais R\$ 9 mil são referentes a implementação do sistema de irrigação. Entretanto, com a taxa de juros rural de 8,75%, o período de retorno do investimento do capital (*Payback*) foi de apenas 3 anos. O valor do VPL igual a R\$ 29.453,31 e da Taxa Interna de Retorno (TIR) em 80% evidenciaram que para a área de até 4 ha não é viável escolher o projeto de irrigação com base apenas no custo de instalação, prática comum entre os irrigantes, de acordo com Vieira *et al.* (2011).

Comparando o ER com o ESR, encontrou-se maior viabilidade no projeto misto, com uma TIR de 11,18% e VPL positivo de R\$ 4.613,20. Entretanto o *Payback* foi de 15 anos, elevando os riscos do investimento. Situação similar foi encontrada por Muñoz (2015), que em estudo de caso de uma estação de bombeamento utilizando energia solar de forma complementar, encontrou VPL positivo, mas *Payback* de 17 anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração a importância das inovações tecnológicas

Tabela 1 - Custos anuais com energia elétrica

| Item | Projeto de irrigação | | | | |
|-------------------------------|----------------------|----------|------|-------|----------|
| | ER | ERTN | ES | ESB | ESR |
| Energia demandada (kWh) | 109,9 | 110,7 | 99,4 | 104,6 | 102,4 |
| SFV (kWh) | - | - | 99,4 | 104,6 | 37,5 |
| TF com SFV (h) | - | - | 6 | 9 | 6,6 |
| TF com tarifa normal (h) | 12,5 | - | - | - | 2,9 |
| TF com tarifa noturna (h) | 8,5 | 8,5 | - | - | 8,5 |
| Custo da tarifa normal (R\$) | 6.104,12 | - | - | - | 1.544,30 |
| Custo da tarifa noturna (R\$) | 1.369,71 | 3.408,18 | - | - | 1.488,61 |
| Custo total anual (R\$) | 7.473,84 | 3.408,18 | 0,00 | 0,00 | 3.032,91 |

Fonte: Andrade (2017).

Nota: ER - Energia da rede, com tarifa normal; ERTN - Energia da rede com tarifa noturna; ES - Energia solar, *off grid*, sem baterias; ESB - Energia solar, *off grid*, com baterias; ESR - Energia solar, *on grid*; SFV - Sistema fotovoltaico; TF - Tempo de funcionamento.

Tabela 2 - Custos e análise econômica

| Variáveis financeiras | Projetos | | | | |
|-----------------------------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| | ER (R\$) | ERTN (R\$) | ES (R\$) | ESB (R\$) | ESR (R\$) |
| Custo total anual de energia | 7.473,84 | 3.408,18 | 0,00 | 0,00 | 3.032,91 |
| Custo total | 40.036,00 | 49.096,00 | 164.977,66 | 257.001,68 | 72.362,58 |
| confrontando com ES | | | | | |
| Diferença de custos com energia | - | -4.065,66 | -7.473,84 | -7.473,84 | -4.440,93 |
| Diferença de custos de instalação | - | 9.060,00 | 12.4941,66 | 216.965,68 | 32.326,58 |
| Análise econômica | | | | | |
| <i>Payback</i> (anos) | - | 3 | N/A | N/A | 15 |
| TIR (%) | - | 81,43 | 1,82 | -12,59 | 11,18 |
| VPL (R\$) | - | 29.453,31 | -46.947,59 | -92.147,10 | 4.613,20 |

Fonte: Andrade (2017).

Nota: ER - Energia da rede, com tarifação normal; ERTN - Energia da rede com tarifação noturna; ES - Energia solar, *off grid*, sem baterias; ESB - Energia solar, *off grid*, com baterias; ESR - Energia solar, *on grid*; TIR - Taxa Interna de Retorno; VPL - Valor presente líquido; N/A - Não se aplica.

disponíveis para o setor agrícola, são inúmeras as possibilidades advindas da Agricultura 4.0, associadas às fontes de energia renovável, como exemplo a energia solar fotovoltaica, como propulsora da economicidade e eficiência na geração de energia elétrica para a sustentabilidade de projetos de irrigação. Com tais projetos e tecnologias, quando utilizados, podem-se tornar estas propriedades rurais um empreendimento sustentável e em consonância com as demandas de proteção dos recursos naturais, que, essencialmente,

são o maior bem de que dispõe o homem do campo, sendo, assim, o fornecimento de água, em momentos críticos para a produção, uma alternativa muito interessante para vencer as adversidades em épocas de ganhos incertos. Portanto, torna-se importante avaliar economicamente a viabilidade da instalação de um SFV para acionamento de sistemas de bombeamento, uma vez que a distância da rede de energia é preponderante na viabilidade do negócio.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.F. **Análise da viabilidade econômica da implantação de projetos de irrigação por aspersão convencional com energia fotovoltaica**. 2017. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.
- ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n.76, p.53, 19 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.
- ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 152, n.230, p.45, 2 dez. 2015.
- ATLANTICO. **Latin America Digital Transformation Report**. [São Paulo]: ATLANTICO, 2020. Disponível em: <https://www.atlantico.vc/latin-america-digital-transformation-report>. Acesso em: 8 out. 2020.
- BARROS, H.M.M. *et al.* Reúso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.10, n.5, p.11-16, dez. 2015. Especial.
- BAYOD RÚJULA, A.A. **Sistemas fotovoltaicos**. Zaragoza: Prensas de la Universidad, 2009. 336p.
- BOLTON, J.R. **Solar cells: a technology assessment**. London, Ontario, Canada: Western University - Department of Chemistry, 1982.
- CAMPOS, M.S.; ALCÂNTARA, L.D.S. Interpretação dos efeitos de tempo nublado e chuvoso sobre a radiação solar em Belém/PA para uso em sistemas fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.31, n.4, p.570-579, dez. 2016. Suplemento 1.
- FERNANDES, A.L.T.; TESTEZLAF, R. Fertilização na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes orgânicos e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.45-50, jan./abr. 2002.
- FRIZZONE, J.A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.1, n.1, p.24-49, 2007.
- GIORDANO, M. *et al.* **Water for wealth and food security: supporting farmer-driven investments in agricultural water management - synthesis report of the AgWater Solutions Project**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2012. 48p. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/39949>. Acesso em: 14 jul. 2020.
- GOMES, H.P.; CARVALHO, P.S.O. de (org.). **Manual de sistemas de bombeamento: eficiência energética**. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. 189p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/manual_sistemas_bombeamento_procel.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.
- GREENPRO. **Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Lisboa: União Europeia, 2004. v.2. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2017.
- HUANG, J. *et al.* Renewable energy and household economy in rural China. **Renewable Energy**, v.155, p.669-676, Aug. 2020.
- KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? **Global Food Security**, v.24, Mar. 2020.
- LANA, L.T.C. *et al.* Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias Online**, Belo Horizonte, v.1, n.2, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 8 out. 2020.
- MANZANARES, J.L.B. **Tecnologia de células solares de silício cristalino**. 2008. 50f. (Master em Energía Renovables y Mercado Energético) – Departamento de Energías Renovables, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid.
- MARACAJÁ, K.F.B. *et al.* Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental. **REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Campina Grande, v.2, n.2, p.113-125, 2012. Edição especial Rio + 20.
- MENEGAKI, A.N. Growth and renewable energy in Europe: a random effect model with evidence for neutrality hypothesis. **Energy Economics**, v.33, n.2, p.257-263, Mar. 2011.
- MORAES, M.J. **Racionalização do uso de energia elétrica no bombeamento de água em sistemas de irrigação**. 2013. 122p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- MORAES, M.J. *et al.* Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p.1075-1088, nov./dez. 2014.
- MORALES, L.R.V. **Utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. 2011. 154f.. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Universidade São Paulo, São Paulo, 2011.
- MUÑOZ, N.A.C. **Análise da viabilidade técnica e econômica de um sistema de geração de energia alternativa para uma casa de bombeamento de esgoto pluvial**. 2015. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- OLIVEIRA FILHO, D. *et al.* Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1012-1022, dez. 2010.
- OLIVEIRA FILHO, D. *et al.* Uso de motores monofásicos acoplados mecanicamente em série, em irrigação por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.139-144, jan./mar. 2005.
- PACESILA, M.; BURCEA, S.G.; COLESCA, S.E. Analysis of renewable energies in European Union. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.56, p.156-170, Apr. 2016.
- PEREIRA, E.B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos:

INPI, 2017. 79p. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ROBLIN, S. Solar-powered irrigation: a solution to water management in agriculture? **Renewable Energy Focus**, v.17, n.5, p.205-206, Sept./Oct. 2016,

ROSE, D.C.; CHILVERS, J. Agricultura 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.2, p.87, Dec. 2018.

ROSE, D.C. et al. Agriculture 4.0: making it work for people, production, and the planet. **Land Use Policy**, v.100, Jan. 2021.

SANT'ANNA, V.R. de S. et al. Photovoltaic systems with and without radiation concentrators for temperate and tropical regions. **Energies**, v.8, n.11, p.12505-12529, Nov. 2015.

SILVA, V.A.M. **Influência da cobertura do céu na estimativa da radiação solar utilizando modelo digital de elevação**. 2011. 73f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

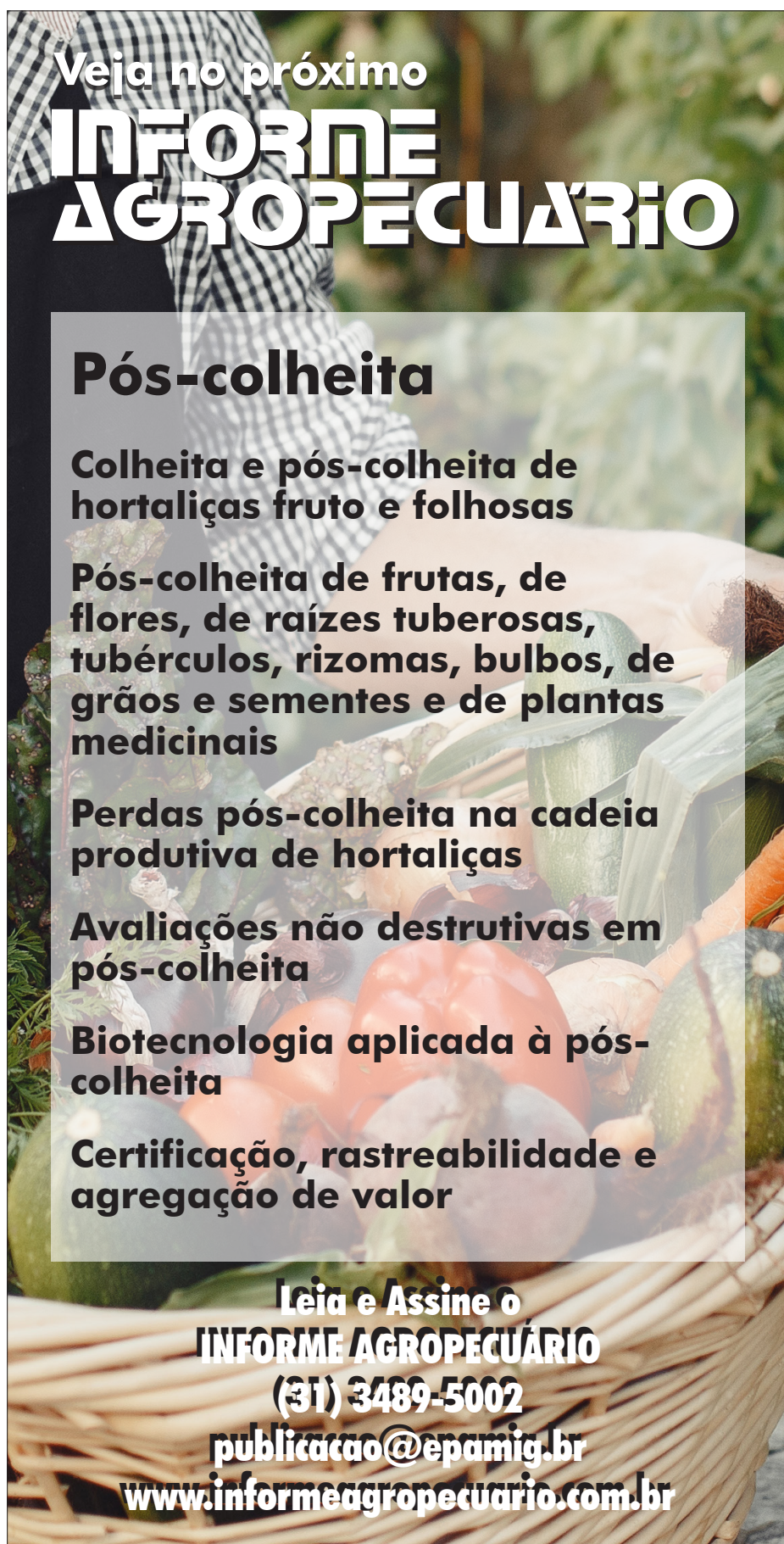
VIEIRA, G.H.S. et al. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.19, n.1, p.53-61, jan./fev. 2011.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.F. **Energia solar voltaica: conceitos e aplicações**. 2.ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2012. 224p.

WEG. **Guia de especificação: motores elétricos**. Jaraguá do Sul, SC: WEG Motores, 2021. 67p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.

ZAVALA, V. et al. Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. **Applied Energy**, v.260, Feb. 2020.

ZHU, D. et al. Analysis of the robustness of energy supply in Japan: role of renewable energy. **Energy Reports**, v.6, p.378-391, Nov. 2020.



Veja no próximo

INFORME AGROPECUÁRIO

Pós-colheita

- Colheita e pós-colheita de hortaliças fruto e folhosas
- Pós-colheita de frutas, de flores, de raízes tuberosas, tubérculos, rizomas, bulbos, de grãos e sementes e de plantas medicinais
- Perdas pós-colheita na cadeia produtiva de hortaliças
- Avaliações não destrutivas em pós-colheita
- Biotecnologia aplicada à pós-colheita
- Certificação, rastreabilidade e agregação de valor

Leia e Assine o

INFORME AGROPECUÁRIO

(31) 3489-5002

publicacao@epamig.br

www.informeagropecuario.com.br

Análise da viabilidade econômica na implantação de sistemas de irrigação

Flávio Gonçalves Oliveira¹, Allan Cunha Barros², Marcelo Rocha dos Santos³, João Batista Ribeiro da Silva Reis⁴

Resumo - Todo e qualquer investimento em uma estrutura produtiva requer análise da viabilidade econômica, e com um sistema de irrigação não haveria de ser diferente. Por mais que o produtor rural saiba que a implantação de um sistema de irrigação irá proporcionar aumento da produtividade e, conseqüentemente, da produção total, é imprescindível avaliar se esse aumento da renda será suficiente para cobrir os custos do investimento e da manutenção ao longo da vida útil do equipamento. A utilização de metodologias simples, que avaliem a relação benefício/custo, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, possibilita uma resposta mais concisa e simples sobre a viabilidade econômica de se investir na implantação de um sistema de irrigação numa atividade agrícola.

Palavras-Chave: Sistema de Produção. Agricultura irrigada. Custo. Valor Presente Líquido. Taxa Interna de Retorno.

Analysis of the economic feasibility of implementing irrigation systems

Abstract - Any investment in a productive structure requires an analysis of economic viability, and with an irrigation system it would be no different. As much as the farmer knows that the implementation of an irrigation system will provide increased productivity and as a result of total production, it is essential to assess whether this increase in income will be sufficient to cover costs of investment and maintenance throughout useful life of the equipment. The use of simple methodologies that evaluate benefit/cost ratio, net present value and internal rate of return, enables a more concise and simple answer about economic viability of investing in the implementation of an irrigation system in an agricultural activity.

Keywords: Production system. Irrigated agriculture. Cost. Net present value. Internal rate of return.

INTRODUÇÃO

A propriedade agrícola deve ser tratada como empresa, cabendo ao produtor rural realizar um estudo de viabilidade econômica para a cultura a ser implantada, levando em conta o histórico climatológico, a logística e o estudo de mercado (FRIZZONE, 1999). Na análise de viabilidade econômica, o produtor terá como estimar os custos, as receitas e os benefícios da implantação da irrigação, e assim, saberá se é viável ou não fazer o investimento no

sistema de irrigação, qual modelo deve ser implantado, qual o tipo de bombeamento, qual a jornada de trabalho do sistema de irrigação e em qual época do ano é mais viável plantar e colher.

O modelo determinado por Marques, Marques e Coelho (1999), por meio de equações, calcula os custos fixos (CFs), custos variáveis (CVAs), custos totais anuais (CTs), receitas, benefício líquido (BL) e o benefício/custo (B/C). Por meio desses parâmetros é possível avaliar a

viabilidade do investimento. Este modelo apresenta resultados de fácil entendimento ao produtor rural.

Portanto, objetivou-se com este estudo, demonstrar o modelo de viabilidade e apresentar resultados de implantação de sistemas de irrigação em diferentes cenários.

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para que exista sucesso em um investimento, tem-se a necessidade de atentar

¹ Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. UFMG - Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com.

² Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. UFAL, Arapiraca, AL, allan.cunha@arapiara.ufal.br.

³ Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. IF Baiano - Campus Guanambi, Guanambi, BA, marcelo.rocha@ifbaiano.edu.br.

⁴ Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbsreis@epamig.br.

aos custos e benefícios que serão obtidos, assim como aos recursos necessários para implantação do determinado projeto.

A viabilidade econômica avalia a rentabilidade de um investimento por meio da projeção do dinheiro no tempo, considerando os custos e benefícios trazidos por esse investimento. Já a viabilidade financeira avalia a disponibilidade de recursos para realização de um investimento, considerando os valores de investimento, os custos, rendimentos e receitas, entre outros (HARTZER; SOUZA; DUCLÓS, 2013).

Para fins de análise econômica, o termo “custo” é entendido como o valor a ser pago ao proletariado ou fornecedores, para que as atividades de uma determinada empresa não parem de produzir (HOFFMANN *et al.*, 1987). Os custos são classificados em fixos e variáveis, os CFs são os que não possuem alteração quando ocorre um aumento ou diminuição da quantidade produzida, e os CVAs por sua vez possuem alterações quando ocorre um aumento de produção ou diminuição. Já para Padoveze (2004) custos são os gastos, não investimentos, necessários para fabricar os produtos da empresa. São os gastos efetuados pela empresa que farão nascer os seus produtos. Portanto, pode-se dizer que os custos são os gastos relacionados com os produtos, posteriormente ativados quando os produtos, objeto desses gastos, forem gerados.

A análise econômica de um projeto, sob o ponto de vista privado, compara os benefícios e os custos, em termos monetários, em uma base de tempo comum. Segundo Frizzone e Andrade Júnior (2005), os encargos de produção são classificados como CTs e CVAs. Os CTs não variam com a quantidade produzida e, nos projetos de irrigação, incluem impostos e taxas, contribuições, depreciações e juros sobre o capital investido, dentre outros, e correspondem aos custos de investimento ou de capital. De acordo com Jobim (2007), os CVs alteram-se de acordo com o nível de produção da empresa e, no projeto de irrigação, correspondem aos dispêndios

com a operação do sistema de irrigação, manutenção e reparos dos equipamentos, infraestrutura utilizada na operação, mão de obra e com a água.

Esses custos operacionais são funções do volume de água requerido, que depende da necessidade hídrica da cultura, condição climática e da eficiência da irrigação. Na análise econômica, os benefícios representam o valor bruto da produção (VBP) que, em projetos de irrigação, correspondem ao acréscimo de produção, multiplicado pelo preço pago ao produtor (JOBIM, 2007).

Segundo Frizzone (1999), a depreciação é um custo indispensável para substituir os bens de capital de longa duração, quando não se pode mais utilizá-los, por desgastes físicos causados pelo uso, ou pela perda de valor, pois novos produtos adentram no mercado, ou ainda, estes não geram mais receitas.

Na agricultura irrigada, uma produção eficiente e rentável deve constituir o principal objetivo econômico, buscando sempre receitas maiores que os custos ou, no mínimo, que as receitas e despesas sejam iguais. Dessa maneira, é importante conhecer o grau de risco envolvido na aquisição de novas tecnologias. Estes riscos são decorrentes de incertezas econômicas proporcionadas pela variação do preço de venda do produto, taxa de juros, custos da água, vida útil do sistema de irrigação e taxa de manutenção ocorrida com o manejo do sistema de irrigação, bem como variação na produtividade ao longo dos anos. Entretanto, a viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção entre os agricultores (FRIZZONE; BOTREL; FREITAS, 1994). A agricultura irrigada exige alto investimento, principalmente em obras e aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água, além de gastos com energia e mão de obra para operação do sistema, os quais representam importantes custos adicionais, que devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pela irrigação (RODRIGUEZ, 1990).

Assim, a irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema (SILVA; FARIA; REIS, 2003).

Análise da viabilidade econômica

O CT na produção agrícola pode ser dividido em CF e CVA (MAROUELLI; SILVA, 1998; FRIZZONE, 1999), obtido conforme Equação 1.

$$CT = CF + CV \quad (1)$$

em que:

CT= custo total (R\$/ha/ano);

CF= custo fixo (R\$/ha/ano);

CV= custo variável (R\$/ha/ano).

Os CFs são os que ocorrem independentemente do número de horas anuais de operação do sistema de irrigação. Para obtê-los, utiliza-se o Fator de Recuperação de Capital (FRC), o qual leva em consideração os juros anuais e fornece um coeficiente que permite, a partir do valor do investimento, calcular o CF anual referente a esse investimento (FRANCISCO, 1991; CAMARGO, 1998), conforme Equação 2.

$$CF = FRC \cdot PS + FRC_{rede} \cdot CE \quad (2)$$

em que:

FRC = fator de recuperação de capital da irrigação (adimensional);

PS = preço de aquisição do sistema de irrigação (R\$);

FRC_{rede} = fator de recuperação de capital da rede elétrica (adimensional);

CE = custo anual da rede elétrica (R\$/ha/ano).

O fator de recuperação do capital é calculado pela Equação 3.

$$FCR = \frac{\frac{J}{100} \cdot \left(\frac{J}{100}\right)^{VU}}{\left(\frac{J}{100} + 1\right)^{VU} - 1} \quad (3)$$

em que:

J = taxa anual de juros (%);

VU = vida útil do projeto (anos).

A vida útil de um equipamento de irrigação é variável e depende muito da manutenção realizada nesse equipamento ao longo do tempo, por outro lado cada componente do sistema de irrigação tem uma vida útil individualizada (ZOCOLER, 2003), mas de maneira geral, segundo Keller e Bliesner (1990), a vida útil de sistemas de irrigação pode ser considerada entre 10 e 25 anos. Particularmente a vida útil de 15 anos é razoável para sistemas de irrigação fixos.

Os custos variáveis anuais da irrigação envolvem os custos de energia, manutenção, mão de obra e custo da água (MAROUELLI; SILVA, 1998), conforme Equação 4. Segundo Frizzone (1999), o tipo de motor, elétrico ou a combustão, é um parâmetro de grande efeito sobre os custos.

$$CVA = CEN + CM + CA + MO \quad (4)$$

em que:

CVA = custo variável (R\$/ha/ano);

CEN = custo da energia elétrica (R\$/ha/ano);

CM = custo de manutenção do sistema de irrigação (R\$/ha/ano);

CA = custo da água (R\$/ha/ano);

MO = custo da mão de obra (R\$/ha/ano).

O custo anual da energia elétrica é expresso pela soma do faturamento da demanda e do faturamento de consumo ajustados pelo fator de potência (FRIZZONE, 1999), conforme Equação 5.

$$CEN = (DA + CA) \cdot \left(\frac{0,92}{\cos(FP)} \right) \quad (5)$$

em que:

DA = demanda anual de energia elétrica (R\$/ha/ano);

CA = consumo anual da energia elétrica (R\$/ha/ano);

FP = Fator de potência (adimensional).

O custo de manutenção é dado pelo custo da energia e o potencial de manutenção, obtido pela Equação 6.

$$CM = CE \cdot \left(\frac{PM}{100} \right) \quad (6)$$

em que:

CM = custo de manutenção (R\$/ha/ano);

PM = potencial de manutenção (%).

Outra forma de estimar o custo de manutenção é utilizando um porcentual do custo de aquisição do sistema de irrigação. Zocoler (2003) apresenta uma tabela com porcentuais individualizados para cada componente do sistema de irrigação, mas por questões de praticidade sugere-se de forma geral trabalhar com 5% do valor de aquisição do equipamento de irrigação.

O custo da água considera a evapotranspiração da cultura (ETc), os dias irrigando por mês, o número de meses por ano e o preço da água, conforme Equação 7.

$$CA = (ETc \cdot DO \cdot M \cdot PA) + K2 \quad (7)$$

em que:

CA = custo da água (R\$/m³);

ETc = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

PA = preço da água (R\$/m³);

DO = dias de operação por mês (dias);

M = quantidade de meses de operação (meses);

K2 = componente da tarifa d'água (R\$/ano).

O custo da mão de obra necessária para a irrigação é obtido considerando-se o salário médio pago e o número de funcionários por hectare. Nesse cálculo, incluem-se os encargos pagos sobre o salário (férias, 13º salário, INSS e INSS do 13º salário) (MAROUELLI; SILVA, 1998; FRIZZONE, 1999), obtido pela Equação 8.

$$MO = S [1 + (F + T + I + IT) \cdot NF] \quad (8)$$

em que:

S = salário mensal (R\$/mês);

F = encargos de férias (%);

T = encargos do 13º (%);

I = encargos do INSS e FGTS (%);

IT = encargos do INSS e FGTS do 13º (%);

NF = número de funcionários para manejo (homens/ha).

A receita bruta irrigada é obtida pela produtividade irrigada e pelo preço pago ao produtor, calculada conforme Equação 9. Da mesma forma, obtém-se a receita bruta de sequeiro, que considera a produtividade de sequeiro e o preço pago ao produtor (Equação 10).

$$RI = YI \cdot PP \quad (9)$$

em que:

RI = receita bruta irrigada (R\$/ha/ano);

YI = produtividade irrigada (kg/ha/ano);

PP = preço pago ao produtor (R\$/kg).

$$RS = YS \cdot PP \quad (10)$$

em que:

RS = receita bruta de sequeiro (R\$/ha/ano);

YS = produtividade de sequeiro (R\$/ha/ano).

O benefício líquido anual é calculado como a diferença entre o benefício bruto da irrigação e o custo da irrigação, isto é, o benefício líquido anual só terá valor superior a zero quando o incremento de renda, por causa da irrigação, for superior aos custos da irrigação (Equação 11) (CLARK; JACOBSON; OLSON, 1993).

$$BL = (RI - CP - CTA) - (RS - RI) \quad (11)$$

em que:

BL = benefício líquido (R\$/ha/ano);

CP = custo de produção independentemente da irrigação (R\$/ha);

CTA = custo total anual da irrigação (R\$/ha/ano).

A relação B/C consiste na razão entre os benefícios anuais e os custos anuais, a qual avalia quanto o projeto remunera por unidade de investimento. Um projeto deve apresentar B/C maior que a unidade para que seja viável e, quanto maior for essa relação, mais atraente será o projeto (Equa-

ção 12) (CLARK; JACOBSON; OLSON, 1993; FRIZZONE; SILVEIRA, 2000).

$$BC = \frac{BL}{CTA} \quad (12)$$

em que:

BC = relação benefício/custo (adimensional).

Os índices anteriormente mencionados (BL e B/C) são mais usuais quando se analisam os fluxos de caixa a cada ano. Entretanto, a análise econômica a longo prazo deve prevalecer quando se avalia a viabilidade econômica de um investimento, e nesse caso os índices mais comumente utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de recuperação do capital (Payback).

Valor Presente Líquido

O VPL é um método que apresenta quatro variáveis: valor investido, quanto gera de fluxo de caixa, quando o fluxo de caixa deve ocorrer e qual o risco associado a esse fluxo de caixa. Essas variáveis são associadas ao cálculo do valor presente do fluxo de caixa esperado menos o investimento inicial. Para que o projeto seja aceito, o VPL deve ser maior que zero (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

Para Casarotto Filho e Kopittke (2008), o VPL é descrito, algebricamente, como o somatório dos fluxos de caixa descontados do projeto em análise. Como tem que considerar o valor do dinheiro no tempo, não se pode somar diretamente os fluxos de caixa envolvidos sem antes ajustá-los a uma taxa de desconto. Escolhe-se a opção que apresenta melhor VPL. A taxa utilizada para desconto do fluxo (trazer para o valor presente) é a TIR.

Conforme Hirschfeld (1989), o método VPL tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios.

Segundo Silva *et al.* (2007), o VPL de um projeto de investimento é igual a dife-

rença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa, associadas ao projeto, e o investimento inicial necessário, com o desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa “K” definida pela empresa.

O VPL resulta em um excedente ou em perda de riqueza no final do período comparado ao valor investido no projeto, considerando todos os fluxos de caixa. Para gerar excedente, seu valor precisa ser maior que zero e, se caso ocorra o contrário, implica-se que gera um prejuízo com aquele custo de capital.

O VPL é designado como método do fluxo de caixa descontado conforme Equação 13.

$$VPL = -I \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n} \quad (13)$$

em que:

I = investimento inicial (R\$);

FCt = fluxo de caixa líquido no ano “t” (R\$);

n = período de análise do projeto ou número de anos do fluxo de caixa (ano);

r = taxa de desconto definida pela empresa (%);

VR = valor residual do projeto ao final do período de análise (enésimo período) (R\$).

Taxa Interna de Retorno

A TIR pode ser relacionada com o VPL. Quando o custo de capital for menor que a TIR, o projeto deve ser aceito e o VPL será maior que zero (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

Conforme Newnan e Lavelle (2000), a TIR é definida como a taxa de juros paga sobre o saldo devedor de um empréstimo, de tal forma que o esquema de pagamento reduz a zero esse saldo quando se faz o pagamento.

A TIR é a taxa de juros recebida para um investimento que consiste em pagamentos (valores negativos) e receitas (valores positivos) que ocorrem em períodos regulares. Nos valores do fluxo de caixa para o cálculo,

deve conter pelo menos um valor positivo e um negativo para calcular a TIR, assim obtém-se no ano zero um valor negativo (já que é um desembolso) e os demais positivos. A TIR está intimamente relacionada com o VPL, e seu valor será obtido quando o VPL for igual a zero. Assim, quando o custo de capital for menor que a TIR, o projeto é aceito (VPL maior que zero).

A utilização da TIR dá-se por comparação a um valor esperado do retorno do investimento, comumente chamado taxa mínima de atratividade de retorno (TMAR). Se a TIR avaliada for maior do que a TMAR, então o investimento é viável, em caso contrário, não será aceito. Quando se compara vários investimentos, o que apresentar maior TIR é o mais viável financeiramente.

Payback

O método de Payback considera o tempo de retorno do capital. Indica o prazo máximo para a recuperação do investimento, podendo assim analisar a viabilidade do projeto. O valor investido é somado, período a período, aos fluxos de caixa líquidos gerados, para obter o tempo de recuperação do investimento inicial. Ocorre quando a soma dos fluxos de caixa futuros se iguala ao investimento aplicado inicialmente (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

Considerado por Casarotto Filho e Kopittke (2008), o principal método não exato, mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial. Genericamente pode-se dizer que registra o tempo médio para os fluxos de caixa equipararem-se ao valor do investimento.

Em estudo realizado por Lopes (2014), encontrou-se que o dimensionamento de projetos de microaspersão para a cultura da banana na região de Janaúba, no Norte de Minas Gerais, é mais viável economicamente, com a utilização da jornada diária de irrigação de 15 horas, apresentando uma TIR de 64,93% ao ano, VPL positiva e Payback de 2 anos e 7 meses.

Soares (2009) em estudo realizado para a cultura da cana-de-açúcar irrigada com pivô central e cultivada em Pirapora, MG, apresentou a maior viabilidade econômica para a jornada de trabalho do sistema de irrigação de 18 horas. O Payback encontrado foi de 2 anos e 10 meses, o VPL foi positivo e a TIR foi de 35,9% ao ano.

Estudo da viabilidade econômica da implantação de sistemas de irrigação em mangueira 'Palmer'

Os cenários de investimento são os seguintes:

- a) 1 hectare de mangueira 'Palmer' implantada no espaçamento de 6 x 5 m (320 plantas/ha) irrigada por microaspersão;
- b) 1 hectare de mangueira 'Palmer' implantada em condição de superadensamento, 5 x 1,5 m (1.320 plantas/ha) irrigada por gotejamento, em faixa contínua molhada.

Os custos envolvidos na aquisição dos sistemas de irrigação automatizada são de R\$ 9.254,90 e R\$ 10.555,30, para a microaspersão e o gotejamento, respectivamente, os custos para implantação de 1 hectare de mangueira no sistema tradicional e superadensado são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Foram considerados os custos de instalação e manutenção do pomar de mangueira nos dez primeiros anos, conforme Araújo (2004), com preços atualizados.

Nessas análises, foi considerado no custo da água, a taxa K2 fixa de R\$ 150,00 cobrada mensalmente, mais uma taxa K2 variável de R\$ 0,04/m³ de água utilizada. Como a condução de água é por gravidade, esta taxa é diferente de outros perímetros que utilizam bombeamento para condução da água. Com relação ao custo de manutenção da energia, considerou-se o potencial de manutenção de 2%.

Na análise, considerou-se que o plantio foi realizado no início da estação chuvosa, com chuvas em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, e as médias

quinzenais da evapotranspiração de referência (ET_o) para o Perímetro Irrigado de Ceraíma estão apresentadas na Tabela 3. Para obtenção da ET_c, usou-se o coeficiente de cultivo (K_c) da mangueira conforme Simão, Mantovani e Simão (2004) (Tabela 4) e o coeficiente de localização (K_l) de 0,65 para a microaspersão com emissor de diâmetro molhado de 5 m e K_l de 0,25 para irrigação por gotejamento com faixa contínua molhada. Assim, para efeito do consumo de energia, o tempo de irrigação diário para cada sistema de irrigação nos quatro anos de cultivo é apresentado na Tabela 5, para os demais anos o tempo de irrigação se repete conforme o quarto ano.

Considerou-se a produtividade da mangueira 'Palmer' no plantio tradicional irrigado, de 15, 20 e 25 t/ha no quarto, quinto e sexto ano em diante, respectivamente. No plantio adensado e irrigado, a produtividade foi de 15, 25, 35 e de 45 t/ha, no terceiro, quarto, quinto e sexto ano em diante, respectivamente, e a produtividade de sequeiro de 5 t/ha. Para efeito de cálculo da receita bruta irrigada e de sequeiro, adotou-se o preço do quilograma da manga 'Palmer' de R\$ 2,50 para o produtor na região de Livramento de Nossa Senhora, BA, e o preço médio de R\$ 1,73 o kg da manga 'Palmer' referente ao ano de 2019 no Vale do São Francisco.

A análise com diferentes valores do preço pago ao produtor foi em função da variação de preço ao longo do ano e para efeito da comparação dos dois sistemas de plantio. Uma vez que no plantio com adensamento de 320 plantas por hectare, opta-se pelo início da produção no quarto ano, quando as plantas estão com melhor desenvolvimento e com arquitetura foliar que possibilita a obtenção de produtividades rentáveis. Por outro lado, no plantio superadensado, com 1320 plantas por hectare, pelo efeito das plantas estarem próximas uma da outra, não é necessário que o desenvolvimento das plantas sejam semelhantes ao aden-

samento tradicional. Adicionalmente, mesmo em baixa produção por planta no terceiro ano, por causa do maior número de plantas por unidade de área, a produtividade é satisfatória, podendo alcançar 45 t/ha ou mais, conforme registros de produtores e consultores do Vale do São Francisco, especificamente em Petrolina, PE.

Verifica-se que é viável o uso dos sistemas de irrigação na produção de manga 'Palmer' (Tabela 6), entretanto, no plantio tradicional sob microaspersão, o produtor terá retorno financeiro após o sexto ano de cultivo, desde que consiga fazer a indução floral para colheita no mês de maio. Por outro lado, no plantio superadensado sob gotejamento, no quinto ano, o produtor consegue o retorno financeiro mesmo com colheita da produção nos meses de novembro a janeiro, quando os preços são menores.

Quando os irrigantes implantam culturas como a mangueira que inicia a produção no terceiro ou quarto ciclo, geralmente trabalham em consórcio com alguma cultura anual, como feijão, melancia, mandioca, etc. Nesse caso, há aproveitamento do mesmo sistema de irrigação ou com pequena adaptação, da mesma mão de obra e apenas com um aditivo do custo de produção do cultivo anual, independentemente da irrigação, assim, com o lucro obtido com a cultura anual, é possível liquidar os custos iniciais com a fruteira, no caso a mangueira.

Na presente análise de viabilidade econômica, verificou-se que a TIR foi de 30% e 40% ao ano, o VPL positivo de R\$ 165.984,19 e R\$ 257.427,08, e Payback de 6 e 5 anos, para o plantio tradicional sob microaspersão e superadensado sob gotejamento, respectivamente. Esses valores demonstram que os sistemas de produção irrigada são viáveis economicamente, entretanto, o sistema de plantio superadensado irrigado por gotejamento tem melhores índices e por isso melhor viabilidade.

Tabela 1 - Custo de implantação e manutenção de 1 hectare de mangueira 'Palmer' em plantio tradicional, na região do Submédio São Francisco

| Discriminação | Unidade | R\$/Unidade | Ano 1 | | Ano 2 | | Ano 3 | | Ano 4 | | Ano 5 | | Ano 6 ao 10 | |
|--|---------|--------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor |
| Corretivo de solo | Kg | 0,46 | 2.500 | 1.150,00 | 125 | 57,50 | 125 | 57,50 | 250 | 115,00 | 250 | 115,00 | 250 | 115,00 |
| Adubo orgânico | m³ | 41,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 |
| Adubo químico | Kg | 0,60 | 610 | 366,00 | 735 | 441,00 | 762 | 457,20 | 990 | 594,00 | 1195 | 717,00 | 1225 | 735,00 |
| Adubo foliar | L | 35,00 | 2,5 | 87,50 | 11 | 385,00 | 15 | 525,00 | 17 | 595,00 | 27 | 945,00 | 33 | 1.155,00 |
| Muda | Un | 6,00 | 320 | 1.920,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Tutor | Un | 1,00 | 320 | 320,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Espalhante adesivo | L | 9,80 | 1 | 9,80 | 1 | 9,80 | 2 | 19,60 | 3 | 29,40 | 5 | 49,00 | 7 | 68,60 |
| Fungicida | Kg | 50,00 | 4 | 200,00 | 21 | 1.050,00 | 30 | 1.500,00 | 31 | 1.550,00 | 45 | 2.250,00 | 57 | 2.850,00 |
| Inseticida | L | 142,00 | 1 | 142,00 | 6 | 852,00 | 8 | 1.136,00 | 9 | 1.278,00 | 12 | 1.704,00 | 15 | 2.130,00 |
| Formicida | Kg | 7,00 | 2 | 14,00 | 2 | 14,00 | 2 | 14,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Cobertura morta | t | 0,00 | 5 | 0,00 | 5 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 |
| Água | Mil m³ | 0,04 + ⁽¹⁾ K2 | 3,04 | 1.921,49 | 6,09 | 2.043,55 | 7,08 | 2.083,20 | 12,04 | 2.281,44 | 12,04 | 2.281,44 | 12,04 | 2.281,44 |
| Indutor floral (hormônio) | L | 400,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2,5 | 1.000,00 | 4 | 1.600,00 | 5 | 2.000,00 |
| Indutor floral (sal) | Kg | 3,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 200 | 600,00 | 300 | 900,00 | 350 | 1.050,00 |
| Escora | Un | 1,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2.880 | 2.880,00 | 2.880 | 2.880,00 | 0 | 0,00 |
| Subtotal | | | | 6.745,79 | | 5.467,85 | | 6.407,50 | | 11.537,84 | | 14.056,44 | | 13.000,04 |
| Calagem, aração, gradagem | h/m | 100,00 | 6,5 | 650,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Coveamento e adubação de fundação | d/H | | 23 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Plantio e tutoramento | d/H | | 11 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Adubação de manutenção | d/H | | 4 | 0,00 | 20 | 0,00 | 16 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Adubação de cobertura | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 16 | 0,00 | 16 | 0,00 | 16 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Pulverização manual | d/H | | 5 | 0,00 | 17 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Roçagem manual e poda | d/H | | 28 | 0,00 | 34 | 0,00 | 26 | 0,00 | 30 | 0,00 | 30 | 0,00 | 34 | 0,00 |
| Pulverização mecânica | h/m | 100,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 12 | 1.200,00 | 15 | 1.500,00 | 20 | 2.000,00 | 24 | 2.400,00 |
| ⁽²⁾ Irrigação | d/H | | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Roçagem mecanizada e transporte interno | h/m | | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 8 | 0,00 | 9 | 0,00 | 10 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Colocação de cobertura morta | d/H | | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Aplicação de indutor floral | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2 | 0,00 | 2 | 0,00 | 2 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Escoramento | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 12 | 0,00 | 20 | 0,00 | 25 | 0,00 |
| ⁽²⁾ Colheita | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 12 | 0,00 | 18 | 0,00 | 20 | 0,00 |
| Subtotal | | | | 650,00 | | 0,00 | | 1.200,00 | | 1.500,00 | | 2.000,00 | | 2.400,00 |
| Total | | | | 7.395,79 | | 5.467,85 | | 7.607,50 | | 13.037,84 | | 16.056,44 | | 15.400,04 |

Fonte: Adaptado de Araújo (2004).

Nota: un - unidade; h/m - hora/máquina; d/H - dia/homem.

(1) K2 é um componente da tarifa d'água (R\$/ano). (2) Não considerou valores, uma vez que já consta a mão de obra de um funcionário na análise de viabilidade econômica.

Tabela 2 - Custo de implantação e manutenção de 1 hectare de mangueira 'Palmer' em plantio superadensado, na região do Submédio São Francisco

| Discriminação | Unidade | R\$/Unidade | Ano 1 | | Ano 2 | | Ano 3 | | Ano 4 | | Ano 5 | | Ano 6 ao 10 | |
|--|--------------------|-------------|------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor | Quantidade | Valor |
| Corretivo de solo | Kg | 0,46 | 2500 | 1.150,00 | 125 | 57,50 | 125 | 57,50 | 250 | 115,00 | 250 | 115,00 | 250 | 115,00 |
| Adubo orgânico | m ³ | 41,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 | 15 | 615,00 |
| Adubo químico | Kg | 0,60 | 610 | 366,00 | 735 | 441,00 | 762 | 457,20 | 990 | 594,00 | 1195 | 717,00 | 1.225 | 735,00 |
| Adubo foliar | L | 35,00 | 2,5 | 87,50 | 11 | 385,00 | 15 | 525,00 | 17 | 595,00 | 27 | 945,00 | 33 | 1.155,00 |
| Muda | Un | 6,00 | 1320 | 7.920,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Tutor | Un | 1,00 | 1320 | 1.320,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Espalhante adesivo | L | 9,80 | 1 | 9,80 | 1 | 9,80 | 2 | 19,60 | 3 | 29,40 | 5 | 49,00 | 7 | 68,60 |
| Fungicida | Kg | 50,00 | 4 | 200,00 | 21 | 1.050,00 | 30 | 1.500,00 | 31 | 1.550,00 | 45 | 2.250,00 | 57 | 2.850,00 |
| Inseticida | L | 142,00 | 1 | 142,00 | 6 | 852,00 | 8 | 1.136,00 | 9 | 1.278,00 | 12 | 1.704,00 | 15 | 2.130,00 |
| Formicida | Kg | 7,00 | 2 | 14,00 | 2 | 14,00 | 2 | 14,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Cobertura morta | t | 0,00 | 5 | 0,00 | 5 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 |
| Água | Mil m ³ | 0,04+(1)K2 | 1,17 | 1.846,73 | 1,52 | 1.860,89 | 1,77 | 1.870,80 | 3,00 | 1.920,36 | 3,00 | 1.920,36 | 3,00 | 1.920,36 |
| Indutor floral (hormônio) | L | 400,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2,5 | 1.000,00 | 2,5 | 1.000,00 | 4 | 1.600,00 | 5 | 2.000,00 |
| Indutor floral (sal) | Kg | 3,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 200 | 600,00 | 200 | 600,00 | 300 | 900,00 | 350 | 1.050,00 |
| Escora | Un | 1,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 3.960 | 3.960,00 | 3960 | 3.960,00 | 3.960 | 3.960,00 | 3.960 | 3.960,00 |
| Subtotal | | | | 13.671,03 | | 5.285,19 | | 11.755,10 | | 12.256,76 | | 14.775,36 | | 16.598,96 |
| Calagem, Aração, gradagem | h/m | 100,00 | 6,5 | 650,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| (1)Coveamento e adubação de fundação | d/H | | 23 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| (1)Plantio e tutoramento | d/H | | 11 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| (1)Adubação de manutenção | d/H | | 4 | 0,00 | 20 | 0,00 | 16 | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 |
| (1)Adubação de cobertura | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 16 | 0,00 | 16 | 0,00 | 16 | 0,00 |
| (1)Pulverização manual | d/H | | 5 | 0,00 | 17 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| (1)Roçagem manual e poda | d/H | | 28 | 0,00 | 34 | 0,00 | 26 | 0,00 | 30 | 0,00 | 30 | 0,00 | 34 | 0,00 |
| Pulverização mecânica | h/m | 100,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 12 | 1.200,00 | 15 | 1.500,00 | 20 | 2.000,00 | 24 | 2.400,00 |
| (1)Irrigação | d/H | | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| (1)Roçagem mecanizada e transporte interno | h/m | | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 8 | 0,00 | 9 | 0,00 | 10 | 0,00 |
| (1)Colocação de cobertura morta | d/H | | 8 | 0,00 | 8 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| (1)Aplicação de indutor floral | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2 | 0,00 | 2 | 0,00 | 2 | 0,00 |
| (1)Escoramento | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 12 | 0,00 | 20 | 0,00 | 25 | 0,00 |
| (1)Colheita | d/H | | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 10 | 0,00 | 12 | 0,00 | 18 | 0,00 | 20 | 0,00 |
| Subtotal | | | | 650,00 | | 0,00 | | 1.200,00 | | 1.500,00 | | 2.000,00 | | 2.400,00 |
| Total | | | | 14.321,03 | | 5.285,19 | | 12.955,10 | | 13.756,76 | | 16.775,36 | | 18.998,96 |

Fonte: Adaptado de Araújo (2004).

Nota: un - unidade; h/m - hora/máquina; d/H - dia/homem.

(1) K2 é um componente da tarifa d'água (R\$/ano). (2) Não considerou valores, uma vez que já consta a mão de obra de um funcionário na análise de viabilidade econômica.

Tabela 3 - Evapotranspiração de referência (ET_o) para Ceraíma, Guanambi, BA

| Quinzena | Meses | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Maio | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. |
| Primeira | 6,15 | 5,70 | 6,10 | 5,45 | 5,25 | 5,10 | 5,10 | 5,95 | 6,90 | 7,55 | 5,55 | 5,10 |
| Segunda | 6,25 | 5,90 | 5,25 | 5,45 | 5,25 | 4,90 | 5,60 | 6,25 | 7,45 | 6,65 | 5,55 | 5,95 |

Fonte: Dados obtidos por levantamentos apurados em oito anos pela estação meteorológica instalada no Setor de Agricultura do IF Baiano, Campus Guanambi.
Elaboração dos autores.

Tabela 4 - Valores sugeridos de coeficiente de cultivo (Kc) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da mangueira cultivada na região Norte de Minas Gerais

| Fase | Estádios de desenvolvimento | Duração (dias) | Kc |
|------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------|
| Crescimento vegetativo | 0 - 6 meses | 180 | 0,30 |
| | 7 - 12 meses | 180 | 0,35 |
| | 13 - 18 meses | 180 | 0,40 |
| | 19 - 24 meses | 180 | 0,45 |
| | 25 - 36 meses | 360 | 0,55 |
| Produção | Indução floral - PBZ | 90 -120 | 0,75 - 0,85 |
| | Indução floral - NO ₃ | 15 | 0,20 - 0,30 |
| | Floração + frutificação | 105 | 0,80 - 0,90 |
| | Colheita + preparo p/ próxima safra | 45 | 0,50 - 0,60 |
| | Desenvolvimento dos ramos | 70 - 90 | 0,60 - 0,70 |

Fonte: Simão, Mantovani e Simão (2004).

Nota: PBZ - Paclobutrazol.

Tabela 5 - Tempo de irrigação para a microaspersão e para o gotejamento durante os quatro primeiros anos de cultivo da mangueira 'Palmer'

| Sistema | Tempo de irrigação (h) | | | |
|---------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 |
| Microaspersão | 0,76 | 1,00 | 1,15 | 1,96 |
| Gotejamento | 2,25 | 0,33 | 0,38 | 0,65 |

Fonte: Elaboração dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aquisição do sistema de irrigação é uma ação que o produtor rural reflete muito antes de fazer. No entanto, é comum a ausência de uma análise econômica mais aprofundada. Muitos questionamentos são feitos pelos futuros irrigantes: Qual método de irrigação adquirir? Qual tempo de irri-

gação considerar no projeto de irrigação para que tenha maior viabilidade econômica? É viável utilizar energia fotovoltaica para acionar o sistema de irrigação? Qual cultura devo implantar no sistema irrigado? Todos esses questionamentos podem ser respondidos de forma relativamente precisa quando se utilizam índices econômicos, cuja resposta mostrará qual a

melhor decisão. Dentre esses, a relação B/C, o VPL, a TIR, o Payback são os mais utilizados e podem direcionar o produtor na tomada de decisão mais acertada. Portanto, é essencial utilizar-se do conhecimento das análises econômicas para a obtenção de resultados que garantam o sucesso da atividade produtiva.

Tabela 6 - Resultado da Análise da viabilidade econômica para implantação do sistema de irrigação por microaspersão e por gotejamento para a mangueira 'Palmer'

| Variáveis | Plantio tradicional sob microaspersão | | | | | | Plantio adensado sob gotejamento | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | (1)Ano 6 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | (1)Ano 6 |
| Custo fixo anual (R\$/ha/ano) | 861,76 | 861,76 | 861,76 | 861,76 | 861,76 | 861,76 | 982,84 | 982,84 | 982,84 | 982,84 | 982,84 | 982,84 |
| Custo variável anual (R\$/ha/ano) | | | | | | | | | | | | |
| Energia (CEN) | 488,15 | 637,71 | 731,18 | 1.235,94 | 1.235,94 | 1.235,94 | 170,34 | 220,19 | 251,35 | 419,60 | 419,60 | 419,60 |
| Manutenção (CM) | 9,76 | 12,75 | 14,62 | 24,72 | 24,72 | 24,72 | 3,41 | 4,40 | 5,03 | 8,39 | 8,39 | 8,39 |
| Água (CA) | 1.921,49 | 2.043,55 | 2.083,20 | 2.281,44 | 2.281,44 | 2.281,44 | 1.846,73 | 1.860,89 | 1.870,80 | 1.920,36 | 1.920,36 | 1.920,36 |
| Mão de obra (MO) | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 | 9.464,40 |
| Produção (CP) | 5.474,30 | 3.424,30 | 5.524,30 | 10.756,40 | 13.775,00 | 13.118,60 | 12.474,30 | 3.424,30 | 11.084,30 | 11.836,40 | 14.855,00 | 17.078,60 |
| Sistema de irrigação | 9.254,90 | | | | | | 10.555,30 | | | | | |
| Custo total (R\$/ha/ano) | 27.474,76 | 16.444,47 | 18.679,46 | 24.624,66 | 27.643,26 | 26.986,86 | 35.497,32 | 15.957,02 | 23.658,72 | 24.631,99 | 27.650,59 | 29.874,19 |
| Preço pago ao produtor (R\$/kg) | | | | 2,50 | 2,50 | 2,50 | | | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,73 |
| Produtividade irrigada (t/ha) | | | | 15,00 | 20,00 | 25,00 | | | 15,00 | 25,00 | 35,00 | 45,00 |
| Produtividade de sequeiro (t/ha) | | | | 5,00 | 5,00 | 5,00 | | | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Receita Bruta Irrigada (RI)(R\$) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 37.500,00 | 50.000,00 | 62.500,00 | 0,00 | 0,00 | 25.950,00 | 43.250,00 | 60.550,00 | 77.850,00 |
| Receita Bruta Sequeiro (RS)(R\$) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12.500,00 | 12.500,00 | 12.500,00 | 0,00 | 0,00 | 8.650,00 | 8.650,00 | 8.650,00 | 8.650,00 |
| Lucro | -27.474,76 | -16.444,47 | -18.679,46 | 12.875,34 | 22.356,74 | 35.513,14 | -35.497,32 | -15.957,02 | 2.291,28 | 18.618,01 | 32.899,41 | 47.975,81 |
| Lucro acumulado | -27.474,76 | -43.919,23 | -62.598,69 | -49.723,35 | -27.366,61 | 8.146,53 | -35.497,32 | -51.454,34 | -49.163,06 | -30.545,05 | 2.354,36 | 50.330,17 |
| Payback | | | | | | 6 anos | | | | | | 5 anos |
| VPL (R\$) em 10 anos | | | | | | 165.984,19 | | | | | | 257.427,08 |
| TIR (%aa) em 10 anos | | | | | | 30 | | | | | | 40 |
| TMAR (% aa) | | | | | | 6 | | | | | | 6 |

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: VPL - Valor Presente Líquido; TIR - Taxa Interna de Retorno; TMAR - Taxa mínima de atratividade de retorno.

(1) Após o sexto ano, os valores permanecem os mesmos, com exceção para Lucro e Lucro acumulado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J.L.P. Custos de produção e rentabilidade da mangueira. In: MOUCO, M.A. do C. (ed.). **Cultivo da mangueira**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004. (Embrapa Semi-Árido. Sistemas de Produção, 2). Versão eletrônica. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111770/1/Cultivo-da-Mangueira-Sistema-de-producao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

BORDEAUX-RÊGO, R. *et al.* **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010. 164p.

CAMARGO, I. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico**. Brasília, DF: FINATEC, 1998. 157p.

CASAROTTO FILHO, N.C.; KOPITTKKE, B.H. **Análise de investimentos**. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CLARK, E.; JACOBSON, K.; OLSON, D.C. **Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria de Irrigação, 1993. 136p. (Manual de Irrigação, 3).

FRANCISCO, W. de. **Matemática financeira**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 1991. 319p.

FRIZZONE, J.A. **Planejamento da irrigação: uma abordagem às decisões de investimento**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1999. 110p.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de (ed.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina:

Embrapa Meio Norte, 2005. 626p.

FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FREITAS, H.A.C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em culturas de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994.

FRIZZONE, J.A.; SILVEIRA, S.F.R. Análise econômica de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. (ed.). **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p.449-617.

HARTZER, J.H.; SOUZA, A.; DUCLÓS, L.C. Método de Monte Carlo aplicado à análise de projeto: estudo de investimento em

um empreendimento hoteleiro. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 13., 2013, Porto, Portugal. **Anais**[...]. Porto: OTOC, 2013. Tema: Gestão pelos custos: um caminho em tempos de crise.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. 5.ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1987. 325p.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1989.

JOBIM, C.I.P. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos**: aplicação ao feijão irrigado no RS. 2007. 138f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 651p.

LOPES, R.G.N. **Análise econômica de dimensionamento de microaspersão de banana em função da jornada diária de irrigação**. Montes Claros: UFMG-ICA, 2014. 43p.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1998. 15p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 11).

MARQUES, P.A.A.; MARQUES, T.A.; COELHO, R.D. Programa Pupunha: software para avaliação econômica da irrigação da pupunha. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais**[...]. Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD-ROM. Tema: A engenharia agrícola: tendências e inovações.

NEWMAN, D.G.; LAVELLE, J.P. **Fundamentos da engenharia econômica**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 370p.

PADOVEZE, C.L. **Contabilidade gerencial**: um enfoque em sistema de informação contábil. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2004.

RODRIGUEZ, F. Custos e benefícios da irrigação no Brasil. **ITEM**: irrigação e tecnologia moderna, n.41, p.6-11, 1990.

SILVA, A.L da; FARIA, M.A. de; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p.37-44, jan./abr. 2003.

SILVA, F.N. et al. Abordagem determinística e de simulação de risco como instrumentos de análise de viabilidade financeira em investimentos imobiliários. **Revista de Negócios**, Blumenau, v.12, n.3, p.3-17, jul./set. 2007.

SIMÃO, A.H.; MANTOVANI, E.C.; SIMÃO, F.R. Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. *In*: ROZANE, D.E. et al. (org.). **Manga**: Produção Integrada, industrialização e comercialização. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.233-302.

SOARES, M.L. **Análise econômica de dimensionamento de pivô central para cana-de-açúcar no Norte de Minas Gerais em função da jornada diária**. Montes Claros: UFMG-ICA, 2009. 69p.

ZOCOLER, J.L. Análise econômica de sistemas de irrigação. *In*: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. p.653-703. (FUNEP. Série Engenharia Agrícola, 2).

LINHA DE MEDIDORES PARA O

AGRONEGÓCIO

Os medidores Woltmann SagaTech são ideais para o homem do campo que procura qualidade e inovação em seus projetos de irrigação, trazendo melhor controle dos recursos hídricos e maior produtividade para seu negócio.

Conheça nossa linha de produtos e soluções!



Central de atendimento:
3441-2731 / 3251-2204
+55 38 9931-0110



Projeto de piscinões para armazenamento de água para irrigação

Luiz Antonio Lima¹, João Batista Ribeiro da Silva Reis², Polyanna Mara de Oliveira³, João Paulo Gomes Ferraz Pinheiro⁴

Resumo - Alguns aspectos devem ser considerados para a implantação e execução do projeto de reservatórios, popularmente conhecidos como piscinões, que têm por objetivo armazenar água para uso em irrigação. Os reservatórios precisam ser tecnicamente bem dimensionados, com definição de inclinação de taludes, volumes de corte e aterro, revestimento de fundo para evitar perdas por infiltração, vertedor de segurança e proteção contra invasão de animais. A estratégia é abastecê-lo com água na vazão outorgada, por meio de bombeamento pelo maior tempo possível, principalmente nos meses chuvosos quando não é necessária a irrigação. Entretanto, torna-se imprescindível conhecer os aspectos legais a serem cumpridos junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Palavras chave:** Reservatório de água. Impermeabilização. Pivô central. Gotejamento

Designing off-river reservoirs for irrigation purposes

Abstract - Some aspects should be considered for designing and building reservoir to store water for irrigation. They need to be correctly designed by defining its geometry, soil volume fill/cut relationship, lining to avoid infiltration losses, safety weir and protection fence to avoid animal intrusion. They are filled with water pumping no more than the allowed flow rate, however, during the longest time possible, mainly during raining months when irrigation is not required. However, it becomes essential to know the legal aspects to be considered to register it at water regulatory agencies.

Keywords: Reservoir. Lining. Center pivot. Drip system.

INTRODUÇÃO

Os piscinões são reservatórios escavados no solo, fora da área de preservação permanente (APP) ou de reserva legal (RL), com objetivo de armazenar água durante os períodos de menor demanda pela irrigação (meses chuvosos), para ser utilizada nos meses de maior necessidade (período da seca). Em geral e sempre que possível, o volume de terra escavada é transformado em aterro para aumentar a capacidade de armazenamento. A vazão a ser extraída de córrego ou poço não pode exceder a vazão outorgada pelas institui-

ções de gestão hídrica como, por exemplo, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) em Minas Gerais. Como a água depositada no piscinão é, em geral, bombeada e por isso tem custo de bombeamento, o piscinão tem que ser revestido para evitar perdas por infiltração.

OUTORGA

O uso de água para irrigação requer autorização dos órgãos ambientais. A outorga de direito de uso de água é concedida em Minas Gerais pelo Igam, exceto em rios ou lagos formados por rios que banham

mais de um Estado em que a outorga é concedida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Em ambos os casos, a vazão máxima outorgável em determinado ponto do córrego ou lago é estimada a partir de uma vazão de referência. Tipicamente usa-se a $Q_{7,10}$ (Igam) ou a Q_{95} (ANA) como referências. O valor de $Q_{7,10}$ é interpretado como vazão de seca que pode ocorrer a cada 10 anos (tempo de recorrência), mas permanece por pelo menos 7 dias (duração). Já a Q_{95} refere-se à vazão que em 95% do tempo seu valor é superado pela vazão encontrada

¹ Eng. Agrícola, Ph.D., Prof. Tit. UFLA - Depto. Recursos Hídricos/Bolsista CNPq, Lavras, MG, lalima@ufla.br.

² Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br.

³ Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte, Nova Porteirinha, MG, polyanna.mara@epamig.br.

⁴ Arquiteto, Graduando Engenharia Agrícola UFLA, Lavras, MG, joao.pinheiro2@estudante.ufla.br.

no córrego. No caso de lagos, a vazão de referência é a do rio ou córrego formador do lago. Entre os rios de abrangência federal, é possível destacar em Minas Gerais o Rio Grande, Rio Paranaíba, Rio Doce e Rio São Francisco.

Muitos irrigantes questionam se não seria possível captar vazões maiores nos meses chuvosos ou então, captar durante maior número de dias do que o autorizado pelo Igam. Sabendo que nos meses chuvosos a demanda de irrigação é menor, a intenção dos irrigantes é, certamente, armazenar água para utilizar durante os meses mais secos do ano. Até então, isso somente seria possível com a construção de barragem ao longo do rio, estratégia com impactos ambientais de grande porte e que exige muitos cuidados técnicos para evitar rompimentos e danos ainda maiores. Recentemente, tem sido adotada em algumas regiões de Minas Gerais a construção de reservatórios fora da calha do rio ou córrego, popularmente designados como piscinões.

BENEFÍCIOS

Como os piscinões são construídos fora da calha do rio, pode-se concluir ser uma importante vantagem ambiental; pois é possível que não existirá supressão de vegetação em APP. Do ponto de vista de execução da obra, é mais simples construir reservatório fora de áreas inundáveis, tipicamente em solos mais estáveis. Pode-se observar na Figura 1 o piscinão construído na região de São Gotardo, MG.

Além de evitar danos em APPs, o piscinão permitirá ao irrigante utilizar água para irrigar uma área ainda maior do que a que seria irrigada com a vazão outorgada, calculada com base na $Q_{7,10}$. Obviamente, construir um piscinão requer procedimentos técnicos rigorosos e aprovação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) (IGAM, 2019). Esses procedimentos e aspectos legais estão apresentados a seguir.

Figura 1- Exemplo de piscinão



Fernando Faria

ASPECTOS LEGAIS

Em Minas Gerais, onde o rompimento de barragens trouxe recentemente grandes impactos, o Igam (2019) estabeleceu, por meio da Portaria nº 18, de 16/5/2019, que sejam apresentados os seguintes documentos para aprovação da construção do piscinão:

- a) Formulário de Cadastro de Reservatório (piscinão): este formulário requer definições de requerente, seja pessoa física seja pessoa jurídica, coordenadas georreferenciadas, volume do reservatório e altura do aterro (se houver). O formulário solicita ainda número de processos ou portarias de outorga associados ao uso do piscinão e identificação dos responsáveis técnicos pelo projeto e pela execução (construção);
- b) projeto hidráulico básico: deve conter vários itens como formato do piscinão e o balanço hídrico simulando sua utilização ao longo do ano, em face do consumo e da vazão outorgada. Detalhes do projeto serão apresentados no próximo item;

- c) Anotação de Responsabilidade Técnica (ART): deverá ser apresentada a ART conforme publicada pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (Crea);
- d) Plano de funcionamento e segurança da estrutura de terra compactada (piscinão): neste plano devem ser listadas bombas e suas características operacionais, bem como estrutura de segurança para o reservatório, ou seja: cercas, alambrados, placas de identificação e alerta, escada e boias salva-vidas;
- e) Plano de Ação Emergencial (PEA): exclusivamente para os artificios com alteamento superior a 15 m (quinze metros) de altura ou com capacidade de mais de 3 hectômetros (três milhões de metros cúbicos). Neste plano é preciso prever o rompimento do talude em diferentes pontos e como se dará o vazamento do volume armazenado, identificando a trajetória da onda a ser formada, os riscos associados e procedimentos preventivos e de

alerta caso isso venha a ocorrer. Além disso, o piscinão deve ser cercado. Na cerca devem ser instaladas placas de advertência proibindo a entrada de estranhos e alertando para os riscos associados.

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

São descritos a seguir importantes procedimentos técnicos para elaboração do projeto.

Levantamento topográfico planialtimétrico georreferenciado

É preciso identificar a superfície do terreno, ocorrência de pedras e cascalhos, acúmulo de solo orgânico, possíveis locais de empréstimo de terra para construção do aterro, caso não sejam previstos cortes, e elementos que possam apresentar obstáculos, como árvores, redes elétricas (sugere-se não construir piscinões sob redes elétricas), construções etc.

Coordenadas do local de captação e vazão outorgada

É preciso informar ao Igam o local da captação. As coordenadas identificando a latitude e longitude podem ser medidas com o sistema de posicionamento global – Global Positioning System (GPS), estimadas a partir de cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou a partir das imagens de satélite publicadas pelo aplicativo Google Earth. Existem basicamente dois formatos:

- a) graus, minutos e segundos (GMS);
- b) Universal Transversa de Mercator (UTM).

Também é preciso identificar o datum de referência. No caso do Google Earth, a referência é o WGS 84.

Balanco hídrico para área irrigada

Entradas

São consideradas como entradas, a vazão de entrada (vazão outorgada), captada em córregos, lagos ou águas subterrâneas. Também pode ser identificada como entrada a água de chuva que cair sobre o espelho d'água do piscinão. A possível entrada de escoamento superficial de alguma encosta deve ser evitada, pois altera o projeto de piscinão para barramento, o que requer outros procedimentos técnicos e legais.

Saídas

Basicamente existem três saídas (água para irrigação, água evaporada e água que pode infiltrar-se). O volume de água necessário para irrigação pode ser previsto facilmente com um projeto de irrigação bem elaborado. O volume de água que pode evaporar-se depende do clima e pode ser calculado. Este volume é conhecido como pegada hídrica (*footprint*) e é utilizado para calcular a relação benefício/água evaporada de lagos, tais como energia produzida/volume evaporado e, no caso de piscinões, um bom indicativo seria o volume armazenado/volume evaporado. O Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) divulga as Normas Climatológicas com dados mensais ao longo de 30 anos, inclusive chuvas, na sua página na internet¹.

Um exemplo de balanço hídrico pode ser visualizado na Tabela 1. No exemplo da Tabela 1, a área irrigada é de 260 ha. Neste exemplo, o cálculo do estoque em janeiro é definido como o volume captado (outorgado) de 246.078 m³ + volume captado em poço (também outorgado) de 46.035 m³ – o consumo na área irrigada atual (260 ha) de 180.471 m³, evaporação prevista de - 976 m³, negativo porque as chuvas no lago superaram no mês de janeiro a evaporação. O resultado é o ba-

lanço de 112.618 m³. Este seria o volume no reservatório no final de janeiro. Em fevereiro, o volume final seria este estoque + volume captado – consumo nas áreas irrigadas – evaporação, resultando em 161.588 m³. Quando o estoque ultrapassar 80 mil metros cúbicos (volume predefinido para o piscinão), o valor a ser considerado é o volume máximo do reservatório (80 mil m³). É possível perceber que o estoque não fica negativo em nenhum dos meses. Caso ficasse, o volume do reservatório teria que ser aumentado.

O balanço mensal ao longo de 36 meses é apresentado no Gráfico 1.

Definição do volume a ser armazenado

Considerando as entradas, as saídas e a área a ser beneficiada pelo piscinão, pode-se calcular o volume a ser armazenado. De posse do balanço hídrico, é possível prever mensalmente o enchimento e esvaziamento do piscinão. O balanço hídrico, capaz de simular o funcionamento do piscinão, deve ser calculado por vários anos, preferencialmente no mínimo três.

Formato do piscinão

O formato do piscinão depende do local onde será construído, principalmente da disponibilidade de espaço. Quanto mais profundo melhor a relação volume armazenado/volume evaporado. Entretanto, é preciso lembrar que a profundidade excessiva gera custos maiores na escavação. De modo geral, o formato que resulta na maior área com o menor perímetro (menor aterro, se houver) é o formato circular ou aproximado como o formato hexagonal. Considerando o formato circular apresentado na Figura 2 e no Desenho 1, as Equações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 podem ser utilizadas para cálculo da área da superfície do lago, do volume de terra cortada, volume armazenado de água, volume aterrado e volume total armazenado.

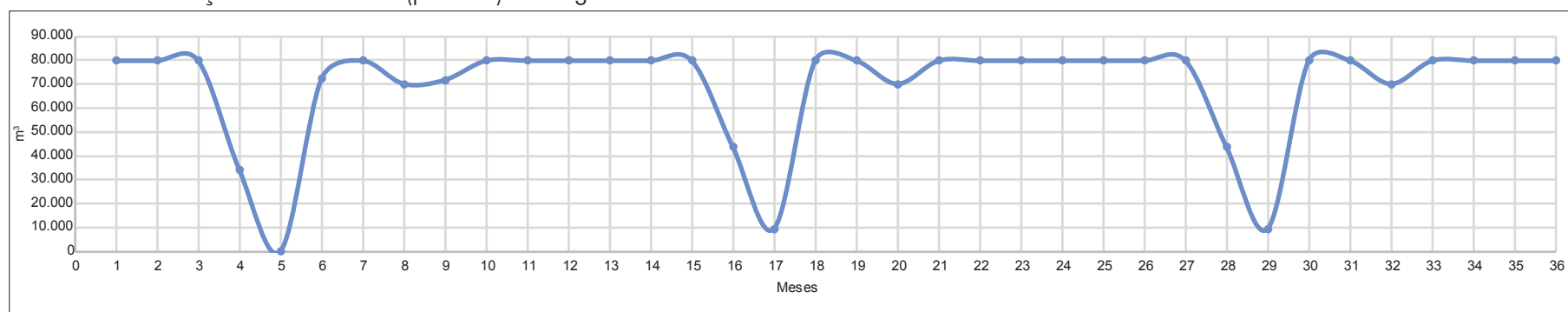
¹ <https://portal.inmet.gov.br/normais>

Tabela 1 - Balanço hipotético para um reservatório de 80 mil metros cúbicos

| Variável | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maiο | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Vazão outorgada no rio (m ³ /s) | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| Horas/dia | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Vazão dos poços (m ³ /s) | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 | 0,0375 |
| Horas/dia de bombeamento do poço | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Dias/mês captado | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| Dias/mês irrigado | 18 | 18 | 22 | 31 | 31 | 20 | 23 | 29 | 27 | 25 | 15 | 7 |
| Volume captado no córrego (m ³) | 246.078 | 222.264 | 246.078 | 238.140 | 246.078 | 238.140 | 246.078 | 246.078 | 238.140 | 246.078 | 238.140 | 246.078 |
| Volume captado nos poços (m ³) | 46.035 | 41.580 | 46.035 | 44.550 | 46.035 | 44.550 | 46.035 | 46.035 | 44.550 | 46.035 | 44.550 | 46.035 |
| Consumo mensal 260 ha (m ³) | 180.471 | 182.353 | 223.435 | 327.294 | 325.459 | 209.647 | 232.941 | 300.706 | 280.000 | 254.353 | 148.000 | 69.835 |
| Déficit de evaporação (mm) | -67 | -7 | 15 | 67 | 55 | 58 | 64 | 77 | 70 | 51 | -15 | -98 |
| Perdas por Evaporação (m ³) | -976 | -97 | 220 | 980 | 802 | 855 | 933 | 1.131 | 1.020 | 753 | -215 | -1.441 |
| Balanço (m ³) | 112.618 | 161.588 | 148.458 | 34.416 | 268 | 72.456 | 130.695 | 70.277 | 71.947 | 108.954 | 214.905 | 303.719 |
| Estoque (m ³) | 80.000 | 80.000 | 80.000 | 34.416 | 268 | 72.456 | 80.000 | 70.277 | 71.947 | 80.000 | 80.000 | 80.000 |

Fonte: Elaboração dos autores.

Gráfico 1 - Simulação do reservatório (piscinão) ao longo de 36 meses



Fonte: Elaboração dos autores.

Seção transversal do aterro

$$S_a = bd + \frac{d^2}{2} (Z_e + Z_i) \quad (1)$$

$$g = D - 2Z_i (d - f) \quad (2)$$

$$F = g - 2cZ_e \quad (3)$$

Volume cortado

$$V_c = \frac{\pi c}{12} (g^2 + gF + F^2) \quad (4)$$

Volume inundado

$$V_i = \frac{\pi (d - f)}{12} (D^2 + Dg + g^2) \quad (5)$$

Volume do aterro

$$V_a = 1,57 (B + b) d (D + d) \quad (6)$$

Volume total armazenado

$$V_t = (V_c + V_i) \quad (7)$$

em que:

S_a = área da seção transversal do aterro (m²);

b = largura da crista do aterro (> 3,0 m);

d = altura do aterro (m);

Z_e = inclinação do talude externo do aterro (m/m);

Z_i = inclinação do talude interno do aterro (m/m);

g = diâmetro do reservatório na superfície original do solo (m);

f = folga entre a superfície da água e a crista do aterro (m);

F = diâmetro do fundo do reservatório (m);

c = profundidade cortada (m);

V_c = volume de solo cortado (m³);

V_i = volume de água armazenada sobre a superfície original do solo (m³);

D = diâmetro da superfície da água (m);

V_t = volume total de água armazenada (m³).

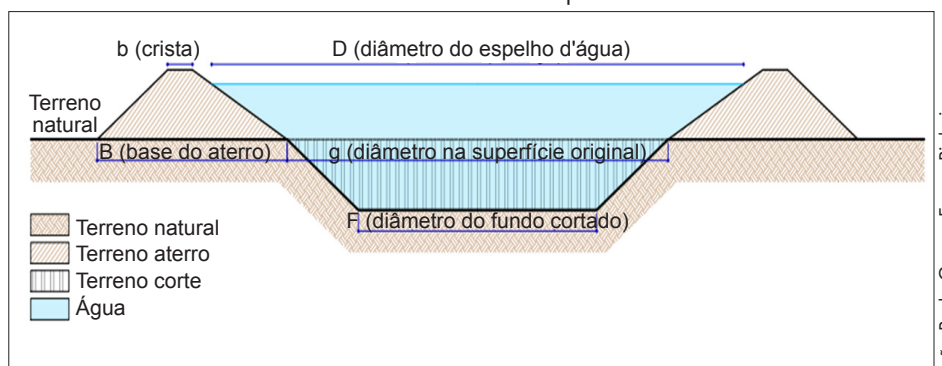
É apresentado na Figura 3 um reservatório em formato de pentágono.

Figura 2 - Exemplo de piscinão circular



Fernando Faria

Desenho 1 - Variáveis de dimensionamento do piscinão



João Paulo Gomes Ferraz Pinheiro

Figura 3 - Exemplo de piscinão com formato de pentágono



Fernando Faria

Seção transversal de aterro de contenção

A seção transversal de aterro de contenção (se houver) deve ser trapezoidal, com inclinação dos taludes apropriada para o tipo de solo a ser empregado para aterro. Aliás, o solo a ser utilizado deve conter, preferencialmente, argila e areia, com predominância de argila, porém argila não expansiva e livre de matéria orgânica (MO), pois esta é capaz de se decompor e criar vazios no maciço do aterro. É apresentado no Desenho 2 o formato típico de um aterro.

A folga entre o nível máximo da água e a crista do aterro tem por objetivo conter marolas e ondas formadas pelo vento. Para reservatórios com dimensão de até 1.000 m, a folga deve ser de 1,0 m para evitar possíveis transbordamentos da água armazenada.

A inclinação do talude do aterro (Z_e) deve ser no mínimo 1,5:1 (para cada metro de desnível vertical tem-se no mínimo 1,5 m de desnível horizontal). Esta inclinação e o revestimento da crista e proteção vegetal (gramínea) do talude externo do aterro dificilmente permitirão deslizamentos e desmoronamentos do aterro, exceto se sua compactação for mal executada. Com esta inclinação, a massa de água armazenada exercerá uma força empurrando o aterro para baixo, contra o solo, evitando escorregamento horizontal.

Caso parte da água venha a ser armazenada em partes do solo a serem cortadas, pode-se utilizar preferencialmente a mes-

ma inclinação das paredes do lado externo do aterro ($z = 1,5$ ou superior).

Balço da relação corte/aterro

Na maioria dos projetos o desejável é utilizar toda terra cortada para construção do aterro. Assim, a definição do volume de terra a ser gerado no corte e depositado no aterro deve levar em consideração a relação corte/aterro apropriada para o tipo de solo. Seu valor pode variar de 1,2 a 1,8, sendo bastante típico o valor de 1,3 ou seja: é preciso cortar 1,3 m³ de terra para produzir um aterro de 1,0 m³. Esta redução se deve à compactação do solo do aterro.

Impermeabilização

Para evitar perdas de água por infiltração, o reservatório deve ser revestido, se possível com lona de polietileno de alta densidade (Pead) com espessura de no mínimo 0,8 mm para profundidades de até 7 m e 1,0 mm para profundidades de até 12 m. A espessura adequada da lona precisa ser verificada junto ao fabricante, pois envolve garantias contra defeitos de fabricação. Prevê que a duração da lona seja superior a 25 anos. O custo aproximado do metro quadrado para espessura de 0,8 mm varia entre 10 e 15 reais. Como são fornecidas em rolos com largura variável e limitada, será preciso soldar uma lona à outra no campo. Esta operação é feita com máquinas de soldar que empregam a téc-

nica do ultrassom, e deve ser realizada por profissionais competentes. Recomenda-se a adoção dos procedimentos previstos na norma NBR 16199 (ABNT, 2020).

Um aspecto muito importante é evitar revestir sobre solos que receberam antes depósitos de MO. A possível decomposição pode gerar gases capazes de fazer flutuar a lona de revestimento.

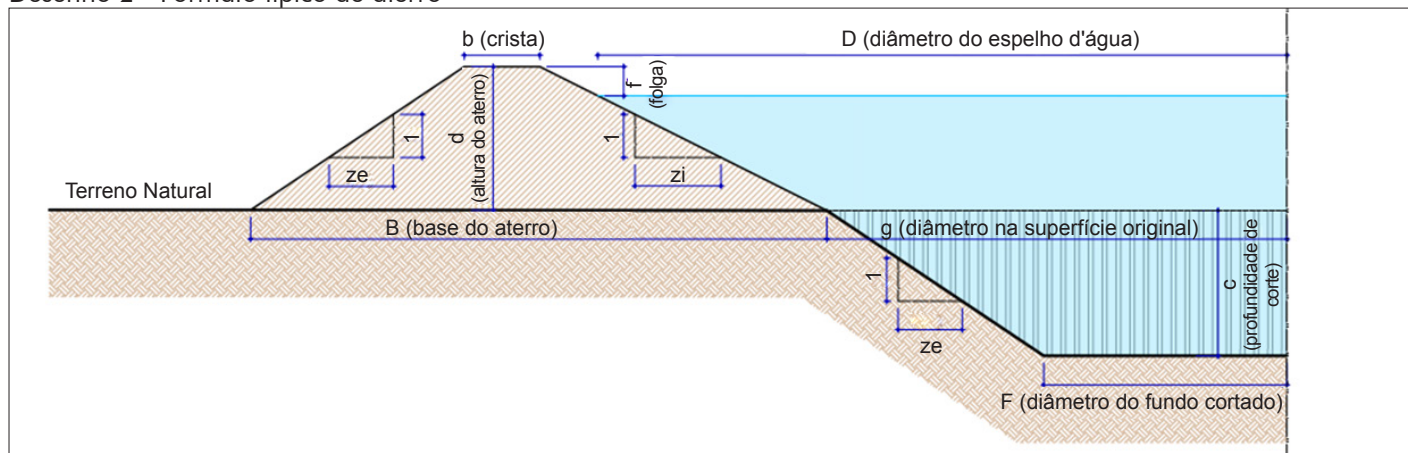
Vertedor de segurança

Para prevenir transbordamento de água, os piscinões devem ser providos de vertedor de segurança capaz de eliminar excesso de água oriundo de bombeamento que não tenha sido controlado adequadamente ou mesmo de chuvas excessivas. A folga de 1 m é suficiente para atenuar o volume extra gerado pelos motivos citados, mas por precaução recomenda-se a instalação de um vertedor de segurança capaz de verter a vazão de abastecimento do piscinão somada com a vazão gerada por chuvas intensas com pelo menos 25 anos de recorrência.

Anotação de Responsabilidade Técnica de projeto

Trata-se de um documento emitido pelo Crea. O autor do projeto deverá ser preferencialmente de alguma das seguintes profissões: engenheiro agrícola, engenheiro civil, geólogo, engenheiro ambiental ou profissões correlatas com atribuições adequadas.

Desenho 2 - Formato típico de aterro



EXECUÇÃO

São descritos a seguir importantes procedimentos relacionados com a implantação do projeto.

Outra consideração muito importante é a presença de lençol freático no local onde será escavado. Além de dificultar os trabalhos de máquinas, o lençol tende a levantar (fazer flutuar) a lona de impermeabilização.

Escavação e transporte

O local onde será feita escavação ou aterro deve ser investigado para identificar sua resistência à compressão. O teste – standard penetration test (SPT) é bastante empregado para esta finalidade e são considerados solos duros ou compactos os com resistência maior que 4 kgf/cm².

Para escavação e transporte serão necessárias máquinas, como escavadeira hidráulica, trator com grade niveladora, trator de esteira, caminhões basculantes, rolo compactador vibrante e caminhão pipa. São muito empregados também o trator de esteira e scraper. A função do caminhão pipa é fornecer água para molhar o aterro e trazê-lo para umidade ótima para compactação. A grade niveladora tem por objetivo misturar a superfície da camada compactada anteriormente com a próxima camada a ser compactada. O trator de esteira é utilizado para esparramar a terra deixada pelos caminhões basculantes. A

pá carregadeira é utilizada para encher os caminhões de terra já escavada pela escavadeira hidráulica, embora a escavadeira também possa desempenhar esta função. O scraper é muito útil para cortar terra e já depositar no local do aterro.

Aterro

A execução do aterro deve seguir a seguinte ordem: limpeza da faixa onde será construído, gradagem leve com menos de 30 cm de profundidade, deposição da camada de terra a ser compactada (máximo 30 cm de altura), uniformização da camada esparramando-a com trator de esteira, correção da umidade para melhor compactação (caminhão pipa), compactação com rolo pé de carneiro (pelo menos seis passadas) e gradagem para receber a próxima camada.

Proteção de taludes

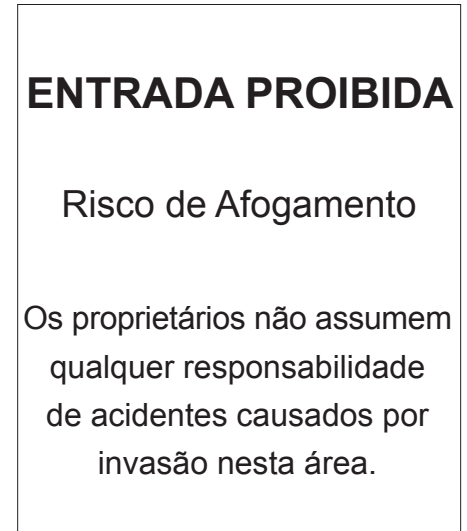
Enquanto o talude externo deve ser revestido com gramíneas (nunca plantar arbustos ou árvores), o talude interno deve ser revestido com lona Pead, assim como o fundo que deve ser previamente compactado e em seguida impermeabilizado, também com lona Pead (Fig. 4).

Cerca de proteção e isolamento da área

Para maior segurança e evitar a entrada de estranhos, o reservatório deve ser cer-

cado com tela, com altura de pelo menos 180 cm, que possa obstruir a entrada de animais. Devem ser colocadas placas de advertência conforme modelo apresentado na Figura 5, ou com mensagens ainda mais rigorosas.

Figura 5 - Placa de advertência para proteção e isolamento da área



Fonte: Elaboração dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de piscinões fora da calha do córrego para armazenar água é uma solução interessante, porém onerosa se comparada à construção de barramentos no próprio córrego, os quais não são feitos pelos irrigantes porque o tempo requerido para aprovação ambiental é demasiadamente longo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 16199**: barreiras geossintéticas - instalação de geomembranas poliméricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 38p.

IGAM. Portaria nº 18, de 16 de maio de 2019. Dispõe sobre cadastro de reservatórios de água, conforme determinação judicial exarada nos autos do Processo nº 5014022-05.2019.8.13.0024. **Minas Gerais**: Diário do Executivo, Belo Horizonte, p.6, 17 maio 2019.

Figura 4 - Soldagem da lona de revestimento com máquina ultrassom



Edmilson Rafael Rosa

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

INTRODUÇÃO

O Informe Agropecuário é uma publicação seriada, periódica, trimestral, de caráter técnico-científico. Tem como objetivo principal difundir tecnologias geradas ou adaptadas pela EPAMIG, seus parceiros e outras instituições, para o desenvolvimento do agronegócio de Minas Gerais. Trata-se de um importante veículo de orientação e informação para todos os segmentos do agronegócio, bem como de todas as instituições de pesquisa, universidades, escolas federais e/ou estaduais de ensino agropecuário, produtores rurais, empresários e demais interessados. É peça importante para difusão de tecnologia, devendo, portanto, ser organizada para atender às necessidades de informação de seu público, respeitando sua linha editorial e a prioridade de divulgação de temas resultantes de projetos e programas de pesquisa realizados pela EPAMIG e seus parceiros.

A produção do Informe Agropecuário segue uma pauta e um cronograma previamente estabelecidos pelo Conselho de Publicações e Informação Tecnológica da EPAMIG e pela Comissão Editorial de Publicações e Informação Tecnológica, conforme demanda do setor agropecuário e em atendimento às diretrizes do Governo. Cada edição versa sobre um tema específico de importância econômica para Minas Gerais.

Do ponto de vista de execução, cada edição do Informe Agropecuário terá de um a três Editores-técnicos, responsáveis pelo conteúdo da publicação, pela seleção dos autores dos artigos e pela preparação da pauta.

APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS ORIGINAIS

Os artigos devem ser enviados no pen-drive ou por e-mail, no programa Microsoft Word, fonte Arial, corpo 12, espaçamento entrelinhas 1,5, parágrafo automático, justificado, em páginas formato A4 (21,0 x 29,7cm).

As tabelas e quadros devem ser feitos também em Word, utilizando apenas o recurso de tabulação. Não se deve utilizar a tecla Enter para formatar o quadro, bem como valer-se de “toques” para alinhar elementos gráficos de uma tabela/quadro.

Os gráficos devem ser feitos em Excel e ter, no máximo, 15,5 cm de largura (em página A4). Para tanto, pode-se usar, no mínimo, corpo 6 para composição dos dados, títulos e legendas.

As fotografias a serem aplicadas nas publicações devem ser recentes, de boa qualidade e conter crédito do autor. Enviar os arquivos originais das câmeras digitais em JPG fora do Word. O uso de imagens de pessoas identificáveis não pertencentes ao quadro da EPAMIG e não sendo autores do artigo, só será permitido mediante envio de Autorização de Uso de Imagem, devidamente assinada. As fotografias digitalizadas devem ter resolução mínima de 300 DPIs no formato mínimo de 15 x 10 cm na extensão JPG.

Os desenhos feitos no computador devem ser enviados na sua extensão original, acompanhados de uma cópia em PDF, e os desenhos feitos em nanquim ou papel vegetal devem ser digitalizados em JPG.

Mapas desenvolvidos por meio de softwares ou capturados na internet devem ser enviados em PDF ou JPG.

PRAZOS E ENTREGA DOS ARTIGOS

Os autores da revista Informe Agropecuário devem observar os prazos estipulados formalmente para a entrega dos trabalhos, bem como priorizar o atendimento às dúvidas surgidas ao longo da produção da revista, levantadas pelo Editor-técnico, pela Revisão de Português e pela Normalização. A não observância a essas normas trará as seguintes implicações:

- os autores convidados pela Empresa terão seus trabalhos excluídos da edição;
- os autores da Empresa poderão ter seus trabalhos excluídos ou substituídos, a critério do respectivo Editor-técnico.

O Editor-técnico deverá entregar ao Departamento de Informação Tecnológica (DPIT), da EPAMIG, os originais dos artigos no pen-drive ou por e-mail, já revisados tecnicamente, 120 dias antes da data prevista para circular a revista. Não serão aceitos artigos entregues fora desse prazo ou após o início da revisão de português e normalização da revista.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

ESTRUTURAÇÃO DOS ARTIGOS

Os artigos devem obedecer à seguinte sequência:

- título (português/inglês):** deve ser claro, conciso e indicar a ideia central do artigo, podendo ser acrescido de subtítulo. Devem-se evitar abreviaturas, parênteses, fórmulas e nomes científicos que dificultem a sua compreensão;
- nome do(s) autor(es):** deve ser completo com entrada pelo prenome, acrescido de numeração sobrescrita para indicar, no rodapé, sua formação e títulos acadêmicos, profissão, instituição a que pertence e e-mail.
Exemplo: Eng. Agrônomo, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul/Bolsista FAPEMIG, Lavras, MG, epamigsul@epamig.br;
- resumo/abstract:** constitui um texto conciso, com dados relevantes sobre o conteúdo do artigo. Deve conter de 100 a 250 palavras;
- palavras-chave/keywords:** logo após o resumo, devem constar palavras ou expressões que representem o conteúdo do artigo, com iniciais maiúsculas e separadas por ponto. Não devem ser utilizadas palavras já contidas no título do artigo e expressões com mais de três palavras;
- texto:** deve ser constituído de: Introdução, Desenvolvimento e Considerações finais. A Introdução deve ser breve e focar o objetivo do artigo;
- agradecimento:** elemento opcional;
- referências:** devem ser padronizadas de acordo com o “Manual para Publicações da EPAMIG”, que apresenta adaptação das normas da ABNT.

Com relação às citações de autores e ilustrações dentro do texto, também deve ser consultado o Manual para Publicações da EPAMIG.

NOTA: Estas instruções, na íntegra, encontram-se no “Manual para Publicações da EPAMIG”. Para consultá-lo, acessar: www.epamig.br, em Publicações.



101 Culturas

Manual de Tecnologias Agrícolas

2ª edição revista e atualizada

AQUISIÇÕES E INFORMAÇÕES
www.informeagropecuario.com.br

A nova edição, revista e atualizada, reúne, em um único volume, as informações tecnológicas mais relevantes para 101 espécies agrícolas, relacionadas de A a Z, apresentando-se como **fonte de recomendações práticas e confiáveis** para agricultores, técnicos, engenheiros, professores, estudantes e públicos diversos ligados à produção vegetal.

O livro destaca as 101 culturas nos seguintes aspectos: importância econômica, exigências climáticas, épocas mais adequadas de plantio, cultivares disponíveis, produção de sementes ou mudas, espaçamento e densidade de plantio, preparo do solo, operações de calagem e adubação, irrigação, controle de plantas espontâneas, pragas e doenças, colheita e comercialização.

EPAMIG SEDE

Av. José Cândido da Silveira, 1647
União • BH • MG • CEP 31170-495
TEL. (31) 3489-5002 • publicacao@epamig.br



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

IRRIGAÇÃO

PRODUTIVIDADE E SEGURANÇA PARA O SEU NEGÓCIO

Irrigabras há 35 anos ao lado do pequeno, médio e grande produtor rural.



- **Soluções:** Linha completa de sistemas de irrigação por aspersão.
- **Sustentabilidade:** Sistemas para a destinação adequada de dejetos da produção animal e efluentes da indústria sucroenergética.
- **Excelência:** Tecnologia de ponta e engenharia de aplicação reconhecidas pelo mercado.



www.irrigabras.com.br