

IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO EM SISTEMAS DE PASTEJO ROTACIONADO

EDMAR JOSÉ SCALOPPI

**IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO
EM SISTEMAS DE PASTEJO
ROTACIONADO**

Conselho Editorial Acadêmico
Responsável pela publicação desta obra

Prof. Dr. Carlos Frederico Wilcken (FCA/Botucatu)
Prof. Dr. Antônio Ismael Inácio Cardoso (FCA/Botucatu)
Prof. Dr. Luiz César Ribas (FCA/Botucatu)
Profª Drª Pricila Veiga dos Santos (FCA/Botucatu)
Prof. Dr. Rogério Peres Soratto (FCA/Botucatu)
Prof. Dr. Sérgio Campos (FCA/Botucatu)
Sr. Rodrigo José da Cruz (FCA/Botucatu)

EDMAR JOSÉ SCALOPPI

IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO EM SISTEMAS DE PASTEJO ROTACIONADO

**CULTURA
ACADÊMICA** 
Editora

© 2014 Editora UNESP

Cultura Acadêmica

Praça da Sé, 108

01001-900 – São Paulo – SP

Tel.: (0xx11) 3242-7171

Fax: (0xx11) 3242-7172

www.editoraunesp.com.br

feu@editora.unesp.br

CIP – Brasil. Catalogação na Publicação
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

S293i

Scaloppi, Edmar José

Irrigação de baixo custo em sistemas de pastejo rotacionado
[recurso eletrônico] / Edmar José Scaloppi. – 1. ed. – São Paulo :
Cultura Acadêmica, 2014.
recurso digital : il.

Formato: ePDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7983-538-4 (recurso eletrônico)

1. Irrigação. 2. Drenagem. 3. Água na agricultura. 4. Livros
eletrônicos. I. Título.

14-14638

CDD: 631.7

CDU: 631.7

Este livro é publicado pelo Programa de Publicações da Pró-Reitoria de Extensão
Universitária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

Editora afiliada:



Asociación de Editoriales Universitarias
de América Latina y el Caribe



Associação Brasileira de
Editoras Universitárias

SUMÁRIO

Prólogo 7

Introdução 11

Fundamentos de irrigação 17

Irrigação de baixo custo
por aspersão convencional 29

Consumo de energia 59

Produção de biogás a partir
dos dejetos dos animais 61

Resumo do projeto e principais
componentes necessários 63

Procedimento para instalação
do sistema de irrigação 67

Fertirrigação de baixo custo 75

Avaliação do desempenho de
sistemas de irrigação 81

Crerérios para avaliação econômica 85

Uso racional da água e sustentabilidade
da agricultura irrigada 93

Referências bibliográficas 97

Sobre o autor 101

PRÓLOGO

O momento atual experimentado pela pecuária bovina na produção de leite e carne tem favorecido a adoção de recursos tecnológicos inovadores, capazes de proporcionar um aumento na produção sem comprometimento nos custos. A pecuária leiteira encontra-se particularmente fortalecida em muitas regiões, pela manutenção de preços compensadores durante o ano e regularidade na remuneração, que pode ser caracterizada como uma situação diferenciada no agronegócio brasileiro.

Um dos argumentos mais utilizados pelos especialistas do setor para assegurar o sucesso desse empreendimento resume-se na habilidade do produtor em procurar, incessantemente, estratégias para fornecer aos animais uma alimentação de melhor qualidade e menor custo. A produção ininterrupta de algumas espécies forrageiras selecionadas para pastejo tem se destacado como uma alternativa promissora e de baixo custo.

A produtividade compensadora de qualquer cultura agrícola, inclusive as forrageiras, depende da utilização criteriosa de vários insumos indispensáveis, associados à contribuição climática, representada principalmente pela frequência e quantidade de chuva, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar atmosférico e

vento. Na maioria das regiões produtoras do país, o insumo com maior variabilidade e importância no processo produtivo é a água.

Assim, para assegurar produtividade satisfatória das culturas forrageiras, em todas as estações do ano, torna-se obrigatório o fornecimento artificial de água ao processo produtivo através da técnica de irrigação.

Uma das alternativas sugeridas para viabilizar a introdução da tecnologia de irrigação na produção de espécies forrageiras consiste em se adotar um sistema de irrigação alternativo, de baixo custo, por aspersão convencional. Trata-se de um procedimento conceitual no qual se procura reduzir tanto os custos de investimento (fixos) quanto os custos operacionais e de manutenção (variáveis). Após vários anos de observação, ensaios e aperfeiçoamento, foi possível oferecer aos interessados um conjunto de componentes e procedimentos dimensionais e operacionais bem ajustados às atuais exigências tecnológicas, econômicas e ambientais.

O sistema por aspersão abordado neste livro integra os sistemas de irrigação alternativos de baixo custo certificados como Tecnologia Social pela Fundação Banco do Brasil, em 2013, que podem ser acessados em <<http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/>>. Esse sistema é apresentado com um nível de detalhamento adequado, com as informações e os procedimentos indispensáveis para se identificar a necessidade de irrigação e as providências necessárias para a execução de um projeto de irrigação alternativo, de baixo custo, por aspersão convencional no sistema de pastejo rotacionado em piquetes. Foi acrescentado um dimensionamento ilustrativo desses sistemas, incluindo a unidade de bombeamento, além de se fornecerem os elementos para se avaliar o consumo energético no acionamento por motores elétricos e estacionários a biodiesel.

Além disso, são listados os materiais necessários, bem como as práticas recomendadas para a instalação e operação dos equipamentos de irrigação e fertirrigação. Discutiu-se, também, a possibilidade da utilização dos dejetos animais para a produção de energia, através do processo de biodigestão, e o aproveitamento do resíduo como fertilizante nos piquetes irrigados ou nas capineiras

destinadas à suplementação alimentar nos períodos com menor produção de forragem. Foram incluídas, ainda, as recomendações, com exemplo ilustrativo, para se avaliar o desempenho dos sistemas instalados. Finalmente, procedeu-se a uma simulação ilustrativa para se estimar custos anuais (fixos e variáveis) de um investimento em irrigação e a quantidade de leite necessária para ressarcir esses custos.

Dessa maneira, acreditamos que este livro possa fornecer informações úteis, no contexto atual de um sistema produtivo bem-sucedido, com argumentos consistentes que possam contribuir para a adoção da prática de irrigação em piquetes, no sistema de pastejo rotacionado, tanto para a produção leiteira quanto para a produção de carne.

Com os desejos de uma leitura agradável e produtiva,

Edmar José Scaloppi

Ph.D. em Engenharia de Irrigação

Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/Botucatu (SP)

e-mail: edmar@fca.unesp.br

novembro de 2013

INTRODUÇÃO

A moderna pecuária brasileira tem experimentado constante evolução tecnológica que permite assegurar um desempenho diferenciado dessa atividade no contexto do agronegócio nacional. Avanços marcantes no melhoramento genético, nas técnicas de manejo e nutrição do rebanho bovino de leite e corte têm sido frequentemente divulgados em várias regiões do país.

Particularmente no aspecto nutricional, parece haver um consenso entre os pesquisadores e técnicos do setor, enfatizando a necessidade de um fornecimento contínuo de forragem de alta qualidade aos animais, para assegurar um desempenho satisfatório da exploração. Melhor ainda se a forragem puder ser fornecida sob pastejo, o que reduz significativamente o custo de alimentação dos animais, mesmo havendo desperdícios decorrentes do pisoteio e do lançamento de dejetos que podem comprometer sua palatabilidade e, conseqüentemente, seu aproveitamento.

Esses conceitos foram gradativamente evoluindo e culminaram com a prática do pastejo rotacionado em piquetes. Nesse sistema de manejo, o rebanho é submetido a um rodízio nos piquetes, em geral diário, onde consome a forragem sempre em uma fase de desenvolvimento na qual o valor nutritivo é mais destacado. Desse modo, o período para completar um ciclo em rotação (ou

período de descanso do piquete) é determinado basicamente pela espécie forrageira e pela época do ano. A Tabela 1 revela a duração desses períodos para as principais espécies forrageiras tropicais desenvolvidas durante o verão em várias regiões do país. A redução da radiação solar e da temperatura nas outras estações do ano deve resultar em um aumento do período de descanso previsto para o piquete.

Há, também, um reconhecimento generalizado de que a incerteza da ocorrência de chuvas pode comprometer ou até mesmo inviabilizar essa prática, e, por isso, ganha destaque a importância da irrigação, associada à nutrição mineral ou orgânica adequada da espécie forrageira, para assegurar um melhor desempenho desse sistema de manejo. Em condições favoráveis de água no solo e radiação solar, diversos estudos têm revelado que a maioria das forrageiras tropicais se desenvolve com temperaturas médias do ar atmosférico acima de 15°C. Considerando que em grande parte do território brasileiro as temperaturas raramente são reduzidas abaixo desse valor por longos períodos, pode-se avaliar o enorme potencial existente para o fornecimento de uma alimentação com menor custo e de melhor qualidade na exploração animal.

Tabela 1 – Dias de descanso para espécies forrageiras cultivadas no verão nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Oliveira, 2006)

<i>Espécie forrageira</i>	<i>Dias de descanso</i>
Braquiara (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu)	28 a 35
Braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	28 a 32
Coastcross (<i>Cynodon dactylon</i>)	21 a 28
Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	28 a 35
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>)	35 a 45
Gramma-estrela (<i>Cynodon plectostachyus</i> e <i>C. nlemfuensis</i>)	21 a 28
Mombaça (<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça)	28 a 30
Tanzânia (<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia)	28 a 32
Tifton (<i>Cynodon</i> spp.)	21 a 28
Tobiatã (<i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã)	28 a 30

Estacionalidade na produção de forragem no sistema de pastejo rotacionado

Inúmeros fatores relacionados à espécie vegetal, fertilidade do solo e características ambientais e de manejo determinam a produtividade da cultura forrageira durante o ano. Particularmente relacionados à estacionalidade da produção, pode-se destacar o regime hídrico, a disponibilidade de radiação solar e a temperatura. Em estudos conduzidos na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos (SP), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2, Rassini (2004) concluiu que a irrigação aumentou a produção de seis espécies forrageiras. Além disso, a proporção de fitomassa produzida na estação seca (outono e inverno) comparada com a obtida na estação de chuvas (primavera e verão) foi muito superior nas parcelas irrigadas (54,3%) em comparação com as parcelas não irrigadas (30,7%), revelando uma maior uniformidade na produção de forragem durante o ano.

Tabela 2 – Produção de matéria seca (t/ha) de tratamentos irrigados e não irrigados de espécies forrageiras, no município de São Carlos (SP)

<i>Espécie forrageira</i>	<i>Irigado</i>	<i>Não irrigado</i>
<i>Pennisetum purpureum</i> cv. Napier	46,1a	28,2b
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	29,2b	18,4cd
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	23,6c	18,1cd
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	24,3c	16,1cde
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	23,6c	15,4cde
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Coastcross	16,1de	12,7e
Média	27,2A	18,2B
Outono-inverno/primavera-verão	54,3%	30,7%

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A prática da sobresemeadura de espécies adaptadas pode se constituir em uma alternativa econômica para suplementar a queda na produção estacional de forrageiras tropicais, pela redução da temperatura e luminosidade nos meses de outono-inverno, no

sistema de pastejo rotacionado em piquetes irrigados. Em resumo, essa prática consiste em semear no início do outono, uma ou mais espécies forrageiras de inverno, como a aveia e o azevém, nos piquetes formados com a forrageira tropical. A roçagem prévia da forrageira pode favorecer a distribuição das sementes e o processo de germinação da espécie sobressemeada.

Segundo Rodrigues et al. (2006), a consorciação capim Tanzânia e aveia foi responsável por 19,4% do consumo diário de alimentos para vacas em lactação no período de julho a setembro. A produção de aveia foi responsável por 63,8% da produção de forragem, com redução de 4,8% no custo de alimentação dos animais durante o período de estudo. Mendonça et al. (2007) referem-se a um estudo conduzido pela Embrapa Pecuária Sudeste em fazendas produtoras de leite em mais de trinta municípios nos estados de São Paulo e Minas Gerais, mostrando que a lotação animal passou de 2,5 a 3,5 UA (unidades animais) por hectare em pastagens tropicais sem sobressemeadura para 4 a 6 UA/ha em pastagens com sobressemeadura de aveia ou azevém.

Um grande obstáculo que restringe a produção de alimentos de melhor qualidade e menor custo na exploração pecuária de leite e corte é que a irrigação comercial no Brasil é reconhecidamente onerosa, razão principal de sua inexpressiva utilização no segmento agropecuário. Segundo informações do IBGE (2006), a área irrigada nacional estava em torno de 4,5 milhões de hectares, representando apenas 7% da área cultivada, estimada em 65 milhões de hectares, e cerca de 15% da área potencialmente irrigável, avaliada em 30 milhões de hectares, segundo a Agência Nacional de Águas. Por essa razão, foram investigadas inúmeras alternativas tecnológicas adequadas que pudessem proporcionar os reconhecidos benefícios da agricultura irrigada a um custo ajustado às disponibilidades financeiras dos empreendedores agropecuários.

Após vários anos de pesquisa e investigação, alguns exemplos bem-sucedidos de sistemas de irrigação alternativos de baixo custo foram desenvolvidos e puderam ser apresentados aos agricultores-irrigantes em potencial por Scaloppi (2011). Em outubro de 2013,

esses sistemas foram certificados como Tecnologias Sociais pela Fundação Banco do Brasil. Um dos resultados deste trabalho tornou-se bem adaptado ao sistema de pastejo rotacionado em piquetes. A versão proposta tem sido praticada com sucesso por produtores inseridos na pecuária leiteira no interior do estado de São Paulo, conforme pode ser observado na Figura 1. Nesse caso, foi adotado um sistema de irrigação alternativo por aspersão convencional, onde o único componente específico é um aspersor comercial rotativo por impacto.



Figura 1 – Sistema de irrigação alternativo de baixo custo por aspersão em piquetes, no sistema de pastejo rotacionado, instalado na Fazenda São Sebastião, em Águas de Santa Bárbara (SP)

O custo de um sistema de irrigação pode ser avaliado pelo custo anual calculado durante o período de vida útil estimado para seus componentes, que resulta da soma dos custos de investimento (fixos) e dos custos operacionais (variáveis). A caracterização

“baixo custo” aqui empregada refere-se à soma de custos fixos (aquisição de equipamentos, impostos, taxas, seguros etc.) e custos variáveis (energia, mão de obra, manutenção e reparos acidentais) computados em base anual.

Deve-se salientar que todo projeto de irrigação deve requerer o licenciamento com avaliação do impacto ambiental aos órgãos competentes, como o Departamento de Avaliação do Impacto Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Desenvolvimento e Avaliação Ambiental da Cetesb (www.cetesb.sp.gov.br) e a outorga para uso de recursos hídricos na Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br). Em corpos hídricos de domínio dos estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser feita às respectivas autoridades outorgantes estaduais responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos. No estado de São Paulo, o interessado deve procurar no *site* <www.daee.sp.gov.br> a Diretoria da Bacia Hidrográfica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Daee), onde se localiza a área do empreendimento ou uso, para requerer a outorga. Aos técnicos responsáveis pelo dimensionamento e execução de projetos de irrigação, há a exigência profissional do preenchimento da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto aos Creas. No estado de São Paulo, as informações estão disponíveis no *site* <www.creasp.org.br>.

Preliminarmente ao envolvimento com a técnica de irrigação, é recomendável conhecer alguns conceitos básicos associados ao dimensionamento, operação e manejo aplicados aos principais sistemas, conforme especificados a seguir.

FUNDAMENTOS DE IRRIGAÇÃO

Volume de água requerido em irrigação

Tem sido observado que a maioria dos agricultores interessados em irrigação não avalia adequadamente a grandeza da quantidade de água utilizada pelas culturas irrigadas, incluindo as forrageiras, na transpiração e evaporação, em um processo conjunto, denominado evapotranspiração. Para uma grande parte das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste do país, essa quantidade, na fase de maior exigência hídrica das culturas, está avaliada em 4 mm/dia. Esse valor significa que em cada metro quadrado de área vegetada, serão utilizados 4 litros de água por dia. Para repor essa quantidade, através de irrigação, este valor deverá ser ampliado, uma vez que nenhum sistema de irrigação opera com uma eficiência absoluta, ou seja, sempre haverá perdas de água durante o processo de aplicação. O dimensionamento e operação criteriosos procuram minimizar essas perdas inevitáveis e melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação.

A primeira iniciativa decorrente da possibilidade de envolvimento com forrageiras irrigadas consiste na identificação da quantidade de água requerida, estimada pela equação:

$$V_r = 10 \times A \times D / E$$

em que

V_r – volume de água requerido, m^3 /dia;

A – área irrigada, ha (10.000 m^2);

D – quantidade de água requerida pela forrageira, mm/dia;

E – eficiência de aplicação de água desejada, adimensional e decimal.

Exemplo: Assumindo-se: $A = 1$ ha, $D = 4$ mm/dia,

$E = 0,8$ (80%)

$$V_r = 10 \times 1 \times 4 / 0,8 = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A quantidade de água requerida pela forrageira é representada pela evaporação do solo, transpiração das plantas, constituição dos tecidos vegetais e eventual lixiviação do excesso de sais solúveis presentes na região radicular, que pode ocorrer em solos salinos em regiões semiáridas. Essa quantidade aumenta gradativamente desde o plantio, atingindo um valor máximo quando as plantas encontram-se completamente desenvolvidas. O sistema de irrigação deve ser dimensionado para satisfazer a demanda hídrica das forrageiras nesse período que, em geral, representa o momento recomendado para o pastejo.

O uso de água pelas culturas, incluindo as forrageiras, é um parâmetro difícil de ser avaliado com precisão. Na ausência de valores locais determinados, recomenda-se assumir 4 mm/dia como uma referência para o dimensionamento durante os meses de primavera e verão na região Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Sul do país. Nas estações com menor intensidade de radiação solar e menor temperatura, esse valor pode ser reduzido para cerca de 3 mm/dia. Em grande parte daquelas regiões, esse período coincide com a seca edafológica sazonal, quando a irrigação torna-se mais necessária. Nesse caso, basta recalcular o período diário de operação ou o turno de irrigação para promover um ajustamento operacional adequado.

Conforme já foi considerado, o valor de 4 mm/dia significa que em 1 m^2 de área vegetada são requeridos 4 litros de água por dia, ou 40.000 litros por hectare (L/ha). Assumindo-se uma eficiência de

aplicação de 80%, serão necessários 50.000 litros de água por dia para irrigar apenas 1 hectare, ou seja, um reservatório com dimensões razoáveis de 10 m de comprimento, 5 m de largura e 1 m de profundidade. Felizmente, porém, a estação seca em muitas regiões se manifesta no período de menor intensidade de radiação solar e temperaturas mais amenas, que determinam menores valores de demanda hídrica pelas culturas.

Vazão requerida

A vazão requerida (Q_r) deve ser calculada dividindo-se o volume requerido no estágio de maior exigência hídrica da cultura forrageira (m^3/dia) pelo período de aplicação de água adotado (horas/dia). Assim, para irrigar 1 hectare com uma demanda hídrica máxima de 4 mm/dia, com eficiência de 80%, em apenas 1 hora/dia, a vazão requerida seria $50 m^3/h (= 14 L/s)$. Aumentando-se o período de aplicação para 10 horas/dia, a vazão reduz-se para $5 m^3/h (= 1,4 L/s)$. Para um período de 20 horas/dia, a vazão seria apenas $2,5 m^3/h (= 0,7 L/s)$. Deve-se observar que o aumento no período diário de operação implica redução proporcional na vazão, com inúmeras vantagens ao dimensionamento:

- ✓ Redução da potência da unidade de bombeamento e do transformador e de seus custos, inclusive da rede elétrica e dispositivos de acionamento e segurança operacional.
- ✓ Possibilidade de usufruir custos mais reduzidos na operação noturna (tarifa verde) em sistemas acionados por energia elétrica.
- ✓ Redução do diâmetro (menor custo) e das perdas de carga hidráulica nas tubulações e acessórios (maior uniformidade de distribuição de água na área irrigada e menor potência requerida no bombeamento).
- ✓ Redução das perdas de água por evaporação durante a operação noturna em sistemas de irrigação por aspersão.

Caso a vazão disponível (Q) em um período de operação de 10 horas/dia seja insuficiente, por exemplo, 4 m³/h em vez de 5 m³/h, pode-se adotar uma das seguintes alternativas:

1) *Reduzir a área irrigada (A)*

A área potencialmente irrigável seria então calculada por:

$$A = Q \times E \times T / (10 \times D) =$$

$$4 \times 0,8 \times 10 / (10 \times 4) = 0,8 \text{ ha}$$

2) *Reduzir a quantidade máxima de água consumida pela cultura forrageira (D)*

Pelo menos em tese, a quantidade de água consumida pela cultura poderia ser recalculada pela seguinte expressão:

$$D = Q \times E \times T / (10 \times A) =$$

$$4 \times 0,8 \times 10 / (10 \times 1) = 3,2 \text{ mm/d}$$

(com resultados imprevisíveis para a produção de fitomassa)

3) *Aumentar a eficiência de aplicação de água (E)*

O valor da eficiência de aplicação a ser atingido para compensar a redução na vazão disponível pode ser calculado por:

$$E = 10 \times A \times D / (Q \times T) =$$

$$10 \times 1 \times 4 / (4 \times 10) = 1 = 100\%$$

(impossível, pois não existe sistema de irrigação com eficiência absoluta!). Em geral, o aumento da eficiência de aplicação é acompanhado por um aumento nos custos do sistema de irrigação e deve ser alterado com orientação técnica.

4) *Aumentar o período operacional médio diário (T)*

O aumento do período operacional médio também deve ser avaliado com critério, conforme demonstrado a seguir:

$$T = 10 \times A \times D / (Q \times E) = \\ 10 \times 1 \times 4 / (4 \times 0,8) = 12,5 \text{ h/dia}$$

Recomenda-se observar que esse período, considerado um valor médio diário, deve ser avaliado em função de uma estimativa de operação em base semanal. Assim, por exemplo, havendo a previsão de interrupção operacional durante o fim de semana, esse valor deve ser reajustado nos demais dias da semana, respeitando-se a interrupção operacional durante as três horas que determinam o horário de pico local (variável entre 17 h e 22 h nas diversas regiões do país), conforme sugerido a seguir:

Operação ininterrupta das 5 h às 17 h e das 20 h às 23 h
(assumindo-se que o horário de pico seja estabelecido entre 17 h e 20 h) de segunda à sexta-feira:

$$15 \text{ h/dia} \times 5 \text{ dias} = 75 \text{ h}$$

Operação ininterrupta aos sábados das 4 h 30 min às 17 h =
12 h 30 min

Sem operação aos domingos:

$$\text{Total} = 75 \text{ h} + 12 \text{ h } 30 \text{ min} = 87 \text{ h } 30 \text{ min}$$

$$\text{Média} = 87,5 \text{ h} / 7 \text{ dias} = 12,5 \text{ h/dia}$$

Observar que, para se obter um valor médio diário de 12,5 horas, com interrupção aos domingos, o período operacional requerido durante cinco dias da semana deverá ser ampliado para 15 h/dia.

5) *Penalizar proporcionalmente uma ou mais alternativas*

Por exemplo, reduzir a área e a demanda hídrica e aumentar o período operacional por um mesmo fator k calculado por:

$$Q = 10 \times (k \times A) \times (k \times D) / (0,8 \times T / k)$$

$$4 = 10 (k \times 1) \times (k \times 4) / (0,8 \times 10 / k) = 5 k^3$$

$$k = (4/5)^{1/3} = 0,93$$

Portanto,

$$A = 0,93 \times 1 = 0,93 \text{ ha};$$

$$D = 0,93 \times 4 = 3,72 \text{ mm/dia};$$

$$T = 10 / 0,93 = 10,75 \text{ h} = 10 \text{ h } 45 \text{ min}$$

Caso se deseje preservar tanto a demanda hídrica (4 mm/dia) quanto a eficiência de aplicação (80%), os resultados sofrerão as seguintes alterações:

$$4 = 10 \times k \times A \times 4 / (0,8 \times 10 / k) = 5 k^2$$

$$k = (4/5)^{1/2} = 0,8944$$

Portanto,

$$A = 0,8944 \times 1 = 0,8944 \text{ ha};$$

$$D = 4 \text{ mm/dia};$$

$$T = 10 / 0,8944 = 11,18 \text{ h} = 11 \text{ h } 11 \text{ min}$$

6) *Armazenar o volume deficitário em um reservatório*

$$\text{Volume requerido} = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{Volume potencialmente disponível no manancial} =$$

$$4 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h/dia} = 96 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{Volume fornecido durante o período efetivo de}$$

$$\text{bombeamento} = 4 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ h/dia} = 40 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Sendo o volume potencialmente disponível no manancial igual ou superior ao requerido, a alternativa de construir um reservatório torna-se viável. Portanto:

$$\text{Volume de água a ser armazenado} = 50 - 40 = 10 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Caso o volume disponível no manancial seja inferior ao requerido, todas as alternativas, inclusive a construção de um reservatório, devem ser dimensionadas em relação ao volume disponível. Em condições favoráveis em pequenos cursos de água, basta remover, com retroescavadeira, um volume de solo um pouco superior ao de armazenamento para que o volume desejado do reservatório seja assegurado.

Água no solo disponível às culturas

Todo solo com drenagem livre é capaz de reter, durante um considerável intervalo, uma determinada quantidade máxima de água contra a aceleração gravitacional terrestre. Excedida essa quantidade, haverá a ocorrência significativa de percolação às camadas mais profundas do perfil, até atingir a superfície freática. Com sucessivas contribuições, esse excesso passa a adquirir condições de escoamento saturado, em direção às nascentes, minas ou corpos d'água superficiais. Por outro lado, as características do próprio solo, da planta cultivada e da atmosfera determinam uma quantidade mínima de água no solo para um adequado desenvolvimento das culturas. A diferença entre as quantidades máxima e mínima define a quantidade de água disponível para cada cultura entre as chuvas e irrigações.

Assumindo-se condições atmosféricas e de culturas típicas em grande parte das áreas cultivadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, essa diferença pode atingir 12% em base volumétrica em solos argilosos, 8% em solos com textura média e 5% em solos tipicamente arenosos.

Um valor de 10%, característico de solos mais argilosos com boa capacidade de armazenamento, significa 10 mm de água disponível a cada 10 cm de profundidade no perfil do solo. Assim, por exemplo, se a maior parte das raízes de absorção das espécies forra-

geiras encontrar-se até 30 cm de profundidade, então o solo pode fornecer 30 mm de água disponível para as plantas. Assumindo-se que a evapotranspiração (água perdida por evaporação do solo e transpiração das plantas) seja, em média, 3 mm/dia, a cultura estaria adequadamente suprida com a água disponível no solo durante um período de 10 dias, ou seja, $30 \text{ mm} / 3 \text{ mm/dia} = 10 \text{ dias}$. Esse período representa o turno de irrigação para a cultura no estágio de desenvolvimento considerado. A Tabela 2 ilustra um esquema genérico de consumo hídrico e desenvolvimento radicular durante o desenvolvimento de uma cultura forrageira.

Tabela 2 – Consumo hídrico e desenvolvimento radicular em relação aos valores máximos previstos, durante o desenvolvimento da cultura

Desenvolvimento	Plantio	20%	40%	60%	80%	100%	Senesc.*
Consumo	40	50	60	70	90	100	80
Profund. raízes	20	30	50	70	90	100	100

(*) Senesc. = senescência.

Assim, por exemplo, assumindo-se que o consumo máximo de água atinja 4 mm/dia, que as raízes efetivas se desenvolvam até 30 cm, e que o solo retenha 10% de água disponível em base volumétrica (10 mm de água disponível a cada 10 cm de profundidade de solo), as seguintes informações podem ser obtidas, conforme indicadas na Tabela 3.

Após o completo desenvolvimento da espécie forrageira, a sucessão de pastejo que caracteriza o sistema rotacionado em piquetes deve considerar constante a profundidade efetiva das raízes e, portanto, a lâmina a ser aplicada também permanece constante. Entretanto, o consumo de água deverá acompanhar o crescimento da parte aérea durante o período de descanso, seguindo praticamente as mesmas proporções sugeridas na Tabela 2, substituindo-se o plantio pelo pastejo. Atingindo o pleno desenvolvimento durante o período de descanso, a espécie forrageira deverá evapo-

transpirar em sua razão potencial, determinada pelas condições microclimáticas associadas à disponibilidade de água no solo.

Tabela 3 – Esquema genérico de dotação de água e turno de irrigação durante o desenvolvimento de uma cultura forrageira

Desenvolvimento	Plantio	20%	40%	60%	80%	100%	Senesc.*
Consumo	1,6	2,0	2,4	2,8	3,6	4,0	3,2
Profund. raízes	6	9	15	21	27	30	30
Lâmina	6	9	15	21	27	30	30
Turno	4	5	6	8	8	8	9

(*) Senesc. = senescência.

Obs.: Desenvolvimento em %, consumo de água em mm/dia, profundidade das raízes em cm, lâmina a ser aplicada em mm, turno de irrigação em dias.

Sugestão prática para orientar o manejo das irrigações

A determinação rigorosa da quantidade de água a ser aplicada e do momento mais oportuno de aplicação não é tarefa fácil de ser realizada em condições práticas, pois envolve o manuseio de equipamentos que, mesmo não sendo complexos, requerem instalação e interpretação criteriosas. Por outro lado, a experiência demonstra que, com a prática, os agricultores podem tornar-se muito criteriosos na identificação de quando e quanto irrigar.

Uma forma prática de se avaliar a quantidade de água a aplicar seria calcular as quantidades seguramente insuficientes para provocar perdas por percolação, por exemplo, os solos argilosos podem oferecer 12% de água disponível em volume, ou 12 mm/10 cm de profundidade. Assumindo-se uma profundidade efetiva de raízes de 30 cm (típico para muitas culturas forrageiras), poderia ser aplicada uma lâmina líquida de 36 mm em cada irrigação. Já em solos de textura média, a capacidade de água disponível reduz-se para

8% ou 8 mm/10 cm de profundidade de solo. A lâmina a ser aplicada nesse caso ficaria em 24 mm. Solos mais arenosos exibem cerca de 5% de água disponível ou 5 mm/10 cm e a lâmina a ser aplicada ficaria em torno de 15 mm.

Portanto, deve-se aplicar uma quantidade de água suficiente para suprir a cultura durante um período razoavelmente previsto. Em seguida, isolar uma pequena parcela de plantas que serão irrigadas manualmente com maior frequência (a cada 3 ou 4 dias) assegurando que não sofrerão deficiência hídrica. Em horários de maior transpiração em dias ensolarados, comparar o estado de hidratação (turgescência) das plantas irrigadas normalmente com aquelas irrigadas com maior frequência. Havendo diferenças, comprova-se que a quantidade de água existente no solo revela-se insuficiente para suprir a demanda da cultura irrigada. Portanto, deve-se ajustar a quantidade de água a ser aplicada àquela condição e identificar o turno de irrigação correspondente.

Deve-se considerar, entretanto, que, conforme se observa em várias regiões, a convivência com a prática de irrigação pode, gradativamente, conferir aos agricultores um conhecimento satisfatório do manejo mais adequado às condições de solo-planta-clima prevalentes em suas áreas irrigadas. Essa conveniente possibilidade acaba superando alternativas de manejo mais elaboradas e onerosas que poderiam ser propostas aos irrigantes.

Pesquisas recentes conduzidas pelo Agricultural Water Management Council and California Water Coalition (2010) revelaram que a maioria dos agricultores em regiões com destacada tecnologia agrícola, como o Vale de San Joaquín, no estado da Califórnia, programa as irrigações de culturas anuais ou perenes em função de experiências pessoais adquiridas pela observação visual da condição da água no solo ou nas plantas cultivadas, ou seja, sem recorrer a métodos científicos. A principal razão para justificar essa conduta foi atribuída ao custo relativamente elevado da informação, mesmo considerando que dispõem, gratuitamente, desde 1978, de acesso ao programa California Irrigation Management Information System (Cimis) que administra uma rede estadual

com mais de 125 estações meteorológicas automáticas, para estimar o consumo de água das culturas na programação das irrigações.

Outra possibilidade promissora, semelhante ao programa Cimis existente na Califórnia, consiste em utilizar as informações fornecidas pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro) disponibilizado no *site* <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>, onde se podem obter dados atualizados dos principais elementos agroclimatológicos, o balanço hídrico e a determinação das necessidades de irrigação para todas as regiões do estado de São Paulo. Essas informações podem ser extrapoladas para regiões com características climáticas semelhantes às aquelas incluídas no programa estadual paulista.

IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

Introdução

Os sistemas de irrigação por aspersão se caracterizam por aplicar a água em área total, ou seja, não dispõem de recursos operacionais que permitem localizar a aplicação de água em locais de maior interesse na área irrigada, como o sistema radicular das plantas cultivadas. Portanto, são particularmente recomendados para as culturas forrageiras que, quando completamente desenvolvidas, cobrem totalmente a superfície do solo. Assim, onde ocorrer a precipitação de uma gota de água proveniente de um aspersor haverá uma raiz pronta para absorvê-la.

Outras importantes características associadas aos sistemas por aspersão convencional podem ser destacadas:

- ✓ permitem controlar efetivamente a razão de aplicação de água, eliminando a possibilidade de escoamentos superficiais que poderiam resultar em processos erosivos localizados com graves prejuízos econômicos e ambientais;
- ✓ permitem controlar efetivamente a quantidade de água aplicada para satisfazer exigências específicas desde a ger-

- minação de sementes até o completo desenvolvimento das plantas cultivadas, reduzindo as perdas por percolação;
- ✓ podem ser facilmente automatizados, reduzindo a utilização de mão de obra e favorecendo a operação noturna;
 - ✓ incorporam com facilidade e eficiência a prática de quimigação, particularmente a fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes minerais ou orgânicos via água de irrigação;
 - ✓ representam os únicos sistemas de irrigação capazes de controlar efetivamente a ocorrência de geadas leves, desde que prevista no dimensionamento e operação dos sistemas. Nessa aplicação, a intensidade média de precipitação deve estar em torno de 3 mm/h e a unidade de bombeamento deve promover a aspersão simultânea em toda a área a ser protegida. A elevada vazão requerida, nessa aplicação, em torno de 30 m³/h por hectare protegido, deve operar apenas enquanto a temperatura do ar atmosférico estiver se aproximando de zero grau centígrado;
 - ✓ podem ser renegociados caso haja um desinteresse por sua utilização;
 - ✓ são inadequados para utilização de águas reconhecidamente poluídas em culturas que poderão ser consumidas *in natura* (sem processamento) por pessoas ou animais. Requerem a instalação de tela ou crivo na entrada da tubulação de sucção para evitar a entrada de corpos estranhos em suspensão, que poderiam obstruir, parcial ou totalmente, os bocais dos aspersores e comprometer a qualidade da reposição de água;
 - ✓ têm desempenho muito suscetível às condições de vento. A ocorrência frequente de ventos com intensidade moderada (em torno de 10 km/h) compromete a uniformidade de distribuição de água e pode encarecer, ou mesmo inviabilizar, a adoção desses sistemas de irrigação;
 - ✓ requerem considerável quantidade de energia para distribuição e pressurização da água na área irrigada. O aumento

- da pressurização apresenta uma relação direta com o aumento no consumo energético;
- ✓ utilizam grande quantidade de material manufaturado que consome proporções significativas de matérias-primas e energia no processo de fabricação, contrariando o apelo universal para a preservação de recursos naturais e redução do consumo energético nos processos industriais.

A seleção criteriosa dos aspersores constitui um elemento muito importante na redução de custos e manutenção da qualidade das irrigações. Na concepção tecnológica de baixo custo, o aspersor comercial recomendado é feito de material predominantemente plástico, com bocal único em torno de 3 mm de diâmetro, vazão aproximada de 500 L/h, operando com pressões relativamente reduzidas, em torno de 200 kPa (cerca de 20 m de carga manométrica). A disposição usual dos aspersores na área irrigada segue a forma quadrangular, com espaçamento recomendado de 12 m nas linhas e entre as linhas laterais, onde o aspersor apresenta um desempenho bastante satisfatório até mesmo em condições de ventos fracos (com velocidade média inferior a 5 km/h).

A intensidade média de precipitação, em torno de 3,5 mm/h, assegura a infiltração local e instantânea de toda a vazão precipitada, eliminando assim a possibilidade da ocorrência de escoamento superficial, em praticamente qualquer condição de solo e topografia onde a agricultura pode ser praticada. Em consequência, o período de aplicação de água em cada posição poderia ser ampliado para 8 a 10 h/dia, o que favoreceria a uniformidade de distribuição de água na área irrigada, em função da variabilidade na direção e intensidade dos ventos que prevalecem durante o período operacional.

Outra vantagem de um maior período operacional em cada posição é o favorecimento da operação noturna em sistemas confiáveis, mesmo não sendo automatizados, reduzindo significativamente o custo de energia elétrica cobrado pela concessionária, sob a forma de tarifa verde ou diferenciada, além de reduzir proporcio-

nalmente a vazão do sistema de irrigação e, consequentemente, a potência e o custo da unidade de bombeamento e do transformador, bem como o custo de dispositivos de proteção eventualmente requeridos na instalação da unidade de bombeamento.

Vantagens adicionais decorrentes da redução da vazão requerida podem ser consignadas pela utilização de mananciais hídricos mais limitados, como minas e pequenos afloramentos de água subterrânea ou escoamentos superficiais, sem a necessidade da construção de reservatórios, o que favorece os custos de implementação do projeto.

Uma característica marcante nesses sistemas de irrigação é a possibilidade de utilização de tubulações de PVC especificadas para aplicações sanitárias (esgoto) que, em geral, apresentam maior disponibilidade e menor custo em qualquer região do país se comparadas às tubulações com especificações de resistência à pressão, identificadas por classes de pressão PN (pressão nominal). A Tabela 4 apresenta as especificações técnicas dos tubos de PVC sol-dável que poderiam ser utilizados em projetos de irrigação em piquetes no sistema de pastejo rotacionado. É importante certificar-se da disponibilidade de conexões normalizadas para executar o dimensionamento hidráulico sem recorrer às indesejáveis improvisações dimensionais que poderiam comprometer o desempenho do sistema de irrigação. O processo de fabricação de tubos e conexões normalizados deve satisfazer critérios normativos aprovados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e, portanto, ser capaz de assegurar a intercambiabilidade entre diferentes fabricantes, com significativa variação de qualidade e custo.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, a resistência à pressão dos tubos de PVC é determinada, basicamente, pela espessura da parede que, por sua vez, depende da quantidade de matéria-prima empregada no processo de fabricação. Como os tubos destinados às aplicações sanitárias não são especificados em relação à resistência à pressão, mas apenas às suas características dimensionais (expressas pelo diâmetro nominal – DN), subentende-se que revelam menores espessuras de parede, porém, suficientes para

resistir aos reduzidos valores de pressurização recomendados no dimensionamento, particularmente na condição enterrada no solo, a cerca de 30 cm de profundidade. Nessa condição, a ação pressurizada da água no interior da tubulação promove uma reação contrária do solo envolvente, que se comporta como uma braçadeira contínua envolvendo os tubos, aumentando consideravelmente sua resistência à ruptura. Além disso, a tubulação não sofre os efeitos prejudiciais da radiação ultravioleta e da variação térmica, que comprometem a durabilidade das características operacionais dos tubos. Apesar de não haver estudos conclusivos, admite-se uma vida útil estimada de, pelo menos, vinte anos para a tubulação enterrada nessas condições. Se fosse possível atribuir uma classe de pressão para os tubos DN 40 para esgotamento sanitário, em função apenas da espessura da parede, esse valor seria correspondente a um PN 40, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões usuais de tubos de PVC soldáveis aplicáveis aos sistemas de irrigação por aspersão em piquetes no sistema de pastejo rotacionado

DN	25	25	32	35	35	40	40	50	50	50
De	25	25	32	38,1	38,1	40	40	50,5	50,5	50,5
Esp	1,2	1,7	1,5	1,2	1,4	1,9	1,2	1,2	1,4	1,9
Di	22,6	21,6	29	35,7	35,3	36,2	37,6	48,1	47,7	46,7
PN	60	75	60	40	60	60	—	40	60	80
Cor	azul	mar.	azul	azul	azul	azul	bran.	azul	azul	azul

Obs.: DN = diâmetro nominal; De = diâmetro externo, mm; Esp = espessura mínima de parede, mm; Di = diâmetro interno, mm; PN = pressão nominal (classe de pressão de serviço, expressa como carga manométrica, m); mar. = marrom; bran. = branca.

A tubulação enterrada oferece ainda outras vantagens práticas incontestáveis: não há necessidade de se utilizar adesivo plástico para soldagem dos tubos na execução do projeto. Basta aplicar um lubrificante sólido ou líquido nas conexões para assegurar um acoplamento seguro, sem a possibilidade de ruptura durante a

operação pressurizada. Isto favorece o processo de instalação e o posicionamento correto da haste que suporta os aspersores, além de possibilitar a reutilização dos tubos caso haja uma interrupção na atividade de irrigação. Para um melhor desempenho das irrigações, a haste deve estar sempre posicionada na direção perpendicular à inclinação do terreno.

Além disso, a tubulação enterrada não interfere no manejo dos animais e permite a execução de algumas práticas mecanizadas nos piquetes, como a roçagem da forrageira tropical para favorecer a sobressemeadura de espécies de clima temperado (como a aveia e o azevém) nos períodos de ocorrência de baixas temperaturas, quando o crescimento da forrageira tropical torna-se mais limitado.

Principais componentes

A tubulação recomendada para composição das linhas laterais deve apresentar um desempenho hidráulico favorável e um custo reduzido. Uma opção interessante têm sido os tubos de PVC DN 40 (diâmetro nominal de 40 mm), com 37,6 mm de diâmetro interno, de cor branca, especificados para aplicações em esgotamento sanitário predial, notadamente em pias e lavatórios, o que assegura sua disponibilidade comercial em todas as regiões do país. Outro aspecto importante dessa recomendação é a grande variedade de marcas comerciais com diferentes níveis de qualidade e preços. Independentemente da empresa fabricante, os tubos e as conexões devem ser normalizados, o que favorece a intercambiabilidade e a montagem do sistema de tubulações e acessórios que, em geral, também apresentam um custo relativamente reduzido.

A saída de água para os aspersores inicia-se com a instalação de uma conexão tê na linha lateral que receberá uma bucha de redução soldável 40 mm × 25 mm de cor marrom, para inserção da haste ou tubo de subida DN 25 (de cor azul ou marrom, de acordo com a conveniência) em cuja extremidade conecta-se uma luva mista (soldável/roscável) 25 mm × ½ polegada para instalação dos asper-

sores. Para o último aspersor da linha lateral, a conexão tê será substituída por um joelho DN 40 de cor branca.

O comprimento da haste depende da altura máxima de crescimento prevista para a cultura forrageira. Acima de 50 cm de comprimento, a haste deve estar apoiada em estacas, atenuando possíveis vibrações operacionais que poderiam danificar as conexões e, ao mesmo tempo, protegendo-a de acidentes decorrentes do contato com os animais. No caso de forrageiras tropicais, como as do gênero *Panicum*, cujo crescimento da parte aérea pode ultrapassar 1 m de altura nos meses mais quentes do ano, recomenda-se instalar os aspersores a 1,2 m de altura em relação à superfície do solo. Considerando 0,3 m de profundidade da linha lateral enterrada, essa altura totaliza então 1,5 m, ou seja, podem-se obter 4 hastes por tubo de 6 m de comprimento. Para forrageiras com porte mais reduzido, como as do gênero *Cynodon*, as hastes podem apresentar 1 m de altura (0,3 m enterradas e 0,7 m acima da superfície do solo) e, assim, um tubo de 6 m poderia fornecer 6 hastes.

Para evitar que o contato dos animais danifique as hastes e os aspersores, recomenda-se apoiá-los em estacas resistentes de madeira, com pelo menos 10 cm de largura e espessura, tendo o cuidado de envolver o conjunto com arame farpado até a base dos aspersores. Esse recurso tem se revelado satisfatório em piquetes destinados aos bovinos leiteiros. Porém, acredita-se que possa ser efetivo também em instalações para bovinos de corte e outros animais de menor porte submetidos ao sistema de pastejo rotacionado em piquetes.

O diâmetro da tubulação das linhas de derivação de água às linhas laterais depende do número de linhas laterais que estarão em operação simultânea. Sendo uma única linha, pode-se utilizar o mesmo DN 40, desde que as perdas de carga hidráulica não comprometam o desempenho do sistema. Mais de uma linha em operação simultânea pode requerer um diâmetro superior, por exemplo, DN 50. Nessa faixa de diâmetro, os tubos específicos para irrigação podem se mostrar economicamente mais vantajosos.

Nesse caso, é importante assegurar, com os fornecedores, a disponibilidade das conexões normalizadas para acessar as linhas laterais especificadas com DN 40. A dimensão DN 50 apresenta cruzetas soldáveis que podem favorecer a derivação para as linhas laterais. No caso de tubos DN 40, as derivações para as linhas laterais são executadas com conexões tês.

Dimensionamento ilustrativo para piquetes em sistemas de pastejo rotacionado

Nas condições em que os piquetes ainda não foram executados, recomenda-se considerar a definição do projeto juntamente com o dimensionamento do sistema de irrigação, procurando-se adotar linhas laterais com comprimentos ajustados a um melhor desempenho econômico desses sistemas. Assim, por exemplo, as linhas laterais constituídas por tubulações de PVC DN 40 instaladas em nível poderiam acomodar até 13 aspersores em operação simultânea, com vazão média por aspersor de 500 L/h, resultando em uma perda de carga hidráulica por atrito em todo o comprimento das linhas laterais (150 m) de 3,8 m, inferior, portanto, ao limite tolerável de 20% da carga operacional média dos aspersores, estimada em 20 m. Desse modo, a faixa irrigada por uma linha lateral poderia atingir 156 m de comprimento. Nesse dimensionamento ilustrativo, duas linhas laterais irrigam uma faixa de terreno com 30 m de largura, portanto, 15 m para cada lateral. Essa alternativa tem dupla finalidade:

- ✓ otimizar o aproveitamento da água na produção de fitomassa, ou seja, toda água aspergida ficará confinada na área dos piquetes; e
- ✓ evitar que o jato dos aspersores atinja os corredores, para não formar lama e não comprometer o fornecimento de suplementação alimentar (sal mineral e concentrados).

Dessa maneira, a área irrigada por duas linhas laterais dispostas lateralmente a uma linha de derivação seria $2 \times (156 \times 15) = 4.680 \text{ m}^2$, contribuindo para melhorar o desempenho econômico do sistema de irrigação.

Evidentemente, essas dimensões devem estar também ajustadas às dimensões dos piquetes e ao esquema de manejo a ser adotado para o pastejo dos animais. O dimensionamento ilustrativo a ser desenvolvido a seguir procurou favorecer, principalmente, as exigências do sistema de irrigação sem, contudo, ignorar as principais recomendações básicas de manejo dos animais nos piquetes. A orientação técnica especializada nesse sistema de manejo tem recomendado a adoção de piquetes relativamente pequenos, ou seja, em vez de aumentar as dimensões dos piquetes, tem sido mais conveniente ampliar unidades menores para abrigar um maior número de animais.

O dimensionamento esquematicamente representado na Figura 2 prevê a instalação de 32 piquetes de 900 m^2 ($30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$) totalizando uma área efetiva irrigada para pastejo de $28.800 \text{ m}^2 = 2,88 \text{ ha}$. Caso o número de piquetes requeridos para o sistema de pastejo rotacionado seja inferior a 32, recomenda-se considerar as seguintes alternativas:

- ✓ redimensionar a área em função do número de piquetes desejados;
- ✓ reservar os piquetes adicionais para situações emergenciais ou outras destinações de interesse do produtor.

Uma grande redução desse número poderia viabilizar, com pequenas modificações, dois conjuntos de piquetes. Por outro lado, não há informações de que 32 piquetes tenham sido superados na prática desse sistema de manejo.

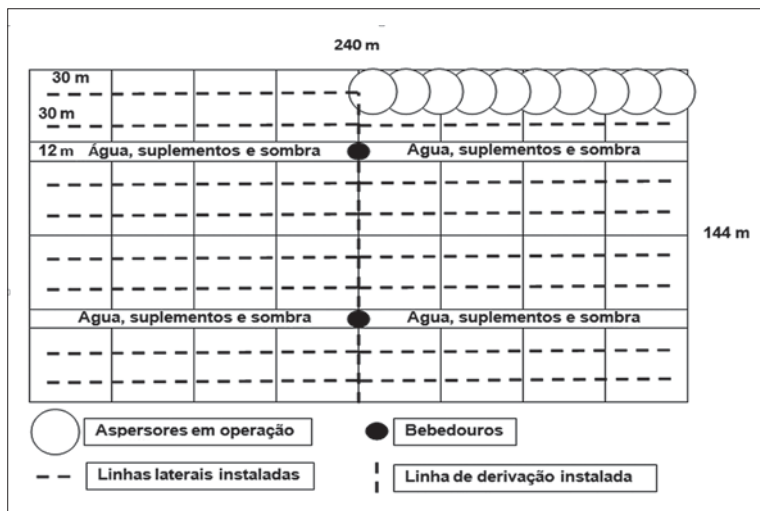


Figura 2 – Dimensões favoráveis para irrigação por aspersão convencional em piquetes no sistema de pastejo rotacionado

As dimensões dos piquetes também podem ser alteradas em função do número de animais incluídos no sistema. As dimensões propostas poderiam atender, em média, cerca de 15 vacas em lactação, em instalações com forrageiras produtivas e bem conduzidas. Nos meses de verão, com maior incidência de radiação solar e aumento da temperatura do ar atmosférico, esse número pode e deve ser ampliado para favorecer uma rebrota vigorosa da espécie forrageira após um pastejo bem aproveitado.

A área proposta apresenta então dimensões ilustrativas de 240 m × 144 m, ou seja, 4 fileiras com 8 piquetes em cada uma. Estão previstos quatro corredores com 12 m de largura e 120 m de comprimento, para permitir o acesso dos animais aos piquetes e o fornecimento de sombra (árvores ou abrigos rústicos), suplementação alimentar (sal mineral e concentrados – rações) e água aos animais. É recomendável que os animais desenvolvam a ruminação nos corredores ou em outros locais fora dos piquetes. No esquema sugerido, o abastecimento dos bebedouros é assegurado pelo sistema de irrigação. É importante observar que a maior dimensão da

área ocupada pelos piquetes esteja aproximadamente em nível, para favorecer a hidráulica da operação dos aspersores e reduzir os problemas de conservação do solo nos corredores e nos próprios piquetes.

Convém esclarecer, ainda, que tanto o número quanto as dimensões dos piquetes e corredores representam apenas sugestões, podendo ser modificadas em função de disponibilidade de área e exigências específicas de manejo em condições climáticas predominantes, principalmente chuvas, temperatura e radiação solar, que podem influenciar o período de descanso das espécies forrageiras. Assim, com chuvas frequentes recomenda-se ampliar as áreas dos corredores para reduzir a formação de lama, que poderia prejudicar o manejo e o nível de conforto dos animais.

A demanda hídrica será assumida em 3 mm/dia, considerando que o sistema deverá operar principalmente nos meses de outono e inverno, e a eficiência de aplicação de água estimada em 80%. O período operacional foi fixado em 20 h/dia, com inúmeras vantagens dimensionais e operacionais que serão consideradas oportunamente.

Volume de água requerido (V_r) e vazão requerida (Q_r)

A área irrigada será calculada para 32 piquetes $\times$ 900 m² = 28.800 m² ou 2,88 ha. Portanto,

$$V_r = 10 \times 2,88 \times 3 / 0,8 = 108 \text{ m}^3/\text{dia} = 108.000 \text{ L}/\text{dia}$$

Adotando-se um período operacional médio diário de 20 horas, resulta:

$$Q_r = 108 / 20 = 5,4 \text{ m}^3/\text{h} = 1,5 \text{ L}/\text{s}$$

Número de aspersores que devem operar simultaneamente (n)

Assumindo-se, inicialmente, uma única linha lateral com 10 aspersores em operação simultânea, a vazão média dos aspersores será calculada por:

$$q = 5,4 / 10 = 0,54 \text{ m}^3/\text{h} = 540 \text{ L/h}$$

e a razão ou intensidade média de precipitação (I) será então determinada pela relação:

$$I = q / (E_1 \times E_2)$$

em que q – vazão do aspersor, L/h; E_1 e E_2 – espaçamentos regulares adotados entre os aspersores nas linhas laterais e entre as linhas laterais, respectivamente, m.

No presente exemplo, o espaçamento regular recomendado para os aspersores será de 12×12 m e, portanto,

$$I = 540 / (12 \times 12) = 3,75 \text{ mm/h}$$

Esse valor pode ser considerado muito reduzido e incapaz, portanto, de provocar escoamento superficial na maioria dos solos e condições topográficas que prevalecem nos piquetes, eliminando a possibilidade de erosão e perda de nutrientes. Apresenta ainda outras vantagens:

- ✓ melhor uniformidade de distribuição de água atribuída ao maior tempo de aplicação em cada posição, determinada pela variabilidade observada na direção e intensidade do vento;
- ✓ maior tempo de operação em cada posição que pode viabilizar a operação noturna, reduzindo a vazão, a potência da unidade de bombeamento e do transformador, o diâmetro

- e a perda de carga hidráulica nas tubulações e acessórios, além de possibilitar o pagamento de tarifas reduzidas de consumo de energia elétrica em muitas regiões;
- ✓ menor utilização de mão de obra para operação do sistema. Assumindo-se, por exemplo, um período operacional de 10 h em cada posição, haverá necessidade apenas de se abrir um registro plástico compacto de esfera na entrada de uma linha lateral e fechá-lo após 10 h. Repetir o processo em outra linha para completar as 20 h diárias de operação.

Escolha dos aspersores

Devem-se escolher os aspersores que proporcionem a vazão média calculada com as maiores vantagens econômicas e operacionais, a saber:

- ✓ reduzida pressão requerida para economizar energia sem prejudicar o desempenho das irrigações em função de uma adequada uniformidade de distribuição de água;
- ✓ máximo alcance do jato na pressão especificada;
- ✓ satisfatória uniformidade de distribuição espacial de água;
- ✓ custo reduzido e durabilidade elevada;
- ✓ idoneidade da empresa fabricante para assegurar a garantia operacional e promover reparos e substituições, quando for necessário.

Uma consulta aos catálogos técnicos de aspersores comerciais revela a disponibilidade de unidades rotativas por impacto, fabricadas com predominância de material plástico, capazes de fornecer a vazão requerida, quando dotados de bocal único de 3 mm de diâmetro. Para se calcular a pressão média requerida, basta extrair do catálogo uma informação de valores de pressão e vazão e aplicar a relação:

$$P = P_c \times (q / q_c)^2$$

em que P – pressão (ou carga manométrica) média requerida pelo aspersor; kPa – quilopascal (ou m); P_c – pressão (ou carga manométrica) indicada no catálogo para proporcionar a vazão informada no catálogo; q_c e q – vazão média especificada para o aspersor (540 L/h).

Assumindo-se que o catálogo informe uma vazão de 510 L/h à pressão de 200 kPa, resulta:

$$P = 200 \times (540 / 510)^2 = 224 \text{ kPa}$$

A carga manométrica correspondente (H) requerida nos bocais dos aspersores será obtida dividindo-se a pressão (kPa) pelo peso específico da água (assumido constante e igual a 9,81 kN/m³ – quilonewtons por metro cúbico de água):

$$H = 224 / 9,81 = 22,8 \approx 23 \text{ m de carga manométrica}$$

Portanto, para fornecer uma vazão média de 540 L/h, o aspersor deverá operar a uma pressão, disponível no bocal único, de 224 kPa ou cerca de 23 m de carga manométrica.

Determinação da carga manométrica requerida na saída da bomba

Convém esclarecer que, por conveniência de cálculo, recomenda-se adotar o conceito de carga manométrica, que é a relação entre a pressão (expressa em kPa) e o peso específico da água (assumido constante e igual a 9,81 kN/m³). Assim, a unidade resultante será metro, que pode ser somada com desníveis topográficos para compor a carga manométrica total em diferentes partes do sistema de irrigação.

Para se determinar a carga manométrica requerida na saída da bomba, há necessidade de se calcular, em primeiro lugar, a carga requerida na entrada das linhas laterais. Para isso, deve-se determinar a perda de carga contínua por atrito da água em escoamento no interior das tubulações.

A equação recomendada nesse cálculo é a de Darcy-Weisbach, ou equação universal de perda de carga, expressa por:

$$S_f = 0,082655 \times f \times Q^2 / d^5$$

em que S_f – perda de carga unitária, adimensional; f – fator de atrito, adimensional; Q – vazão derivada à linha lateral, m^3/s ; d – diâmetro interno da tubulação, m .

Em geral, os tubos extrudados de PVC revelam valores desprezíveis de rugosidade absoluta da parede interna, sendo considerados, portanto, hidraulicamente lisos. Nessa condição, o fator de atrito pode ser computado, preferencialmente, pela fórmula de Blasius:

$$f = 0,3164 \times R^{-0,25}$$

em que R – número de Reynolds, adimensional, simplificadamente calculado por:

$$R = 350 \times Q / d$$

em que Q – vazão, m^3/h ; d – diâmetro interno da tubulação, m .

A fórmula de Blasius é indicada para ser aplicada quando o escoamento revelar um número de Reynolds entre os limites 4.000 e 10^5 . Fora desse intervalo, recomenda-se empregar a fórmula de Swamee & Jain (1976):

$$f = 0,25 / \{ \log [0,27 \times r / d + 5,74 / R^{0,9}] \}^2$$

em que r representa o valor da rugosidade absoluta (altura média das imperfeições existentes na parede interna dos tubos) expressa na mesma unidade que o diâmetro interno (d). Nesse caso, mesmo sendo considerado desprezível, o valor da rugosidade absoluta deve ser fornecido pelo fabricante dos tubos. Essa fórmula apresenta melhores resultados (desvios máximos de 3% em relação à equação referencial de Colebrook-White) quando aplicada observando-se as condições: $5.000 < R < 10^8$ e $10^{-6} < r/d < 10^{-2}$.

Para se calcular a perda de carga por atrito nas linhas laterais, deve-se, primeiramente, computar a perda de carga (H_f) assumindo-se que a vazão se mantenha constante em todo o comprimento (L) da tubulação:

$$H_f = S_f \times L$$

A seguir, introduzir um fator de correção ajustado (F_a) para considerar a variação da vazão ao longo do comprimento da tubulação pela presença dos aspersores em operação, instalados em espaçamentos regulares, empregando-se a equação proposta por Scaloppi (1985):

$$F_a = (n \times F + s - 1) / (n + s - 1)$$

em que n – número de aspersores em operação na linha lateral; F – coeficiente de correção de Christiansen; s – relação entre a distância do primeiro aspersor em operação na linha lateral e o espaçamento regular adotado entre os aspersores.

O fator de correção de Christiansen (F) será calculado apenas em função do número de aspersores em operação na linha lateral (n) por:

$$F = 1/3 + 1 / (2 \times n) + 1 / (6 \times n^2)$$

O critério universal para aceitação da perda de carga por atrito na tubulação que compõe as linhas laterais (H_{f_L}) é que seu valor

seja, no máximo, 20% da carga média que prevalece nessas linhas. Procedimentos analíticos aplicados à hidráulica das linhas laterais por Scaloppi & Allen (1993) permitiram comprovar que a condição operacional média ocorre quando for consumido 75% da perda de carga hidráulica em toda a linha lateral. O local onde ocorre a condição operacional média, em linhas laterais instaladas em nível, corresponde a, aproximadamente, 37% do comprimento da tubulação.

No presente dimensionamento tem-se:

$$\begin{aligned} Q &= 5,4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}, d = 37,6 \text{ mm} = 0,0376 \text{ m}, n = \\ &10, L = 114 \text{ m (o primeiro aspersor será instalado a 6 m do} \\ &\text{início da linha lateral). Portanto,} \\ R &= 350 \times 5,4 / 0,0376 = 50.266 \end{aligned}$$

Estando o valor de R entre 4000 e 10^5 e assumindo-se que a parede interna dos tubos apresenta uma rugosidade absoluta desprezível, pode-se empregar a fórmula de Blasius para se obter o valor do fator de atrito f :

$$f = 0,3164 \times 50.266^{-0,25} = 0,021$$

Conhecidos o fator de atrito (f), a vazão (Q) e o diâmetro interno da tubulação (d), pode-se computar a perda de carga na linha lateral na seguinte sequência de cálculos:

$$\begin{aligned} Sf &= 0,082655 \times 0,021 \times 0,0015^2 / 0,0376^5 = 0,052 \\ Hf &= L \times Sf = 114 \times 0,052 = 5,93 \text{ m} \\ F &= 1/3 + 1 / (2 \times n) + 1 / (6 \times n^2) = \\ &1/3 + 1 / (2 \times 10) + 1 / (6 \times 10^2) = 0,385 \end{aligned}$$

s = distância do primeiro aspersor dividida pelo espaçamento regular adotado entre os aspersores na linha lateral = $6/12 = 0,5$ (alternativamente, obtido pela parte fracionária resultante da divisão do comprimento da linha lateral pelo espaçamento regular adotado entre os aspersores, ou $114/12 = 9,5$)

$$\begin{aligned}
 Fa &= (n \times F + s - 1) / (n + s - 1) = \\
 &(10 \times 0,385 + 0,5 - 1) / (10 + 0,5 - 1) = 0,3526 \\
 Hf_L &= Hf \times Fa = 5,93 \times 0,3526 = 2,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

A carga hidráulica requerida no início das linhas laterais (H_o) será então calculada por:

$$H_o = H + 0,75 \times Hf_L + \delta z$$

Sendo H a carga operacional média dos aspersores (23 m), Hf_L , a perda de carga hidráulica em todo o comprimento da linha lateral (2,1 m), e δz , a diferença de cota entre o bocal do aspersor e o início da linha lateral. No presente exemplo, assumiu-se que a linha lateral está instalada em nível na superfície do solo e, portanto, será considerada apenas a altura da haste que suporta o aspersor (1,5 m). Assim:

$$H_o = 23 + 0,75 \times 2,1 + 1,5 = 23 + 1,6 + 1,5 = 26,1 \text{ m}$$

Para linhas laterais em aclave ou em declive, a equação deve incluir no termo δz o valor correspondente ao desnível entre o local de ocorrência da condição operacional média e o início da linha lateral, respeitando-se o sinal algébrico obtido nessa operação. Assim, por exemplo, para uma linha lateral instalada em aclave, sendo 1 m a diferença de cota entre o ponto correspondente à condição operacional média e o início da linha lateral, o valor de H_o teria que ser acrescido de 1 m, ou 27,1 m. Em declive de 1 m, o valor de H_o seria reduzido de 1 m, tornando-se 25,1 m. Deve-se considerar que o ponto correspondente à condição operacional média desloca-se em função da inclinação da linha lateral, conforme demonstrado por Scaloppi & Allen (1993).

Dimensionamento da linha de derivação

A configuração física (*layout*) adotada no dimensionamento ilustrativo prevê a instalação de uma linha de derivação localizada na parte intermediária da área irrigada com a finalidade de abastecer as linhas laterais e, também, fornecer água aos bebedouros instalados nas áreas de acesso e descanso localizadas nos corredores. Para reduzir custos, adotou-se um bebedouro para atender duas áreas de descanso contíguas. Assim, apenas dois bebedouros seriam necessários para o projeto.

O comprimento da tubulação para executar a linha de derivação é determinado pela distância entre a primeira e a última derivação, respeitando-se as larguras adotadas para as áreas de descanso nos corredores, aqui sugeridas com 12 m. Portanto, no presente exemplo, o comprimento da linha de derivação será de 126 m.

É importante observar que as linhas laterais estão espaçadas a 9 m dos limites longitudinais dos piquetes e os últimos aspersores estão posicionados a 6 m dos limites transversais dos piquetes. Essa disposição teve por finalidade aproveitar ao máximo a água aspergida, mesmo prevendo quantidades insuficientes aplicadas nas margens longitudinais da área irrigada. Essa prática pode ser incorporada ao dimensionamento, desde que seja admitida a ocorrência de chuvas durante os períodos de irrigação. Além disso, existem amplas evidências experimentais que comprovam uma maior eficiência de uso de água (quantidade de fitomassa produzida/quantidade de água aplicada) em plantas submetidas a alguma deficiência hídrica.

Como está prevista a operação sequencial de apenas uma linha lateral, a primeira opção seria empregar o mesmo diâmetro da tubulação adotada para as linhas laterais, ou seja, DN 40. Para tanto, é recomendável verificar a variação da perda de carga conforme segue:

$$H_f = 0,052 \times 126 = 6,55 \text{ m}$$

Esse valor representa uma perda significativa de carga hidráulica na linha de derivação. As principais consequências seriam um aumento na carga manométrica da bomba com aumento no consumo de energia e uma pressurização comprometedora da tubulação que não é especificada para resistir à pressão. Por essas razões, aconselha-se que o diâmetro seja ampliado para DN 50, com 48,1 mm de diâmetro interno e uma classe de pressão PN 40, cor azul. Assim, a perda de carga será computada na sequência:

$$R = 350 \times 5,4 / 0,0481 = 39.293$$

Estando o valor de R entre 4.000 e 10^5 e assumindo-se que a parede interna dos tubos apresenta uma rugosidade absoluta desprezível, pode-se empregar a fórmula de Blasius para obter o valor do fator de atrito f:

$$f = 0,3164 \times 39293^{-0,25} = 0,0225$$

$$Sf = 0,082655 \times 0,0225 \times 0,0015^2 / 0,0481^5 = 0,016$$

$$Hf = Sf \times L = 0,016 \times 126 = 2,1 \text{ m}$$

Esse valor pode ser considerado adequado e será admitido no presente dimensionamento.

Para assegurar que todas as linhas laterais terão uma carga manométrica igual ou superior a $H_o = 26,1 \text{ m}$ para o ponto de derivação, recomenda-se identificar a condição operacional crítica em toda a área irrigada. Havendo uma única linha lateral em operação, a condição crítica coincidirá com aquela correspondente à maior cota da área irrigada.

Se houver duas linhas laterais em operação simultânea, deve-se adotar um esquema favorável ao desempenho hidráulico, aqui denominado posições opostas, ou seja, uma linha lateral operando na menor cota simultaneamente a outra operando na maior cota. Desse modo, as laterais em operações sucessivas ascendentes e descendentes indicadas pelas setas na Figura 3 deverão ocupar posições adjacentes na parte intermediária da área irrigada. Pode-se

observar, na Figura 3, que a vazão total para abastecer as duas linhas laterais será conduzida, no máximo, até quarta derivação, ou 54 m de distância da primeira derivação.

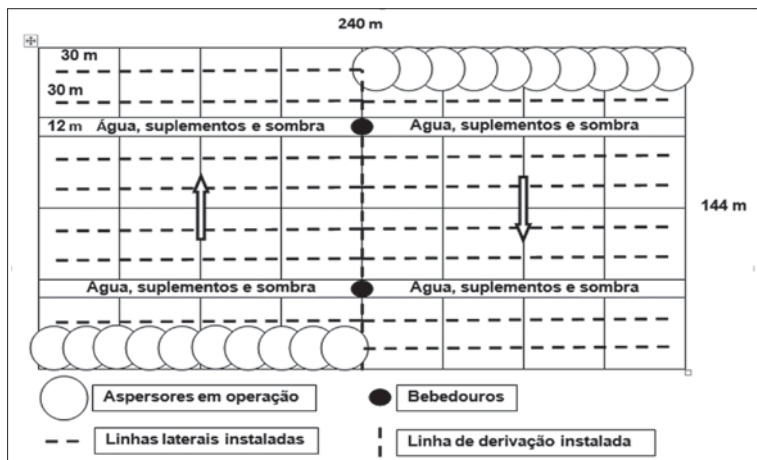


Figura 3 – Esquema da irrigação em piquetes no sistema de pastejo rotacionado com duas linhas laterais em operação simultânea (as setas indicam a sequência operacional)

O local de ocorrência da condição crítica com duas linhas laterais em operação simultânea pode ser identificado empregando-se o procedimento proposto por Scaloppi (2011). Para tanto, deve-se determinar o gradiente de declive médio (S_o) e as perdas de carga unitárias por atrito (S_f) correspondentes à condução da vazão para as duas linhas laterais (neste exemplo, entre a primeira e a quarta derivação) e à condução da vazão para apenas uma linha lateral (neste exemplo, entre a primeira e a oitava derivação), ambas calculadas com o mesmo diâmetro interno da tubulação. Em seguida, verificar o resultado das seguintes inequações:

$$S_o + S_{f_{Q/2}} > (S_o + S_{f_Q})/2 \rightarrow \text{a condição crítica ocorre em posições extremas}$$

$$S_o + S_{f_{Q/2}} < (S_o + S_{f_Q})/2 \rightarrow \text{a condição crítica ocorre em posições adjacentes}$$

em que S_o – gradiente de declive médio da superfície, adimensional; $Sf_{Q/2}$ e Sf_Q – perdas de carga calculadas com vazões para uma e duas linhas laterais, respectivamente.

Portanto, no primeiro caso, a condição crítica ocorre quando as linhas laterais operam nas posições opostas da área irrigada (uma operando no local de menor cota e a outra, no local de maior cota). Caso contrário, a condição crítica ocorrerá quando as duas laterais operam na parte intermediária da área irrigada, em posições próximas ou adjacentes.

A identificação da condição crítica para o dimensionamento significa que todas as linhas laterais deverão operar com uma carga hidráulica mínima de 26,1 m. Onde ocorrer cargas superiores a esse valor, pode-se adotar a alternativa mais conveniente entre as apresentadas a seguir:

- ✓ introduzir uma perda de carga localizada, através do fechamento parcial dos registros existentes na entrada das linhas laterais, para trazer a carga existente àquele valor;
- ✓ manter os registros totalmente abertos e calcular as reduções nos tempos de operação, proporcionais aos aumentos de vazão decorrentes dos aumentos de carga na entrada das linhas laterais (procedimento mais recomendável).

Com o propósito de ilustração numérica, será adotada uma redução no período operacional para 10 h/dia, o que determina a duplicação da vazão requerida para 10,8 m³/h, que será fornecida para duas linhas laterais operando simultaneamente, com vazões individuais médias de 5,4 m³/h. Assumir-se-á, também, um gradiente de inclinação médio do terreno de 0,03 (3%), o que determina a seguinte sequência de cálculos:

Cálculo de Sf_Q :

$$Q = 10,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}, d = 48,1 \text{ mm} = 0,0481 \text{ m}, e = \text{desprezível}$$

$$Sf = 0,082655 \times f \times Q^2 / d^5$$

$$R = 350 \times Q / d = 350 \times 10,8 / 0,0481 = 78.586$$

Portanto, $4.000 < R < 10^5 \rightarrow$ fórmula de Blasius para o cálculo de f :

$$f = 0,3164 \times R^{-0,25} = 0,019$$

$$Sf_Q = 0,082655 \times 0,019 \times 0,003^2 / 0,0481^5 = 0,055$$

$$(So + Sf_Q)/2 = (0,03 + 0,055)/2 = 0,0425$$

Cálculo de $Sf_{Q/2}$:

$Q = 5,4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$, $d = 48,1 \text{ mm} = 0,0481 \text{ m}$, $e =$ desprezível

$$Sf = 0,082655 \times f \times Q^2 / d^5$$

$$R = 350 \times Q / d = 350 \times 5,4 / 0,0481 = 39.293$$

Portanto, $4.000 < R < 10^5 \rightarrow$ fórmula de Blasius para o cálculo de f :

$$f = 0,3164 \times R^{-0,25} = 0,022$$

$$Sf_{Q/2} = 0,082655 \times 0,022 \times 0,0015^2 / 0,0481^5 = 0,016$$

$$So + Sf_{Q/2} = 0,03 + 0,016 = 0,046$$

Portanto,

$$So + Sf_{Q/2} = 0,046 > (So + Sf_Q)/2 = 0,425$$

Esse resultado confirma que as linhas laterais em posições extremas definem a condição operacional crítica, ou seja, o dimensionamento deve possibilitar uma carga manométrica mínima de 26,1 m na última linha lateral em operação na maior cota da área irrigada.

Carga manométrica requerida na primeira derivação (H_1)

A primeira derivação representa a entrada da tubulação na área irrigada, coincidindo com o final da adutora (tubulação que conduz

a vazão desde a unidade de bombeamento instalada no local de captação até a área irrigada). A parte final da adutora, porém, antes da primeira derivação, é o local indicado para promover a injeção de fertilizantes, principalmente se for adotado um sistema com reservatório fertilizante pressurizado. O cálculo da carga requerida na primeira derivação (H_1) será então efetuado pela equação:

$$H_1 = H_o + H_{f_{Q/2}} + \delta z_1$$

em que H_o – carga manométrica requerida no início da linha lateral, m; $H_{f_{Q/2}}$ – perda de carga por atrito no comprimento (L) da tubulação entre a última e a primeira derivação, m, calculada por: $H_{f_{Q/2}} = S_{f_{Q/2}} \times L$; δz_1 – diferença de cota entre a última e a primeira derivação, m, calculada por: $\delta z_1 = S_o \times L$.

Portanto,

$$H_1 = 26,1 + (0,016 + 0,03) \times 126 = 31,9 \approx 32 \text{ m}$$

Carga manométrica requerida na saída da bomba (H_b)

Será computada por:

$$H_b = H_1 + H_{f_Q} + \delta z_2$$

em que H_{f_Q} – perda de carga por atrito entre a primeira derivação e a saída da bomba, m; δz_2 – diferença de cota entre a primeira derivação e a saída da bomba, m.

Como a carga manométrica na primeira derivação (32 m) revela ainda um valor bem inferior a 40 m, o dimensionamento da adutora também será conduzido para uma tubulação PN 40, a mesma utilizada para a linha de derivação. Caso o cálculo de carga manométrica ultrapasse 40 m, mas seja inferior a 60 m, recomenda-

-se adotar uma tubulação PN 60, com um diâmetro interno especificado em 47,7 mm (Tabela 4).

Assumindo-se uma distância de 60 m entre a bomba e a primeira derivação e um gradiente de declive médio da superfície de 0,05 (5%), resulta:

$$Hf_Q + \delta z_2 = (0,055 + 0,05) \times 60 = 6,3 \text{ m}$$

$$H_b = 32 + 6,3 = 38,3 \text{ m}$$

Esse valor de carga manométrica indica a classe de pressão que a tubulação adutora deverá resistir. Assim, o valor calculado de 38,3 m poderia viabilizar uma tubulação especificada com PN 40 para compor a adutora. A recomendação de uma classe de pressão PN 60 proporcionaria uma margem de segurança mais adequada para a instalação, em função da possibilidade de ocorrência de transientes hidráulicos, e deve contribuir muito pouco para um aumento nos custos de investimento.

Carga manométrica total (H_t)

$$H_t = H_b + Hf_s + \delta z_b + Hf_{loc}$$

em que Hf_s – perda de carga por atrito na tubulação de sucção, m; δz_b – maior diferença de cota esperada entre o eixo da bomba e a superfície livre da água no manancial, m; Hf_{loc} – perdas de carga localizadas existentes em toda a rede hidráulica, m, estimadas pela seguinte aproximação:

$$Hf_{loc} = 0,05 \times (H_b - \delta z_1 - \delta z_2)$$

$$Hf_{loc} = 0,05 \times (38,3 - 3,8 - 3) = 1,6 \text{ m}$$

Assumindo-se uma perda de carga na tubulação de sucção ($Hf_s = 0,5 \text{ m}$) e um desnível ($\delta z_b = 3 \text{ m}$) entre o eixo da bomba e a superfície da água no poço de sucção, resulta:

$$H_t = H_b + Hf_s + \delta z_b + Hf_{loc} = 38,3 + 0,5 + 3,0 + 1,6 = 43,4 \text{ m}$$

Dimensionamento da unidade de bombeamento (motor e bomba hidráulica)

$$CV = Q \times H / (2,7 \times \rho_g)$$

em que CV – potência do motor, cavalos-vapor; Q – vazão da bomba, m^3/h ; H – altura manométrica total, m; ρ_g – rendimento global de bombeamento, %, calculado por:

$$\rho_g = \rho_m \times \rho_b \times \rho_t \times 100$$

em que, ρ_m , ρ_b e ρ_t – rendimentos do motor, bomba e mecanismo de transmissão, respectivamente, adimensionais e decimais.

O rendimento do motor elétrico pode ser estimado pelos valores sugeridos na Tabela 5. Por outro lado, os motores de combustão interna, acionados a biodiesel, apresentam rendimentos variáveis. Porém, na ausência de informações mais precisas, recomenda-se adotar um valor estimativo de 30%.

Tabela 5 – Rendimentos nominais mínimos de motores elétricos

<i>Potência nominal CV</i>	<i>Potência nominal kW</i>	<i>2 polos 3.500 rpm</i>	<i>4 polos 1.750 rpm</i>	<i>6 polos 1.150 rpm</i>	<i>8 polos 850 rpm</i>
1,0	0,75	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	82,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	88,5	89,5	88,0	85,5
10,0	7,5	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	89,5	90,0	88,5	88,5
15	11	90,2	91,0	90,2	88,5
20	15	90,2	91,0	90,2	89,5
25	18,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30	22	91,0	92,4	91,7	91,0
40	30	91,7	93,0	93,0	91,0
50	37	92,4	93,0	93,0	91,7
60	45	93,0	93,6	93,6	91,7
75	55	93,0	94,1	93,6	93,0
100	75	93,6	94,5	94,1	93,0
125	90	94,5	94,5	94,1	93,6
150	110	94,5	95,0	95,0	93,6
175	132	94,7	95,0	95,0	—
200	150	95,0	95,0	95,0	—
250	185	95,4	95,0	—	—

Fonte: Portaria interministerial nº 553, de 8/12/2005, publicada pelo Ministério de Minas e Energia.

A maioria das unidades de bombeamento apresenta um acionamento direto pela unidade motora, através de um eixo comum conectando o motor e a bomba, ou através de uma luva elástica, empregada para amortecer a tensão de cisalhamento originária no acionamento do conjunto. Nesses casos, o rendimento do mecanismo de transmissão é assumido em 100%, ou seja, toda a potência gerada na unidade motora (motor elétrico ou a biodiesel) é transmitida à unidade movida (bomba hidráulica centrífuga). Porém, quando a transmissão for executada por polias e correias, sempre ocorre algum deslizamento que acaba reduzindo o rendimento mecânico da transmissão a um valor variável entre 0,8 e 0,95, dependendo do tipo de correia e das características da instalação. Nas correias planas, esse valor encontra-se entre 0,8 e 0,95, e nas correias em V, o valor mais usual é 0,95, devido ao maior atrito existente entre a correia e a polia, que reduz o deslizamento. O rendimento hidráulico de bombas centrífugas deve ser obtido com o fabricante, na condição operacional de vazão e altura manométrica total especificada. Na ausência dessa informação, pode-se estimar esse rendimento consultando-se a Tabela 6.

Tabela 6 – Rendimento hidráulico usual de bombas centrífugas

Vazão – L/s	5,0	7,5	10	15	20	25	30	40	50	80
Rend. – %	55	61	64	68	72	76	80	83	85	86

Obs.: Rend. – rendimento hidráulico operacional, %

Os rendimentos de motor, bomba e transmissão devem ser expressos em decimal. Assim, assumindo-se rendimentos de 85% (0,85) para o motor elétrico, 50% (0,5) para a bomba hidráulica e 100% (1) para a transmissão, resulta:

$$\rho_g = 0,85 \times 0,5 \times 1 \times 100 = 42,5\% \text{ e, finalmente,}$$

$$CV = 5,4 \times 43,4 / (2,7 \times 42,5) = 2 \text{ CV}$$

Recomenda-se acrescentar uma margem de segurança ao valor líquido de potência calculado para superar imprevistos operacionais, notadamente variações experimentadas pela tensão da rede elétrica. Essa folga está estimada em 20%, para potências calculadas inferiores a 2 CV, 15% para potências entre 2 e 20 CV, e 10% para potências superiores a 20 CV.

Considerando uma folga de 15% (aplicável para potências entre 2 e 20 CV) obtém-se: $P = 2 \times 1,15 = 2,3$ CV.

Para essa aplicação, existe disponibilidade comercial de motores elétricos de 3 CV, o que aumenta a margem de segurança para: $3/2 = 1,5 = 50\%$

Pode-se observar que o rendimento mínimo esperado para motores elétricos de 3 CV (Tabela 5) é 85%, conforme foi assumido nos cálculos anteriores. Assim, não será preciso refazer os cálculos. Notar que em projetos por aspersão de baixo custo a potência requerida em acionamentos elétricos raramente ultrapassa 1 CV/ha, dependendo da diferença de cota entre a linha lateral operando na condição crítica da área irrigada e a superfície do manancial hídrico no poço de sucção.

No acionamento com motores alimentados a biodiesel deve-se ajustar o rendimento mecânico do motor em função do valor fornecido pelo fabricante. Assumindo-se um valor típico de cerca de 30%, o rendimento global modifica-se para:

$$\rho_g = 0,3 \times 0,5 \times 1 \times 100 = 15\% \text{ e, portanto,}$$

$$CV = 5,4 \times 43,4 / (2,7 \times 15) = 5,8 \approx 6 \text{ CV}$$

CONSUMO DE ENERGIA

A previsão do consumo energético é importante para se avaliar, oportunamente, o desempenho operacional da unidade de bombeamento. A equação aplicável é:

$$E = V \times H \times 9,81 / (\rho_g \times F_c)$$

em que E – consumo de energia (kWh no acionamento elétrico e L no biodiesel); V – volume bombeado, m³; H – altura manométrica total, m; ρ_g – rendimento global de bombeamento, %; e F_c – fator de conversão (36 no acionamento elétrico e 360 no biodiesel).

Exemplo: O volume bombeado por dia (V) é calculado por:

$$V = 10 \times A \times D / E$$

em que, 10 – constante; A – área irrigada, ha; D – demanda hídrica da cultura, mm/d; e E – eficiência de aplicação, adimensional e decimal.

Portanto, no presente exemplo ilustrativo,

$$V = 10 \times 2,88 \times 3 / 0,8 = 108 \text{ m}^3$$

Sendo a altura manométrica total estimada em 43,4 m, o consumo diário de energia elétrica (E_e) com $\rho_g = 42,5\%$ e $F_c = 36$, será calculado por:

$$E_e = 108 \times 43,4 \times 9,81 / (42,5 \times 36) = 30 \text{ kWh}$$

e o custo correspondente ao consumo de energia elétrica (C_e):

$$C_e = E_e \times \text{custo do kWh cobrado pela concessionária local.}$$

Assumindo-se um custo final (consumo de energia + tarifas, encargos e tributos) de R\$ 0,25/kWh, resulta:

$$C_e = 30 \times 0,25 = \text{R\$ } 7,50/\text{dia}$$

O consumo diário de biodiesel ($\rho_g = 15\%$ e $F_c = 360$) será calculado por:

$$E_d = 108 \times 43,4 \times 9,81 / (15 \times 360) = 8,5 \text{ L}$$

e o custo correspondente ao consumo de biodiesel (C_d):

$$C_d = E_d \times \text{custo unitário do biodiesel.}$$

Assumindo-se um custo de R\$ 2,40/L resulta:

$$C_d = 8,5 \times 2,40 = \text{R\$ } 20,40/\text{dia}$$

Para os valores monetários utilizados, o custo do consumo energético no acionamento elétrico é praticamente 37% daquele calculado para o acionamento a biodiesel. Considerando ainda o custo mais elevado desses motores, deve-se evitar seu uso, exceto em locais onde não há disponibilidade de energia elétrica.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS DEJETOS DOS ANIMAIS

No sistema de pastejo rotacionado para a pecuária leiteira deve-se considerar a possibilidade da utilização dos dejetos dos animais, quando estabulados para a ordenha, na produção de biogás para o acionamento de motores acoplados às bombas hidráulicas nos sistemas de irrigação. Segundo Santos et al. (2007), o potencial energético do biogás é determinado pela proporção de metano em sua composição. O metano (CH_4) com elevado poder combustível é resultante do biogás filtrado, para eliminação do gás carbônico (CO_2), que é incombustível; do gás sulfídrico (H_2S), que pode provocar corrosão nos motores; e do material particulado. O poder calorífico do biogás varia de 21 a 29 MJ/m^3 , dependendo da proporção de metano. O menor valor energético (21 MJ/m^3) pode ser comparável a 6 kWh de energia elétrica, 0,6 L de gasolina, 0,55 L de biodiesel, e 0,53 m^3 de gás natural (Bley Jr., 2010). Entretanto, seria recomendável certificar-se do poder calorífico dos combustíveis utilizados nesses cálculos, devido à variabilidade normalmente observada em sua composição.

Assim, por exemplo, um biogás com 65% de metano tem um poder calorífico estimado em 22 MJ/m^3 . A concentração de metano resultante do processo de decomposição anaeróbica depende da quantidade de sólidos voláteis existentes nos dejetos. Zanette

(2009) informa que, em dejetos de bovinos leiteiros, a produção de metano está estimada em $0,13 \text{ m}^3/\text{kg}$ de sólidos voláteis. Segundo comunicação pessoal de Lucas Jr. (2012), os dejetos de apenas uma vaca leiteira poderiam gerar até 2 kWh de energia por dia na forma de biogás. Assim, assumindo-se um desempenho mecânico do motor acionado a biogás semelhante ao acionamento a biodiesel (30%), pode-se calcular a quantidade de energia necessária pela equação:

$$E_g = 108 \times 43,4 \times 9,81 / (15 \times 36) = 85 \text{ kWh}$$

Portanto, bastaria uma quantidade de dejetos proveniente de 43 vacas leiteiras para gerar uma quantidade de biogás suficiente para acionar o sistema de bombeamento previsto para o sistema de irrigação.

Segundo Bley Jr. (2010), a utilização de biogás pode contribuir, também, para a redução de gases do efeito estufa lançados na atmosfera, entre os quais, o gás carbônico e o metano. Para incentivar essa redução, o Protocolo de Kyoto propôs um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que permite aos países desenvolvidos, caso não cumpram suas metas para a redução na emissão de gases em seus parques industriais, comprar títulos ou Certificados de Redução de Emissões de países com baixos índices de emissão desses gases. Para demonstrar que está reduzindo as emissões nas atividades geradoras de gases do efeito estufa, a unidade produtora de biogás deve submeter-se às metodologias fixadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas. Cada certificado, ou crédito de carbono, corresponde a uma tonelada equivalente de CO_2 que, no mercado internacional, está avaliado, em média, em US\$ 10 (Bley Jr., 2010).

RESUMO DO PROJETO E PRINCIPAIS COMPONENTES NECESSÁRIOS

O número de piquetes pode ser alterado em função do período de descanso da espécie forrageira utilizada (em geral, variável entre 20 e 35 dias). Os corredores, com dimensões ilustrativas de 120 m de comprimento por 12 m de largura, são utilizados para circulação, descanso dos animais e fornecimento de água, suplementação alimentar (sal mineral e rações) e sombreamento natural (árvores) ou artificial (abrigos rústicos). As larguras dos corredores podem ser alteradas em função de exigências específicas locais, porém, recomenda-se adotar valores múltiplos de 6 m, que é o comprimento das tubulações, para facilitar a instalação do equipamento de irrigação na área.

Para a área irrigada de 2,88 ha, com dimensões totais de 240 m $\times$ 144 m, que poderia representar 32 piquetes no sistema de pastejo rotacionado, com dimensões individuais de 30 m $\times$ 30 m, os seguintes componentes são necessários para um sistema fixo de irrigação por aspersão convencional, excluindo a adutora e a unidade de bombeamento:

Área total da instalação (32 piquetes + 4 corredores) = 34.560 m².

Dimensões dos piquetes = 30 m $\times$ 30 m = 900 m².

Largura sugerida para os corredores para fornecimento de água, suplementação alimentar, sal mineral e sombreamento = 12 m.

Rotação dos animais = 1 piquete/dia (caso o período de descanso da espécie forrageira seja inferior a 32 dias, os piquetes excedentes poderiam ser utilizados para atender outras finalidades, ou então, em alguns dias, liberar o pastejo para mais de um piquete por dia).

4 cochos com 5 m de comprimento para suplementação alimentar e sal mineral.

O abastecimento de água para os bebedouros será realizado pelo sistema de irrigação, que pode incorporar, também, equipamento para fertirrigação de baixo custo.

Comprimento das linhas laterais com 10 aspersores espaçados de 12 m = 114 m (19 barras de 6 m de comprimento).

Tubos de PVC DN 40 para aplicações sanitárias (esgoto) para compor as linhas laterais = 304. Obs.: poderão ser substituídos por tubos de PVC DN 50 e PN 40, cor azul, caso apresentem menor custo, considerando também as respectivas conexões para derivação de água aos aspersores.

Comprimento da linha de derivação = 126 m.

Tubos de PVC DN 50 e PN 40 de cor azul para a linha de derivação = 21.

Conexões tês DN 50 para derivação de água às linhas laterais = 16 + 2 para abastecimento dos bebedouros (total = 18).

Buchas de redução soldáveis 50 mm × 40 mm = 16.

Aspersores plásticos rotativos por impacto, com rotação completa e bocal único de 3 mm de diâmetro = 160.

Conexões tês DN 40 esgoto = 144 (saídas aos aspersores).

Cotovelos (joelhos) de 90° DN 40 esgoto = 16 (saídas aos aspersores nas extremidades das linhas laterais).

Registros plásticos compactos soldáveis de esfera DN 40 = 16 (início das linhas laterais).

Buchas de redução 40 mm × 25 mm = 162 (saídas aos aspersores).

Luvas de redução soldáveis roscáveis de 25 mm $\times$ ½ polegada = 160

Tubos de PVC DN 25 marrom ou azul = 40 para os aspersores + 2 para abastecimento dos bebedouros.

Cotovelos (joelhos) DN 25 para abastecimento dos bebedouros = 4.

Boias para abastecimento dos bebedouros = 2.

Registros plásticos compactos de esfera DN 25 para abastecimento dos bebedouros = 2.

Adesivo para PVC em quantidade suficiente para colar as buchas de redução, hastes e luvas para a conexão dos aspersores.

Suportes de madeira para os aspersores = 160.

Mourões para cerca elétrica = 187.

Comprimento da cerca elétrica = 2.832 m.

Vazão da bomba = 5,4 m³/h.

Potência estimada do motor elétrico = 3 CV.

O custo por hectare depende da configuração do projeto, da qualidade dos componentes adquiridos e das condições da negociação (a quantidade de material necessário favorece o consumidor). Por essas razões, um valor estimativo entre R\$ 2.500,00 e R\$ 3.000,00/ha pode ser sugerido, sem considerar o custo da adutora e da unidade de bombeamento com suas instalações, que dependem de cada local considerado.

PROCEDIMENTO PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Tanto a tubulação da linha de derivação quanto a das linhas laterais deverão ser enterradas a uma profundidade segura para evitar danificações decorrentes das operações mecanizadas previstas para a área. Não havendo a previsão de subsolagem ou sulcamento profundo, a profundidade de 30 cm é satisfatória (Figura 4). Nas tubulações e acessórios enterrados, a reação do solo envolvente à pressão interna da água resulta em um aumento da resistência à ruptura. As tubulações e conexões enterradas não necessitam ser soldadas com adesivo próprio, pois o sistema opera a baixas pressões, em geral insuficientes para provocar a desconexão ou ruptura. Basta promover um acoplamento adequado, empregando um lubrificante apropriado (pasta ou vaselina sólida) entre os componentes (Figura 5). Esse recurso facilita a montagem porque pode corrigir alguma desatenção e permitir um posicionamento ideal entre os componentes; já o adesivo usado em PVC apresenta secagem muito rápida e, em geral, não permite corrigir um posicionamento incorreto entre os componentes. Além disso, possibilita o reaproveitamento do material, caso ocorra um desinteresse pela irrigação.

No início das linhas laterais será instalado um registro plástico soldável compacto de esfera, com o mesmo diâmetro daquele

empregado na tubulação das linhas laterais. Nesses casos, deve-se posicionar um segmento de tubo de PVC, tendo um diâmetro suficiente para permitir o acesso manual necessário ao acionamento dos registros (Figura 6).



Figura 4 – Abertura de sulco para instalação da tubulação a uma profundidade suficiente para não correr riscos de impactos de implementos agrícolas

Figura 5 – Instalação da tubulação no sulco aplicando lubrificante sólido para executar a conexão dos tubos





Figura 6 – Tubo de acesso para acionamento dos registros no início das linhas laterais



Figura 7 – Recobrimento da tubulação no sulco usando plaina traseira tracionada

Estando os sulcos abertos com sulcador (Figura 4) e aterrados com uma plaina traseira (Figura 7), ambos tracionados por um trator de baixa potência, estima-se que duas pessoas podem instalar o sistema em apenas um dia.

Instalação das linhas laterais

No presente projeto, as linhas laterais serão constituídas por tubulação e conexões DN 40 para aplicações sanitárias (esgoto). A dimensão de 240 m da área irrigada deverá acomodar duas linhas laterais com comprimento total de $240 - 12 = 228$ m. Portanto, cada lateral terá um comprimento de $228/2 = 114$ m, indicando que o primeiro aspersor deve estar instalado a 6 m do início da linha lateral.

Iniciar a montagem instalando um registro plástico soldável compacto de esfera DN 40 no início da linha lateral (Figura 8). Envolver o mesmo com um segmento de tubo de PVC DN 100 ou superior, de cor branca, para esgotamento sanitário, posicionado verticalmente para acessar a operação manual de abertura e fechamento dos registros (Figura 6). A 6 m do início da linha lateral (um tubo) e depois a cada 12 m (dois tubos) acoplar as conexões tês com saída vertical, onde deverá ser conectada, com adesivo apropriado, uma bucha de redução soldável 40 mm $\times$ 25 mm, de cor marrom (Figura 10) para instalação da haste de 25 mm de diâmetro, de cor azul ou marrom, com altura determinada pelas aplicações previstas, em cuja extremidade será instalada, com adesivo apropriado, uma luva de redução soldável/roscável 25 mm $\times$ ½ polegada para instalação dos aspersores (Figura 12). Os aspersores devem ser instalados em hastes perpendiculares à inclinação da superfície. As conexões entre as buchas de redução 40 mm $\times$ 25 mm, as hastes e as luvas soldáveis/roscáveis de 25 mm $\times$ ½ polegada devem ser executadas com adesivo próprio, para evitar a desconexão durante a operação dos aspersores. Observar que para o último aspersor da linha lateral, o tê será substituído por um joelho ou cotovelo de 90° (Figura 11).

Instalação da linha de derivação de água às linhas laterais

A cada dois tubos de 50 mm (12 m) deve-se inserir uma cruzeta para derivação de água às linhas laterais em posições opostas. Caso seja adotada uma tubulação de 40 mm, devem-se instalar sequencialmente 2 tê (Figura 8), porque parece não existir cruzeta na dimensão DN 40. Observar a instalação de um tê no final da linha de derivação para as duas últimas linhas laterais tanto para a tubulação de 50 mm quanto de 40 mm (Figura 9).



Figura 8 – Linhas laterais, dotadas de registro plástico de esfera, instaladas em conexões tê ao longo da linha de derivação



Figura 9 – Últimas linhas laterais instaladas na extremidade final da linha de derivação utilizando uma conexão tê DN 40



Figura 10 – Bucha de redução 40 mm × 25 mm marrom para acoplamento da haste



Figura 11 – Haste de 25 mm acoplada a joelho de 40 mm, através de bucha de redução, para instalação do último aspersor da linha lateral



Figura 12 – Luva soldável/roscável de 25 mm $\times$ $\frac{1}{2}$ pol. para instalação dos aspersores com bocal de 3 mm de diâmetro

Instalação da adutora

A adutora deve conduzir a água desde o manancial até a linha de derivação. Portanto, o comprimento da tubulação depende dessa distância e a tubulação deve ser especificada para conduzir a vazão total do projeto e resistir às pressões determinadas pelo dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação. Caso a pressão na saída da bomba não exceda uma carga manométrica correspondente a 40 m, a tubulação pode ser especificada por uma pressão nominal PN 40. Entretanto, para suportar a ocorrência de eventuais transientes hidráulicos que poderiam provocar sobrepressões no sistema recomenda-se adotar tubos PN 60. Acima de 40 m de altura manométrica, os tubos poderão ser especificados entre PN 60 e PN 80, sempre admitindo-se alguma tolerância para suportar a ocorrência eventual de sobrepressões. Para aumentar a durabilidade, recomenda-se também, enterrar essa tubulação a cerca de 30 cm de profundidade.

FERTIRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO

A economia aplicada à moderna tecnologia de irrigação não admite que os sistemas sejam utilizados apenas para a aplicação de água. Em função das facilidades e vantagens oferecidas, devem incorporar também a aplicação de agroquímicos, notadamente os fertilizantes minerais e orgânicos, desde que não provoquem obstruções nos bocais dos aspersores.

Com esse objetivo, associado à exigência de baixo custo e às características de pressões reduzidas adotadas para a operação dos aspersores, optou-se por utilizar reservatórios pressurizados nessa aplicação.

O principal constituinte desse equipamento é um recipiente plástico resistente à pressão de operação do sistema e à ação corrosiva da solução fertilizante (Figura 13). Esse recipiente pode ser facilmente adquirido em depósitos de sucata, originalmente utilizado para envasamento de produtos químicos, a um custo muito reduzido, com volumes variáveis entre 20 e 100 L.

Além da exigência indispensável de resistência à pressão de operação, o recipiente plástico deve apresentar também uma abertura tampável segura e com dimensões suficientes para facilitar o reabastecimento dos fertilizantes aplicados. Uma das exigências técnicas dos sistemas de irrigação pressurizados de baixo custo é a

reduzida pressão de operação dos aspersores, em geral dotados de bocal único, resultando em vazões e intensidades médias de precipitação reduzidas. Essa condição favorece a identificação de recipientes plásticos adequados à pressurização do sistema.

A operação baseia-se na instalação de um registro plástico compacto de esfera na tubulação de irrigação para introduzir uma perda de carga localizada nesse ponto do sistema (Figura 13). Respeitando pequenas distâncias antes e após o registro, executar as derivações com tubulação de PVC rígido DN 25 para acessar o recipiente contendo a solução fertilizante. É recomendável instalar dois registros plásticos compactos de esfera (um na entrada e outro na saída do recipiente para a linha de irrigação) com a finalidade de isolar o sistema de injeção, quando não estiver em uso, e permitir o reabastecimento do fertilizante no recipiente sem interromper o processo de irrigação.



Figura 13 – Equipamento para fertirrigação de baixo custo

A entrada da água deve ocorrer na parte inferior do reservatório e a saída da solução fertilizante na parte superior. Como a vazão derivada ao reservatório e, consequentemente, a velocidade do escoamento será reduzida, não há condições de partículas gros-

seiras do fertilizante ascenderem na solução do reservatório em direção ao retorno à tubulação de irrigação. Dessa maneira, sofrem um processo obrigatório de dissolução, até serem totalmente solubilizados ou adquirirem dimensões muito reduzidas que não causarão problemas de obstrução dos bocais dos aspersores.

Um aspecto importante desse aplicador em sistemas de irrigação por aspersão convencional é o limite das dimensões de obstrução determinado pelo diâmetro do bocal dos aspersores, em geral, superior a 3 mm. Portanto, não deve haver problemas de obstrução, mesmo para fertilizantes parcialmente em suspensão, utilizando produtos usualmente mais baratos que os requeridos para fertirrigação em irrigação localizada, particularmente o gotejamento. Nessa aplicação, os fertilizantes devem estar totalmente solubilizados para evitar a obstrução dos emissores que, diferentemente dos aspersores, apresentam orifícios com dimensões micro-métricas.

A aplicação de fertilizantes orgânicos, como o chorume bovino, traz benefícios amplamente reconhecidos à produção de fitomassa, aos solos e ao meio ambiente. Zanine et al. (2005) concluíram que o chorume bovino pode contribuir para o fornecimento de nitrogênio, melhorando a qualidade e a produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum*), associado ao equilíbrio do ecossistema. Por sua vez, Nebel et al. (2011) determinaram, em uma pastagem de Tifton 85 no sistema de pastejo rotacionado, que a aplicação de chorume bovino aumentou o teor de carbono orgânico e a capacidade de troca catiônica do solo, melhorando a produção da forrageira, além de contribuir para estabelecer a base de um sistema agroecológico de produção leiteira.

Os problemas decorrentes da aplicação de fertilizantes orgânicos nas pastagens, através de fertirrigação, podem ser resumidos em dois aspectos: o primeiro, relacionado ao potencial de obstrução de bocais dos aspersores, pela presença de material sólido em suspensão, que requer um eficiente sistema de filtragem da calda nessa aplicação. O segundo problema decorre da possível redução da palatabilidade da espécie forrageira pelos animais. Nesse caso,

recomenda-se aplicar a fertirrigação no início do período operacional das linhas laterais, reservando um período adequado apenas com aplicação de água do sistema de irrigação, capaz de promover uma remoção satisfatória do produto eventualmente depositado na parte aérea da espécie forrageira.

Persistindo esses problemas, a alternativa seria aplicar o fertilizante orgânico ao nível do solo, desde que essa aplicação esteja prevista na concepção do projeto, requerendo uma adequação da condição superficial do terreno, através de sistematização, para favorecer uma distribuição relativamente uniforme do fertilizante aplicado à semelhança de uma faixa irrigada por superfície.

Cálculo da razão de aplicação da solução fertilizante

Para aproveitar integralmente a possibilidade de fertirrigação, seria desejável parcelar a aplicação dos fertilizantes para todos os piquetes irrigados, independentemente de seu período de descanso. O fornecimento gradual em pequenas dosagens poderia aumentar a eficiência de aplicação, além de reduzir possíveis perdas por percolação, na eventualidade da ocorrência de chuvas com intensidade moderada. Essa proposta contraria uma prática usual dos produtores de aplicar os fertilizantes nitrogenados a lanço, em dose única, apenas nos piquetes recém-pastejados, o que dificultaria muito a fertirrigação.

A razão de aplicação da solução fertilizante é determinada pelo grau de fechamento do registro responsável pela introdução da perda de carga localizada na tubulação de irrigação. A equação aplicável é:

$$C_t = C_o e^{-r}$$

em que, C_t – concentração da solução no recipiente no intervalo t decorrido desde o início do processo de aplicação; C_o – concen-

tração inicial da solução; $e = 2,71828$ (base dos logaritmos naturais); r – relação entre o volume de água que circulou no reservatório durante o intervalo de tempo considerado e o volume inicial da solução.

Uma aplicação interessante dessa equação consiste no cálculo de r , em função de uma redução desejada na concentração da solução, conforme a equação:

$$r = -\ln(C_t/C_o)$$

$\ln$ – símbolo dos logaritmos naturais.

Assim, para que a concentração seja reduzida a 1% da inicial ($C_t/C_o = 0,01$) deverá circular no recipiente um volume de água estimado em 4,6 vezes o volume inicial da solução. Em função da relação logarítmica apresentada, uma circulação de 2,3 vezes o volume inicial da solução (metade do volume anterior) deve reduzir a concentração a 10% do valor inicial.

Os longos períodos de aplicação de água, determinados pela reduzida vazão dos aspersores, determinam também longos períodos de aplicação da solução fertilizante, dispensando o controle quantitativo da razão de aplicação e contribuindo para aumentar a uniformidade de distribuição na área irrigada, conforme observaram Sousa et al. (2003). Entretanto, caso esse controle seja necessário, recomenda-se instalar um hidrômetro do tipo residencial na entrada do recipiente que, pela diversidade das empresas fabricantes e multiplicidade de usuários, pode ser adquirido a um custo relativamente acessível, em torno de R\$ 60,00. A tubulação de PVC rígido DN 25 adotada na derivação para o recipiente favorece essa instalação. É importante observar, entretanto, que esses dispositivos, em geral, não resistem à ação agressiva normalmente presente nas soluções fertilizantes, razão pela qual devem ser instalados na entrada do reservatório plástico, onde escoam apenas a água de irrigação.

Para exemplificar, tome-se um reservatório fertilizante com 40 L de capacidade no qual deve-se adicionar ureia (45% de N) que será aplicada à dosagem de 20 kg/ha. Assumindo-se que o equipa-

mento irriga simultaneamente 2.250 m^2 ($150 \text{ m} \times 15 \text{ m}$) pode-se concluir que deverão ser adicionados ao reservatório 4,5 kg de ureia, que serão prontamente dissolvidos, devido à elevada solubilidade desse fertilizante. Para reduzir a concentração da solução a 10% do valor inicial, devem circular pelo reservatório 92 L de água. Para reduzir a 1%, o volume circulante deverá atingir 184 L.

Como os períodos de aplicação de água são relativamente longos, esses volumes serão plenamente satisfeitos. É importante reservar o período de fertirrigação para 1/3 intermediário do período de aplicação de água. Assim, se o período de aplicação for 9 h, a fertirrigação deve ocorrer entre 3 e 6 h. Essa recomendação prática possibilita que a solução fertilizante fique incorporada em uma região com elevada densidade radicular ativa e uma lavagem do sistema de irrigação, preservando as tubulações e os aspersores da ação agressiva da solução fertilizante.

A concentração média da solução fertilizante pode ser estimada pela relação entre as quantidades de fertilizante e de água aplicadas durante o período de fertirrigação:

$$\begin{aligned} \text{Quantidade de fertilizante aplicado} &= \\ 4,5 \text{ kg de ureia} \times 0,45 \text{ kg de N/kg de ureia} &= 2,025 \text{ kg de N} \\ (\text{assumindo-se } 45\% \text{ de N na ureia}). \\ \text{Quantidade de água aplicada} &= \\ 5.400 \text{ L/h} \times 3 \text{ h} &= 16.200 \text{ L} \\ \text{Concentração média de nitrogênio na água de irrigação} &= \\ 2.025 \text{ mg de N/16.200 L de água} &= 0,125 \text{ mg/L}. \end{aligned}$$

Esse valor pode ser considerado insuficiente para provocar fitotoxicidade às espécies forrageiras, sobretudo pela lixiviação da solução presente na parte aérea pela continuidade da aplicação de água após o término da fertirrigação. Entretanto, havendo alguma evidência do aparecimento de sintomas fitotóxicos, recomenda-se aumentar o tempo de aplicação da solução fertilizante ou reduzir a quantidade de fertilizante a ser aplicado.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Conforme demonstrado por Scaloppi (2009), o cálculo de apenas dois índices – eficiência de aplicação (E_{apl}) e eficiência de armazenamento (E_{arm}) de água no ambiente radicular – pode fornecer informações importantes sobre o desempenho dos principais sistemas de irrigação:

E_{apl} = quantidade de água disponível às plantas/quantidade de água aplicada;

E_{arm} = quantidade de água disponível às plantas/quantidade de água requerida.

A quantidade de água disponível às plantas pode ser definida como a quantidade de água benéficamente utilizada pelas plantas cultivadas para satisfazer os processos fisiológicos associados à produção. Pode estar incluído o consumo requerido em lixiviações para controlar o excesso de sais solúveis no ambiente radicular, em condições de solos salinos.

A quantidade de água aplicada refere-se ao volume escoado através dos bocais dos aspersores. Esses volumes estão ajustados às mesmas unidades expressas nas quantidades de água definidas no numerador das equações propostas.

Analogamente, a quantidade de água requerida pode representar um volume, uma área, ou uma lâmina, que pode ser armazenada no ambiente radicular para se tornar disponível às plantas cultivadas.

A E_{apl} caracteriza a proporção da água aplicada que permanece disponível à cultura ou a quantidade de perdas durante o processo de aplicação. Portanto, até não ocorrer perdas por percolação, a E_{apl} permanece próxima à unidade, refletindo apenas as perdas por evaporação, que, em geral, são muito inferiores às perdas por percolação. Dessa forma, mesmo que a E_{apl} seja elevada, a irrigação pode revelar enorme deficiência de água às culturas durante o turno de irrigação adotado. Para identificar essa limitação, adotou-se a E_{arm} , que responde pela qualidade da reposição de água no ambiente radicular.

Assim, uma E_{arm} de 100% indica que houve reposição plena de água em todos os locais amostrados. As aplicações excessivas serão detectadas pela E_{apl} . Portanto, apenas esses dois índices permitem avaliar objetivamente a qualidade das irrigações.

Os dados da Tabela 7 indicam os volumes de água coletados (cm^3) em 16 coletores distribuídos criteriosamente em uma área irrigada com um sistema por aspersão convencional, após 8 h de operação dos aspersores espaçados de 12×12 m, com vazão média avaliada em $0,54 \text{ m}^3/\text{h}$. Para facilitar os cálculos, os coletores devem representar a mesma área de influência e estar dispostos simetricamente entre 4 aspersores adjacentes. Observar que cada coletor representa uma área idêntica de 9 m^2 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$) e, portanto, os coletores marginais devem estar instalados a 1,5 m dos limites da área definida pelos 4 aspersores. Assumindo-se uma lâmina requerida de 30 mm e uma área de captação dos coletores de 80 cm^2 , calcular as eficiências de aplicação (E_{apl}) e de armazenamento de água (E_{arm}).

Tabela 7 – Volumes de água coletados (cm^3) na avaliação do desempenho de um sistema de irrigação por aspersão

380	360	350	330	310	300	280	260	250	230	220	200	180	160	150	120
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Para efeitos comparativos, a quantidade de água requerida, expressa como um volume existente nos coletores, corresponde à lâmina requerida multiplicada pela área de captação dos coletores, ou seja, $3 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}^2 = 240 \text{ cm}^3$.

Portanto, os volumes coletados excedentes a 240 cm^3 constituem perdas efetivas por percolação. Por outro lado, sendo iguais ou inferiores a 240 cm^3 , serão integralmente incorporados à quantidade de água útil ou disponível, conforme indicado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Água útil} &= 9 \times 240 + 230 + 220 + 200 + 180 + 160 + 150 \\ &+ 120 = 3.420 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Água requerida} = 240 \text{ cm}^3 \times 16 \text{ coletores} = 3.840 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Água aplicada} &= 0,54 \text{ m}^3/\text{h} \times 9 \text{ h} / 144 \text{ m}^2 = 0,03375 \text{ m} = \\ &3,375 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$3,375 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}^2 \times 16 \text{ coletores} = 4.320 \text{ cm}^3$$

$$E_{\text{apl}} = \text{água útil} / \text{água aplicada} =$$

$$3.420 / 4.320 = 0,79 = 79\%$$

$$E_{\text{arm}} = \text{água útil} / \text{água requerida} =$$

$$3.420 / 3.840 = 0,89 = 89\%$$

Os resultados indicam a ocorrência de 21% de perdas (100 – 79) durante o processo de aplicação. Na ausência de deflúvio superficial, assegurada pela seleção criteriosa dos aspersores, na qual a intensidade de precipitação não excede a capacidade de infiltração da água no solo, essas perdas são atribuídas a dois componentes: percolação para fora do ambiente radicular ou evaporação da água aspergida entre os aspersores e os coletores. A percolação pode ser facilmente calculada:

$$\text{Percolação} = (\text{água coletada} - \text{água útil}) / \text{água aplicada} = \\ (4.080 - 3.420) / 4.320 = 660 / 4.320 = 0,15 = 15\%$$

Portanto, as perdas por evaporação e deriva para fora da área de amostragem podem ser estimadas, subtraindo-se as perdas por percolação das perdas totais, ou seja, $0,21 - 0,15 = 0,06 = 6\%$

É importante destacar que a estimativa das perdas por evaporação assume que o volume total coletado represente fielmente o volume aspergido, descontando-se apenas as perdas por evaporação desde os bocais dos aspersores até os coletores. Deve-se admitir, entretanto, a reduzida probabilidade de apenas 16 coletores reproduzirem, com precisão, o volume total aspergido na área de ensaio. Portanto, apesar de essa estimativa estar rigorosamente inserida no balanço de volume aplicado, sua interpretação deve ser cautelosa. O aumento significativo do número de amostras nos ensaios de avaliação favorece essa interpretação, porém aumenta o trabalho computacional. Algumas referências bibliográficas consideram que as perdas por evaporação da água aspergida em climas úmidos raramente ultrapassam 5%, dependendo da temperatura e umidade relativa do ar e do tamanho de gotas determinado pela forma e dimensão dos bocais e pressurização da água nos aspersores.

CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Existem vários critérios para se proceder à avaliação econômica do investimento em irrigação. O procedimento a seguir baseia-se no cálculo do custo anual atualizado, que inclui a soma de custos fixos e variáveis.

- ✓ Custos fixos ou custos de investimento, incluindo equipamentos, estruturas e instalações. Os custos de investimento são determinados a partir dos custos iniciais, ajustados à razão de depreciação, acrescida de juros correspondentes ao valor despendido. Taxas e seguros são normalmente incluídas neste item.
- ✓ Custos variáveis ou operacionais, incluindo consumo de energia, utilização de mão de obra, manutenção dos equipamentos e estruturas, reparos e substituições.

O valor anual associado ao capital investido em equipamentos, instalações, estruturas e taxas (custos fixos) é calculado por:

$$\text{CFA} = (C_a - R_g) F_r$$

em que CFA – custos fixos calculados em base anual, R\$; C_a – custo atual do investimento, R\$; R_g – valor de resgate após o uso previsto durante o período de vida útil estimado; F_r – fator de recuperação do capital, ou fator de amortização, calculado em função do período de vida útil e o valor esperado para a taxa de juros de mercado (assumida constante durante o período de vida útil) sendo calculada por:

$$F_r = [i(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1]$$

sendo i – taxa de juros nominal de mercado, expressa em decimal; n – período de vida útil para as estruturas e os equipamentos construídos ou adquiridos, em anos.

Para simplificar a aplicação, os valores de F_r foram computados, assumindo-se uma taxa anual de juros de mercado de 6% ($i = 0,06$) para períodos de vida útil variáveis entre 1 e 20 anos (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de F_r calculados em função de uma taxa anual de juros de mercado de 6% para períodos de depreciação variáveis entre 1 e 20 anos

n (anos)	F_r	n (anos)	F_r
1	1,06	11	0,12679
2	0,54544	12	0,11928
3	0,37411	13	0,11296
4	0,28859	14	0,10758
5	0,23740	15	0,10296
6	0,20336	16	0,09895
7	0,17914	17	0,09544
8	0,16104	18	0,09236
9	0,14702	19	0,08962
10	0,13587	20	0,08718

Cálculo da quantidade de energia requerida

Diversas formas de energia podem ser utilizadas para acionar as unidades de bombeamento para irrigação. Em todos os casos, a seguinte equação pode ser aplicada para se calcular a quantidade de energia requerida para bombeamento de água:

$$E = V \times H \times 9,81 / (\rho_g \times F_c)$$

em que E – consumo de energia (kWh no acionamento elétrico e L no biodiesel); V – volume bombeado, m³; H – altura manométrica total, m; ρ_g – rendimento global de bombeamento, %; F_c – fator de conversão (36 no acionamento elétrico e 360 no biodiesel).

A maioria dos motores elétricos empregados em bombas para irrigação é acionada por corrente alternada e indução tipo gaiola de esquilo. Na presente análise, considerando a reduzida potência requerida de motores elétricos e a baixa vazão das bombas, uma eficiência típica de 85% será assumida para motores elétricos, 50% para bombas centrífugas e 100%, para o mecanismo de transmissão existente entre o motor e a bomba, por se tratar, em geral, de um eixo comum ou de uma luva elástica. Portanto, a eficiência global típica de uma unidade de bombeamento acionada por motor elétrico está estimada em:

$$0,85 \times 0,5 \times 1 = 0,425 \times 100 = 42,5\%.$$

No caso de motores de combustão interna, será analisado apenas o biodiesel como combustível, com um rendimento estimado em 30%, resultando em uma eficiência global avaliada em 15%.

Para comparação econômica, a vida útil estimada, tanto para os motores elétricos quanto para os motores acionados a biodiesel, será de 20 anos.

Cálculo da potência instalada em instalações elétricas

Outro cálculo requerido, em algumas condições, para se determinar custos variáveis de energia elétrica é a potência instalada. Com essa determinação é possível identificar a categoria da potência instalada e saber se a taxa da demanda deve ou não ser aplicada. Nesse caso, a seguinte expressão pode ser usada:

$$P = 0,2724 \times Q \times H / \rho$$

sendo P – potência instalada, kW; Q – vazão bombeada, m³/h; H – altura manométrica total, m; ρ – rendimento global de bombeamento, expresso em percentagem.

Exemplo ilustrativo de aplicação

Para ilustrar a aplicação do procedimento proposto será assumido um sistema de irrigação por aspersão fixo, com aspersores pequenos, com bocal único de 3 mm de diâmetro, vazão de 540 L/h e pressão de 224 kPa, correspondente a uma carga manométrica de 23 m. A vazão do projeto está calculada em 5,4 m³/h com um período operacional diário de 20 h. Assim, determinar o volume diário de leite necessário para pagar o investimento em irrigação, assumindo-se as seguintes condições:

- ✓ Área irrigada = 2,88 ha
- ✓ Valor inicial dos equipamentos e estruturas com acionamento a energia elétrica = R\$ 9.000,00
- ✓ Valor inicial dos equipamentos e estruturas com acionamento a biodiesel = R\$ 12.000,00
- ✓ Valor residual estimado dos equipamentos e estruturas com acionamento elétrico = R\$ 900,00

- ✓ Valor residual estimado dos equipamentos e estruturas com acionamento a biodiesel = R\$ 1.200,00
- ✓ Altura manométrica total = 43,4 m
- ✓ Vida útil dos equipamentos e da unidade de bombeamento = 20 anos
- ✓ Volume anual de água bombeado = 16.200 m³
- ✓ Período anual de operação = 150 dias (3.000 horas)
- ✓ Taxa anual de juros de mercado = 6%
- ✓ Energia elétrica disponível em baixa tensão no local de captação a um custo de R\$ 0,25/kWh para o consumo
- ✓ Custo do biodiesel R\$ 2,40/L
- ✓ Custo anual de mão de obra estimado em R\$ 1.200,00
- ✓ Custo anual de reparos e manutenção (estimado em 5% do custo de investimento) = $0,05 \times 9.000,00 = \text{R\$ } 450,00$ (elétrico) e $0,05 \times 12.000,00 = \text{R\$ } 600,00$ (biodiesel)
- ✓ Valor líquido de venda do leite: R\$ 1,00/L

Solução:

Cálculo do custo fixo anual dos investimentos (CFA):

$$\text{CFA} = (C_a - R_g) \times F_r$$

$$F_r = 0,08718 \text{ (Tabela 7)}$$

$$\text{CFA}_{\text{elétrico}} = (9.000,00 - 900,00) \times 0,08718 = \text{R\$ } 706,00$$

$$\text{CFA}_{\text{biodiesel}} = (12.000,00 - 1.200,00) \times 0,08718 = \text{R\$ } 942,00$$

Cálculo do custo anual de energia consumida:

Conforme visto anteriormente, a equação aplicável é:

$$E = V \times H \times 9,81 / (\rho_g \times F_c)$$

em que

E – consumo de energia (kWh no acionamento elétrico e L no biodiesel);

V – volume bombeado, m³;

H – altura manométrica total, m;

ρ_g – rendimento global de bombeamento, %;

F_c – fator de conversão (36 para acionamento elétrico e 360 para o biodiesel).

Consumo de energia elétrica:

$$E_e = 16.200 \times 43,4 \times 9,81 / (42,5 \times 36) = 4.508 \text{ kWh}$$

e o custo correspondente ao consumo de energia elétrica:

$$C_e = E_e \times \text{custo do kWh cobrado pela concessionária local.}$$

Assumindo um custo médio de R\$ 0,25/kWh resulta:

$$C_e = 4.508 \times 0,25 = \text{R\$ } 1.127,00$$

Consumo anual de biodiesel ($\rho_g = 15\%$ e $F = 360$):

$$E_d = 16.200 \times 43,4 \times 9,81 / (15 \times 360) = 1.277 \text{ L}$$

e o custo correspondente ao consumo de biodiesel:

$$C_d = E_d \times \text{custo unitário do biodiesel.}$$

A um custo assumido de R\$ 2,40/L resulta:

$$C_d = 1.277 \times 2,40 = \text{R\$ } 3.065,00$$

Para os valores monetários utilizados, o custo do consumo energético no acionamento elétrico é 37% daquele calculado para o acionamento a biodiesel.

Custos variáveis anuais (CVA):

$$CVA = C_{\text{energia}} + C_{\text{mão de obra}} + C_{\text{reparos e manutenção}}$$

$$\text{Energia elétrica: } CVA_{\text{elétrico}} = 1.127,00 + 1.200,00 + 450,00 = \text{R\$ } 2.777,00$$

$$\text{Biodiesel: } CVA_{\text{biodiesel}} = 3.065,00 + 1.200,00 + 500,00 = \text{R\$ } 4.765,00$$

Custos totais anuais com acionamento elétrico:

$$CFA_{\text{elétrico}} + CVA_{\text{elétrico}} = 706,00 + 2.777,00 = \text{R\$ } 3.483,00$$

Custos totais anuais com acionamento a biodiesel:

$$CFA_{\text{biodiesel}} + CVA_{\text{biodiesel}} = 942,00 + 4.765,00 = \text{R\$ } 5.707,00$$

$$\text{Litros de leite anuais e diários requeridos para pagar o investimento em irrigação com acionamento elétrico} = 3.483,00 / 1,00 = 3.483 \text{ L/ano ou } 9,5 \text{ L/dia}$$

$$\text{Litros de leite anuais e diários requeridos para pagar o investimento em irrigação com acionamento a biodiesel} = 5.707,00 / 1,0 = 5.707 \text{ L/ano ou } 15,6 \text{ L/dia.}$$

Esses cálculos significam que o investimento em irrigação somente será economicamente compensador se contribuir para aumentar a produção de leite até atingir os valores calculados, ou,

então, se o custo de alimentação com silagem e concentrados, para produzir os mesmos volumes de leite calculados, superar os custos com irrigação apresentados.

Como em qualquer outra atividade econômica, é fundamental o produtor habituar-se a contabilizar todas as despesas do processo produtivo e as receitas correspondentes, para poder avaliar sistematicamente o desempenho financeiro de sua atividade com a finalidade de promover ajustamentos eventualmente necessários.

USO RACIONAL DA ÁGUA E SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA IRRIGADA

O aumento do uso competitivo e a consequente previsão de escassez de recursos hídricos associado ao aumento progressivo do custo de energia recomendam alguns procedimentos oportunos a serem adotados pelos irrigantes.

Por envolver grandes volumes de água e, em geral, considerável pressurização, a prática da irrigação também se classifica como grande consumidora de energia. Valores típicos de consumo energético mensal para irrigar uma cultura já desenvolvida, podem facilmente atingir cerca de 500 kWh/ha, e o aumento tanto do volume bombeado quanto da altura manométrica fornecida determinam aumentos proporcionais no consumo de energia.

Apesar dos elevados custos de investimento e operacional, relativamente a outros insumos aplicados à produção vegetal, não há dúvida de que a irrigação deverá ocupar estatísticas cada vez mais privilegiadas na agricultura, em virtude dos incontestáveis benefícios econômicos e sociais que proporciona à atividade agrícola. O grande problema, entretanto, é que utiliza um recurso natural cada vez mais escasso em quantidade e qualidade, além de ser competitivo com outros usos urbanos e industriais, e, principalmente, com a geração de energia nas usinas hidroelétricas, o que pode ser consi-

derado paradoxal, uma vez que requer considerável consumo energético para sua adequada implementação.

Ao contrário da pluralidade de alternativas para a produção de energia, o problema da água se agrava, na medida em que não se apresenta solução alternativa, restando apenas o uso racional e responsável para a preservação quantitativa e qualitativa desse recurso natural indispensável e insubstituível.

Havendo monitoramento da água consumida para fins de cobrança ou taxaço, em geral o irrigante torna-se mais responsável pela gestão e controle do uso da água para irrigação. Por outro lado, a experiência demonstrada pela grande prática da irrigação tem revelado que, na ausência de orientação e monitoramento apropriados, há uma tendência de se promover uma aplicação excessiva de água às culturas irrigadas. O grande problema, além do desperdício, é a possibilidade de a água apresentar substâncias solúveis, notadamente sais, que são propositalmente injetados ou naturalmente dissolvidos, sendo arrastados pela corrente líquida, agravando a qualidade do recurso hídrico original retirado dos mananciais.

Uma característica intrínseca à atividade irrigada é a relativa perda de controle que a aplicação de água apresenta, em função das características do sistema de irrigação utilizado. Existem sistemas capazes de exercitar melhor controle que outros, podendo, assim, revelar desempenhos comparativamente superiores. Infelizmente, porém, o grau de controle tem uma relação direta com o custo operacional do sistema de irrigação, o que pode dificultar sua utilização extensiva.

Ao mesmo tempo, o desenvolvimento científico e tecnológico acumulado em várias décadas tem proporcionado uma diversidade de recursos capazes de racionalizar a aplicação de água às culturas. O grande impasse reside na forma de disponibilizar tais recursos para o agricultor-irrigante. Os países mais desenvolvidos, há muitos anos, desenvolveram uma rede de laboratórios-móveis que se deslocam às áreas irrigadas expressivas, com o objetivo de avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação para, posteriormente, recomendar as

providências necessárias à obtenção de melhores níveis de desempenho. Esse procedimento baseia-se nas particularidades de onde a irrigação é praticada, merecendo, portanto, soluções específicas, que passam a ser acompanhadas pelos técnicos responsáveis pelo laboratório envolvido.

A economia de água em irrigação tipicamente suplementar, que prevalece na maior parte das regiões irrigadas no país, pode ser bastante beneficiada pela previsibilidade estatística da ocorrência de chuvas prováveis durante a estação de crescimento. Nesse caso, aplicações intencionalmente deficitárias podem ser eventualmente suplementadas pelas chuvas, com pequenos riscos à produtividade econômica das culturas.

As ações efetivas para racionalização do consumo de água em irrigação devem passar, necessariamente, por técnicas de dimensionamento e manejo criteriosas, elaboradas por pessoal capacitado e sensibilizado com a realidade presente e futura que envolve a disponibilidade de recursos hídricos em cada região. Essa preocupação deve ser responsavelmente repassada aos irrigantes, que, sem dúvida, constituem elementos fundamentais em qualquer iniciativa conservacionista. A conscientização da sociedade, por meio de informações objetivas e sensibilizadoras, pode contribuir para valorizar e disciplinar a atuação dos irrigantes, a exemplo do que tem sido observado em outras iniciativas bem-sucedidas, no âmbito da ecologia e preservação da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT COUNCIL AND CALIFORNIA WATER COALITION. *Irrigation Practices and Influencers Survey Findings*. San Joaquin Valley, 2010. Disponível em <<http://www.agwatercouncil.org/08312010.pdf>>. Acesso em 10/6/2013.
- BLEY JR., C. Reflexões sobre a economia do biogás. *Assessoria de Energias Renováveis, Itaipu Binacional*, nov. 2010. Disponível em <<http://www.observatoriobrasil.org/imagens/reflexões.pdf>>. Acesso em 10/6/2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2006*. Rio de Janeiro, 2006.
- LUCAS JR., J. *Comunicação pessoal*, jul. 2012.
- MENDONÇA, F. C. et al. Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10 (Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos)*, 2007.
- NEBEL, A. L. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em um sistema de pastagem para bovinos de leite em propriedade familiar. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA. Fortaleza 12-16 de dezembro de 2011. *Cadernos de Agroecologia*, v.6, n.2, dez. 2011.

- OLIVEIRA, P. R. A. Dimensionamento de piquetes para bovinos leiteiros em sistema de pastejo rotacionado. *Comunicado Técnico*, 65, *Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos)*, 1.ed., 2006. [on-line]
- RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasília)*, v.39, n.8, p.821-5, 2004.
- RODRIGUES, A. A. et al. Utilização, em pastejo, de aveia semeada sobre capim Tanzânia, para complementação da dieta de vacas de alta produção na época da seca: resposta bioeconômica. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 3 (Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos)*, 2006.
- SANTOS, T. M. B., LUCAS JR., J., SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para usar biogás como combustível. *Engenharia Agrícola (Jaboticabal)*, v.27, n.3, p.658-64, 2007.
- SCALOPPI, E. J. Adjusted F factor for multiple-outlet pipes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE (Nova York)*, v.114, n.1, p.169-74, 1988.
- _____. Procedimento para avaliar o desempenho de sistemas de irrigação. In: XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. *Anais do...* Juazeiro, BA/Petrolina, PE, 2-6 de agosto de 2009.
- _____. Sistemas de irrigação alternativos de baixo custo. *Boletim Técnico 2 (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, Botucatu)*, 2011.
- _____. & Allen, R. G. Hydraulic of irrigation laterals: comparative analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE (Nova York)*, v.119, n.1, p.91-115, 1993.
- SOUSA, V. F. et al. Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasília)*, v.38, n.4, p.497-505, 2003.
- SWAMEE, P. K. & JAIN, A. K. Explicit equations for pipe-flow problems. *J. Hydr. Div., ASCE (Nova York)*, v.102, n.5, p.657-64, 1976.

- ZANETTE, A. L. *Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil*. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado) – COPPE, UFRJ.
- ZANINE, A. M. et al. Efeito da aplicação de nitrogênio, sob a forma de chorume bovino, na qualidade e produção do pasto Tanzânia (*Panicum maximum*). *Embrapa Agrobiologia Documentos*, 192 (Seropédica, RJ), 2005.

SOBRE O AUTOR

EDMAR JOSÉ SCALOPPI é engenheiro agrônomo e mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em Piracicaba (SP). Doutor em Ciências na Área de Irrigação e Drenagem pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, em Botucatu (SP). Pós-doutorado na Universidade Estadual de Utah, em Logan (EUA), e na Universidade Estadual da Califórnia, em Davis (EUA). Professor livre-docente e professor adjunto na área de Irrigação e Drenagem da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/*campus* Botucatu. Doutor em Engenharia de Irrigação pela Universidade Estadual de Utah, em Logan (EUA). Professor titular na área de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/*campus* Botucatu. Consultor técnico-científico do Centro Nacional de Engenharia Agrícola do Ministério da Agricultura, na área de Engenharia de Água e Solo, de 1981 a 1985. Secretário da Comissão de Estudos de Irrigação e Drenagem, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, de 1981 a 1983. Presidente da referida Comissão de 1983 a 1987. Membro do Comitê Assessor de Engenharias Agroindustriais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, de 1986 a 1987. Assessor da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, desde 1986. Integrou equipe internacional para avaliação dos projetos de irrigação em Gana, África Ocidental, patrocinado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, em outubro de 1984.

SOBRE O LIVRO

Formato: 14 x 21 cm

Mancha: 23, 7 x 43,16 paicas

Tipologia: Horley Old Style 10,5/14
2014

EQUIPE DE REALIZAÇÃO

Coordenação Geral

Tulio Kawata

ISBN 978-85-7983-538-4



CULTURA
ACADÊMICA 
Editora