

Irrigação de pastagens

Fernando Campos Mendonça

Pesquisador da EMBRAPA
Pecuária Sudeste. São Carlos, SP
fernando@cppse.embrapa.br

Patricia Menezes Santos

Pesquisadora da EMBRAPA
Pecuária Sudeste. São Carlos, SP
patricia@cppse.embrapa.br

Ana Clara Rodrigues Cavalcante

Pesquisadora da EMBRAPA Caprinos
Sobral, CE
anaclara@cnpc.embrapa.br

■ Introdução

O Brasil tem o maior rebanho comercial de gado bovino do mundo e é o líder mundial em exportação de carne bovina. Levantamentos feitos pelo CNA/CEPEA (CNA, 2006) mostram que o setor da pecuária de corte é bastante heterogêneo. Apesar das diferenças entre os sistemas de produção adotados, a maior parte do rebanho bovino brasileiro encontra-se em pastagens.

Os resultados parciais do Censo Agropecuário realizado, em 2007, mostram que a área ocupada por pastagens do Brasil é superior a 170 milhões de hectares (IBGE, 2008). A pressão pela regeneração das áreas de reserva legal e o avanço da agricultura, tanto para produção de alimentos e fibras quanto para produção de energia, indicam que haverá

redução da área de pastagens em algumas regiões do território nacional e o seu deslocamento para áreas marginais, em que há limitações edafoclimáticas à produção agrícola.

Várias técnicas podem ser adotadas para aumentar a produção animal em pastagens, como a recuperação e reforma de pastagens degradadas; o manejo sustentável dos pastos; o diferimento do uso de pastagens; a adubação e a irrigação de pastagens.

No Brasil, a área irrigada é de 3,2 milhões de hectares, cerca de 5% da área cultivada. Entretanto, essa pequena parcela responde por 16% da produção total e 35% do valor econômico da produção. O Brasil tem potencial para irrigar 25 a 30 milhões de hectares, já descontadas as demais prioridades de uso da água; portanto, é possível um aumento considerável da área irrigada e da produtividade.

A irrigação é uma técnica que, se bem aplicada, proporciona o aumento de produção de massa de forragem e, conseqüentemente, da produtividade do pasto, liberando terras para outros tipos de uso ou mesmo para a recomposição de áreas de proteção permanente. É importante ressaltar, no entanto, que a irrigação deve ser um dos últimos passos no processo de intensificação do uso de uma pastagem e só deve ser adotada nas propriedades em que os pastos já tenham sido recuperados e que o manejo das plantas forrageiras e da fertilidade do solo esteja devidamente ajustado. Por fim, antes de recomendar a adoção da irrigação em pastagens, é preciso analisar o seu impacto no sistema de produção como um todo e a sua viabilidade, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Em alguns casos, como no semiárido nordestino, será útil a análise do impacto ecológico pelo uso da água.

Critérios para utilização da irrigação de pastagens

Condições climáticas e estacionalidade de produção de forragem

Grande parte dos produtores que implantam um sistema de irrigação de pastagens têm como principal objetivo reduzir a estacionalidade

de produção forrageira e a necessidade de suplementação do rebanho no período seco. Os principais fatores climáticos que determinam a produção estacional de forragem foram apresentados e discutidos no capítulo referente ao diferimento do uso de pastagens, neste mesmo livro.

A quantidade e a qualidade da radiação solar incidente e o fotoperíodo variam de acordo com a latitude do local e com a época do ano. Além disso, a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega até as plantas sofre a influência da nebulosidade. Em razão de características peculiares às plantas C_4 , as gramíneas tropicais são capazes de aproveitar elevados níveis de luminosidade, e a sua produção tende a crescer com o aumento do nível de radiação solar incidente.

A temperatura ambiente sofre variações diárias e estacionais, que podem ser mais ou menos acentuadas, dependendo da latitude e da altitude do local. A **Figura 1** mostra a variação na temperatura mínima média de cinco cidades brasileiras: Macapá-AP (0°S); Marabá-PA (5°S); Porto Nacional-TO (10°S); Aragarças-GO (15°S); Três Lagoas-MS (20°S) e Castro-PR (25°S). Pode-se observar que, quanto mais distante da linha do Equador, maior a variação da temperatura mínima ao longo do ano.

A temperatura ótima para o desenvolvimento das gramíneas tropicais está entre 30 e 35°C, e a temperatura-base inferior, abaixo da qual não há crescimento, varia de 12 a 17,5 °C, a depender da espécie e do cultivar (Moreno, 2004 e Villa Nova *et al.*, 2004).

Em condições naturais, a disponibilidade de água para as plantas depende da precipitação pluvial e das características físicas do solo, principalmente a sua textura. O solo é formado por partículas sólidas e poros, por onde ocorre o armazenamento de gases e água. De acordo com a composição da parte sólida, o solo apresenta maior ou menor capacidade de armazenamento de água. Solos arenosos têm partículas e poros maiores e menor capacidade de retenção de água, enquanto os argilosos têm partículas e poros menores, mas em maior quantidade e com maior retenção de água que os arenosos.

A irrigação do pasto tem o objetivo de garantir que a umidade do solo seja adequada

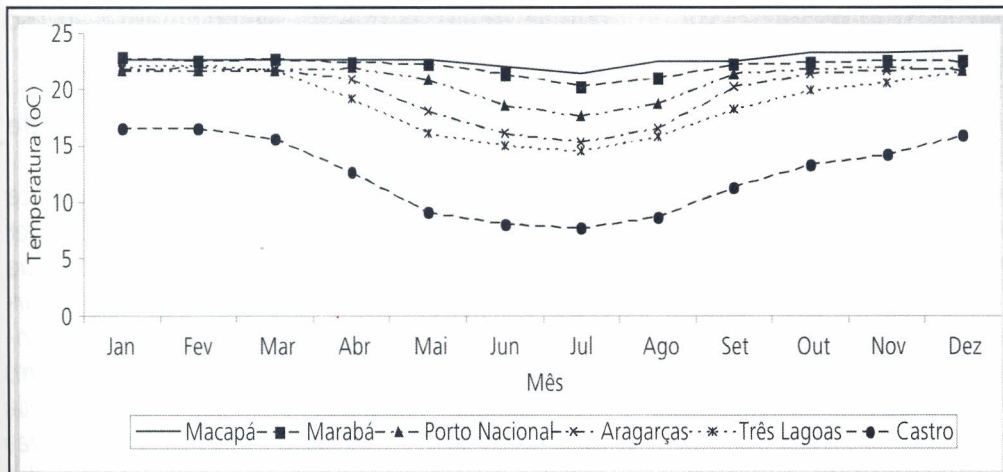


Figura 1. Temperatura mínima média ao longo do ano em Macapá (0°S); Marabá (5°S); Porto Nacional (10°S); Aragarças (15°S), Três Lagoas (20°S) e Castro (25°S). Fonte: adaptado de Agritempo (2007).

períodos de deficiência hídrica, tanto no período chuvoso quanto no período seco do ano. No entanto, em boa parte do período seco, o desenvolvimento das plantas forrageiras tropicais é limitado pela temperatura e por outros fatores, como a luminosidade e fotoperíodo.

O estudo das condições climáticas da região, portanto,

permite verificar se o uso de irrigação proporcionará o resultado esperado no contexto do sistema de produção. A partir de informações sobre as variações na temperatura, na precipitação pluvial e na luminosidade do local, o técnico poderá estimar a resposta do pasto à irrigação, tanto em termos de produção total quanto em termos de distribuição dessa produção ao longo do ano.

ao desenvolvimento das plantas forrageiras, e deve ser aplicada para suplementar a quantidade de água disponível para as plantas, sempre que o consumo (saída de água) for maior que a quantidade de chuvas (entrada de água). Dessa forma, será interessante irrigar a pastagem em situações em que a deficiência hídrica seja o fator limitante à produção de forragem.

Em diversas regiões do Brasil, ocorrem

A quantificação do armazenamento de água de um solo é muito útil para o planejamento e o manejo da irrigação. Esse armazenamento recebe o nome de capacidade de água disponível (CAD, em mm).

A medida de água mais utilizada na irrigação é o milímetro (mm), que é um modo fácil de medir a quantidade de água que entra ou que sai do solo ou da planta. Um milímetro (1 mm) de água de chuva ou de irrigação é igual a um litro de água por metro quadrado, isto é: $1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2$.

Exemplos:

a) Quando o noticiário relata que ocorreu uma chuva de 25 mm, isso quer dizer que caíram 25 L de água de chuva em cada metro quadrado de solo:

$$25 \text{ mm} = 25 \text{ L por um m}^2.$$

$$\text{Em um hectare (10.000 m}^2\text{): } 250.000 \text{ L ou } 250 \text{ m}^3.$$

b) Se um produtor rural aplicar irrigações de 35 mm por semana em suas pastagens, isso quer dizer que aplicou:

$$35 \text{ L/m}^2 = 350.000 \text{ L/ha ou } 350 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Para dar uma ideia da magnitude desses valores, um outro exemplo: se esse produtor rural tiver uma represa de formato triangular, com 20 metros de largura na barragem, 100 metros de extensão e profundidade média de três metros, o volume de água (V) armazenado é de aproximadamente:

$$V = 20 \times 100 \times 3 \times 0,4 \text{ (fator de forma da represa)} = 2.400 \text{ m}^3$$

Se não houver entrada de água na represa, esse volume será suficiente para cerca de sete irrigações em 1 ha ($2400 \text{ m}^3 / 350 \text{ m}^3/\text{irrigação} \cong 7$ irrigações).

Adequação ambiental e disponibilidade de recursos naturais

A avaliação ambiental é uma etapa muito importante na concepção e funcionamento de um projeto de irrigação, que pode causar impactos negativos sobre o ambiente (Bernardo, 1997 e Ana, 2004). Entre esses impactos podem-se citar:

- a) Modificação do meio ambiente;
- b) Salinização do solo em regiões de elevada evapotranspiração (regiões áridas e semiáridas);
- c) Contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por carreamento de agroquímicos ou por drenagem superficial;
- d) Consumo exagerado por uso múltiplo da disponibilidade hídrica da região, podendo causar conflito com outros setores;
- e) Problemas de saúde pública por meio do aumento na população de agentes transmissores de doenças, como mosquitos e caramujos.

Como medidas para evitar que a irrigação seja um agente de degradação ambiental, Ferreira (1997) recomenda três medidas principais:

- a) Estudo do impacto ambiental (EIA) com respectivo relatório (RIMA);
- b) Estudos hidrológicos (superficial e subterrâneo) atentando para a quantidade e qualidade do recurso hídrico. Em relação à quantidade deve-se atentar para a necessidade da outorga do direito de uso da água, de acordo com legislação específica¹;
- c) Estudo dos solos, climatologia, demanda energética, conservação do solo e da água.

O EIA com vistas a projetos hidroagrícolas, que deve ser o primeiro passo para a implantação de uma área irrigada, deve atender à Lei da Política Nacional do Meio Ambiente e, por isso, antes de iniciar a elaboração de qualquer projeto de irrigação é preciso verificar a legislação no

que se refere às questões ambientais e ao uso da água no local.

Legislação brasileira sobre o uso de recursos hídricos

A Constituição Federal de 1988 estabelece que *“são bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado da federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”*. Estabelece, ainda, como *“bens dos Estados, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”*.

Compete privativamente à União legislar sobre águas, bem como definir critérios de outorga de direito de uso das águas. À União, aos Estados e aos Municípios compete a proteção do meio ambiente e o combate à poluição em quaisquer de suas formas, e também a promoção da melhoria das condições e a fiscalização das concessões de direitos de exploração de recursos hídricos, a legislação sobre defesa do solo e dos recursos naturais, responsabilidade por dano ao meio ambiente.

Portanto, qualquer tipo de uso de recursos hídricos deve ser feito sob concessão da União, e a fiscalização do uso compete, conjuntamente, à União, aos Estados e aos Municípios.

A legislação brasileira estabelece a seguinte ordem de prioridade do uso de recursos hídricos. A Lei Federal nº 9.433, de 8/1/97, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamentou o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Essa Lei estabelece que a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- a) A água é um bem de domínio público;
- b) A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e de animais;
- d) A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- e) A bacia hidrográfica é a unidade territo-

¹ Maiores informações: www.ana.gov.br

rial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

- f) A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Essa Lei define o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, que tem por objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo do uso da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, estando sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

- a) Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- b) Extração de água de aquífero subterrâneo para uso final ou insumo de processo produtivo;
- c) Lançamento em corpo de água de efluentes e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- d) Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- e) Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

A outorga é efetivada por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, Estadual ou do Distrito Federal. O Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União.

O Poder Executivo Federal articula-se previamente com o dos Estados e o do Distrito Federal para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas com águas de domínio federal e estadual.

Aptidão de solos para irrigação

No Brasil, a maior parte dos solos aptos à irrigação está localizada nas regiões Norte (11,9 milhões de hectares) e Centro-Oeste (7,7 mi-

lhões de hectares). A Região Nordeste apresenta apenas 1,1 milhões de hectares aptos para a irrigação, enquanto as regiões Sul e Sudeste apresentam cerca de 4,4 milhões de hectares (Cristofidis, 1999). Somando-se as áreas citadas, chega-se a 25,1 milhões de hectares. Isso mostra um grande potencial de crescimento das áreas irrigadas, pois, atualmente, o País irriga cerca de 3,5 milhões de hectares.

Há regiões em que não será possível uma grande expansão de áreas irrigadas em virtude da competição pelo uso de recursos hídricos, e será necessário um trabalho de planejamento para evitar problemas de restrição que poderão inviabilizar investimentos. Esse trabalho é de competência da União e por ela deve ser coordenado, mas é necessário o envolvimento de todos os agentes das cadeias produtivas, a fim de garantir o respeito às decisões e reduzir conflitos que certamente virão em futuro próximo.

Se forem respeitadas as prioridades de uso definidas por lei, haverá uma parcela dos recursos hídricos disponíveis à irrigação. A partir daí, a definição das culturas que serão irrigadas obedece às leis de mercado, e os investimentos serão feitos nas atividades em que houver maior esperança de retorno econômico.

Para que a irrigação de pastagens seja técnica e economicamente viável é necessário garantir que não haja outros fatores limitantes à produção, exceto a deficiência hídrica. Para isso, é necessário garantir alta fertilidade do solo, escolher as forrageiras mais produtivas, selecionar o rebanho e a atividade pecuária mais adequada à área irrigada, ter um bom controle técnico e administrativo, e treinar a mão de obra para o manejo da pastagem, do rebanho e da irrigação.

Viabilidade econômica

Lotação animal e planejamento do uso da terra

Ao contrário do que muitos acreditam, quando se observa a propriedade como um conjunto, a suplementação hídrica pode acentuar as diferenças na taxa de lotação ao longo do ano, causadas pelas variações estacionais na temperatura, na luminosidade e no fotoperíodo.

As **Tabelas 1 e 2** mostram os efeitos da irrigação sobre a taxa de lotação da pastagem e da propriedade como um todo, estimados por Balsalobre *et al.* (2003) com o auxílio de modelos de simulação.

Tabela 1. Taxa de lotação animal em pastagens irrigadas para o verão e inverno para cinco localidades. Os resultados foram obtidos com o auxílio de modelos de simulação baseados no conceito de unidades fototérmicas. Considerou-se adubação de 500 a 600 kg.ha⁻¹ano⁻¹ de nitrogênio.

Localidade	Latitude (°S)	Lotação (UA.ha ⁻¹)		
		Média	Verão	Inverno
Piracicaba, SP	22,71	5,25	7,16	3,34
Campo Grande, MS	20,27	4,68	6,27	2,91
Aragarças, GO	15,54	6,13	6,95	5,31
Porto Nacional, TO	10,43	7,11	7,79	6,41
Marabá, PA	5,21	7,61	7,67	7,55

Fonte: Balsalobre *et al.* (2003).

Os resultados apresentados na **Tabela 1** mostram que o diferencial de resposta da produção de matéria seca à irrigação entre os períodos de verão e inverno está relacionado à latitude do local: quanto maior a latitude, maior a diferença entre a taxa de lotação no verão e no inverno.

Em virtude das diferenças de resposta à irrigação, a adoção dessa tecnologia em 10% da área total de uma propriedade de 1.000 ha pode, no período de inverno, provocar déficits na capacidade de suporte da fazenda (**Tabela 2**). Dessa forma, para garantir o sucesso do empreendimento, as análises de viabilidade econômica da introdução de irrigação em áreas de pastagens devem ser feitas para o sistema de produção como um todo e não apenas considerando a área irrigada. Para isso, faz-se necessário um estudo da melhor relação entre área irrigada e não-irrigada e de alternativas de alimentação para o período de menor crescimento das plantas. Os resultados apresentados na **Tabela 2** foram obtidos com o auxílio de modelos de simulação baseados no conceito de unidade fototérmica. Considerou-se taxa de lotação das áreas não-irrigadas e não-adubadas de uma UA/ha.

A viabilidade econômica do uso da irrigação de pastagens para a produção de bovinos

de corte é determinada por um conjunto de variáveis, dentre as quais algumas são particularmente importantes: o clima, o manejo do pastejo e a relação entre os preços de compra e venda de animais e os preços de mercado, de acordo com a atividade produtiva (cria, recria e engorda).

Tabela 2. Taxa de lotação de verão e de inverno em propriedades com 1.000 ha de pastagens em localidades de três regiões brasileiras, obtidas com a introdução de uma área irrigada de 100 ha, com uso de modelos de simulação.

Localidade	Latitude (°S)	Verão (UA/ha)	Inverno (UA/ha)	Déficit (UA)
Campo Grande, MS	20,27	1,53	1,19	336
Aragarças, GO	15,54	1,60	1,43	164
Porto Nacional, TO	10,43	1,68	1,54	138
Marabá, PA	5,21	1,67	1,66	12

Fonte: Balsalobre *et al.* (2003)

O clima é normalmente apontado como o principal fator determinante da viabilidade econômica da irrigação de pastagens. Dentre as variáveis climáticas relevantes na definição do potencial de resposta à irrigação podem ser destacadas: a temperatura (função de latitude e altitude); o fotoperíodo (função de latitude); e a intensidade e distribuição das precipitações, que determinam a intensidade e a duração dos períodos de déficit hídrico. Enquanto as primeiras variáveis definem o potencial de taxa de lotação do sistema, a última variável determina os custos de irrigação (aquisição e implantação, manutenção, mão de obra e energia elétrica). Embora o custo relativo à energia elétrica não seja o principal componente dos custos de produção, ele é um dos maiores componentes do custo de irrigação e, em regiões com seca prolongada, esse item cresce bastante em importância.

O manejo do pastejo pode definir variações nos componentes taxa de lotação e desempenho animal, que definem a produtividade do sistema. Com o uso de ferramentas de análise de sensibilidade e técnicas de otimização é possível estimar as taxas de lotação necessárias para a viabilização econômica da irrigação de pastagens nas diferentes regiões, definindo assim o ponto

crítico (*switching value*) para essa variável (Noronha, 1981).

Outro fator que deve ser considerado na análise econômica é a relação entre os preços de compra e venda de animais. Simulações feitas por Balsalobre et al. (2003) mostram que relações de troca ruins inviabilizam o uso da irrigação em regiões com taxas de lotação potencial elevadas. Em níveis elevados de produtividade, como os verificados em pastagens irrigadas, os principais responsáveis pelas variações no resultado econômico são o custo de aquisição de animais de reposição e o preço de venda (Maya, 2003).

Custos de irrigação de pastagens

Os custos de irrigação de pastagens são descritos de forma resumida por Mendonça (2008) e classificados em quatro componentes:

- a) inicial (aquisição, implantação e financeiro);
- b) manutenção;
- c) energia; e
- d) mão de obra.

a) Custo inicial

É o componente do custo total de irrigação mais facilmente percebido, pois é pago pelo produtor no ato da compra. Inclui os custos de aquisição (projeto, compra e frete) e de implantação do sistema de irrigação.

No custo inicial, também está incluso o custo financeiro, por três razões:

- a) remunerar o capital investido nos equipamentos, mesmo se o produtor adquiri-los com recursos próprios;
- b) contabilizar a depreciação, pois será necessário substituir o sistema de irrigação ao final de sua vida útil;
- c) evitar a sobrecarga do custo inicial no primeiro ano e subestimá-lo nos anos seguintes; o preço de compra será desembolsado apenas uma vez ao longo da vida útil do sistema.

O custo financeiro é embutido no custo inicial, utilizando-se o Fator de Recuperação de Capital (FRC), que faz parte da Tabela Price e é muito utilizado no cálculo de parcelas de diversos empréstimos e financiamentos (Ex.: presta-

ção de imóveis). O FRC é calculado da seguinte maneira:

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

- FRC – fator de recuperação de capital;
- i – taxa anual de juros (decimal);
- n – número de anos (vida útil do equipamento).

Assim, o custo inicial (C_{ini}) de irrigação é calculado da seguinte forma:

$$C_{ini} = C_{ai} \times FRC$$

- C_{ini} – custo inicial de irrigação, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;
- C_{ai} – custo de aquisição e implantação, R\$.ha⁻¹.

Embora o custo inicial seja o mais visível aos olhos do produtor, não deve ser o único fator utilizado na decisão de compra de um sistema de irrigação. O sistema de irrigação permanecerá na propriedade por 10 a 25 anos, e os custos de manutenção e operação (energia e mão de obra) geralmente são maiores que o preço de compra.

b) Custo de manutenção

Todo equipamento mecânico está sujeito a desgastes ou avarias por acidentes. Portanto, é necessário reservar recursos financeiros para mantê-lo em funcionamento de forma adequada. Na irrigação, considera-se um custo anual de manutenção de 3 a 5% do custo de aquisição e implantação. O custo de manutenção é dado por:

$$C_m = C_{ai} \times f_m$$

- C_m – custo de manutenção, em R\$.ha⁻¹.ano;
- f_m – fator de manutenção, em decimal.

c) Custo operacional

A operação de um sistema de irrigação requer mão de obra e energia. A demanda por cada uma depende das características de cada sistema de irrigação (tipo, potência consumida por área, eficiência, mão de obra etc.).

O tipo de sistema de irrigação de pastagens mais comum em áreas pequenas e médias é a aspersão convencional, com média de relação potência/área de 5 a 15 cv/ha. O pivô central predomina em grandes áreas pela facilidade de operação, alta eficiência energética e baixo custo de mão de obra. Como os pivôs centrais são projetados pelas empresas vendedoras, apresentam relação potência/área menor, em torno de 3 a 5 cv/ha.

Geralmente, os sistemas de aspersão convencional são montados sem um projeto e, muitas vezes, são adquiridos equipamentos usados de outras propriedades, sem adequação ao novo local de trabalho. Isso leva a uma alta relação potência/área, o que aumenta o custo operacional do sistema. Sendo identificada a falha, o projeto pode ser redimensionado solucionando esse problema.

c.1) Custo de energia

No caso de bombas com motores elétricos, o custo de energia é calculado da seguinte forma:

$$C_{en} = 0,736 \times P_{c_{mb}} \times T_{di} \times T_{ai} \times C_{kWh}$$

C_{en} – custo de energia, em R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

$P_{c_{mb}}$ – potência consumida pelo motor da bomba centrífuga, em cv;

T_{di} – tempo diário de irrigação, em h.dia⁻¹;

T_{ai} – tempo anual de irrigação, em dias.ano⁻¹;

C_{kWh} – custo do kilowatt-hora, em R\$.kWh⁻¹

No caso de bombas com motores a diesel, o custo de energia é calculado da seguinte forma:

$$C_{en} = P_{mb} \times Cons \times T_{di} \times T_{ai} \times C_{di}$$

Cons – consumo de óleo diesel, em L.cv⁻¹.h⁻¹ (Padrão: 0,225 L.cv⁻¹.h⁻¹);

C_{di} – custo do litro de óleo diesel, em R\$.L⁻¹

A energia elétrica geralmente é preferível ao diesel, por causa do menor custo. Deve-se investir na construção de uma rede elétrica sempre que seu custo for menor que a diferença de

custo de energia dos dois sistemas, em um período de 10 anos (vida útil média do sistema de irrigação).

c.2) Custo da mão de obra

Há uma grande limitação de mão de obra, pois a irrigação de pastagens não é prática tradicional nas propriedades rurais. Geralmente não há mão de obra treinada para lidar com a irrigação, e a opção tem sido a minimização do seu uso. Em áreas pequenas e médias, as principais estratégias têm sido o uso de sistemas fixos, como a aspersão em malha ou por setor, automatização de sistemas e irrigação noturna. Em grandes áreas, utiliza-se o pivô central. De modo geral, o custo de mão de obra pode ser calculado assim:

$$C_{mo} = \frac{N_{hti}}{8} \times T_{ai} \times V_{di}$$

C_{mo} – custo de mão de obra, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

N_{hti} – N° de horas de trabalho na irrigação, em h.ha⁻¹.dia⁻¹;

V_{di} – valor da diária (8 horas), em R\$.dia⁻¹.

O custo operacional de irrigação é a soma dos custos de energia e mão de obra:

$$C_o = C_{en} + C_{mo}$$

C_o – custo operacional de irrigação, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹

em que,

C_o – Custo operacional de irrigação, em R\$.ha⁻¹. dia⁻¹

d) Custo total de irrigação (CTi)

O custo total de irrigação é a soma de todos os componentes:

$$CT_i = C_{ini} \times C_m \times C_o$$

CT_i – custo total de irrigação, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

C_{ini} – custo inicial, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

C_m – custo de manutenção, R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

C_o – custo operacional (energia + mão de obra), R\$.ha⁻¹.ano⁻¹;

Manejo da irrigação

O objetivo de sistemas intensivos de produção agropecuária é a otimização do uso de todos os recursos, de modo a maximizar a resposta de cada um e, conseqüentemente, a receita líquida (lucro) das atividades produtivas. A água é um recurso produtivo muito importante e necessário para maximizar a resposta com sua aplicação, seja proveniente de chuvas ou não. Portanto, o conhecimento das relações entre água, solo, planta e atmosfera são fundamentais para a otimização de seu uso em sistemas de produção.

Monitoramento da água: água na atmosfera, na planta e no solo

Água na atmosfera: vapor d'água e precipitação pluvial

A maior parte da água da atmosfera chega ao solo pelas chuvas. A partir daí, passa por três processos principais: evaporação (retorno à atmosfera), escoamento superficial (enxurrada) e infiltração (solo e lençol freático).

A água que evapora voltará a se acumular em forma de nuvens, até que ocorram chuvas novamente. O escoamento superficial causa enchentes e aumenta o volume de rios e lagos naturais e artificiais. Da água infiltrada no solo, uma parte escoia lentamente pelos poros e forma os aquíferos freáticos ou confinados, e outra parte fica armazenada nas camadas próximas à superfície do solo. Essa parte é a maioria da água disponível ao crescimento e à reprodução das plantas. Esse conjunto forma o chamado sistema solo-planta-atmosfera, em que a água interage com todos os componentes.

A água volta à atmosfera por dois processos: evaporação e transpiração. A evaporação ocorre principalmente em corpos de água (rios, lagos e oceanos) e em solos, e a transpiração é proveniente dos seres vivos, principalmente das plantas. Em sistemas de produção agropecuária, a passagem da água do solo para a atmosfera é denominada evapotranspiração, que é a soma da água evaporada diretamente do solo e da água proveniente da transpiração das plantas.

Água na planta: evapotranspiração

As plantas utilizam água e nutrientes provenientes do solo em suas atividades metabólicas vegetativas e reprodutivas. Para isso, há necessidade de uma fonte de energia: o Sol. A energia solar é utilizada pelas plantas na fotossíntese, para a síntese dos fotoassimilados a partir da água e de diversos elementos químicos presentes no solo e na atmosfera.

A radiação solar também é absorvida pela atmosfera terrestre e aquece o ar e as plantas. Esse aquecimento causa dois fenômenos importantes para as plantas: aumento da retenção de umidade pelo ar e aquecimento das próprias plantas. Para não sofrer com o superaquecimento, as plantas transpiram cerca de 99% da água que absorvem. Quanto mais energia radiante houver na atmosfera, maior será a demanda das plantas por água.

Para suprir a demanda das plantas é necessário haver água no solo em quantidade suficiente na camada em que estão as raízes. A profundidade dessa camada de solo varia de espécie para espécie, e depende da profundidade do solo, do pH, e da disponibilidade de nutrientes. A falta de água nessa camada leva a planta ao estresse por deficiência hídrica, e o excesso leva ao estresse por excesso de água.

O consumo de água no sistema solo-planta denomina-se evapotranspiração, que é a soma da água evaporada diretamente do solo com a transpiração de água das plantas. A evapotranspiração das plantas apresenta grande variabilidade, pois há influência de fatores relacionados às plantas (espécie e fase do ciclo de vida), e de fatores climáticos (intensidade de radiação, temperatura do ar, vento e umidade relativa do ar).

Tal como no caso da chuva e da irrigação, a medida da evapotranspiração é o milímetro ($1 \text{ mm} = 1 \text{ L m}^{-2}$). Quando se lê que a evapotranspiração foi de 15 mm, quer dizer que houve a saída de 15 L m^{-2} de água do solo e das plantas.

As plantas não consomem sempre a mesma quantidade de água, pois há variações climáticas ao longo de seu ciclo produtivo. Assim, a evapotranspiração é reduzida em temperaturas mais baixas e em dias sem vento ou nublados, e aumenta quando ocorrem temperaturas altas e dias de pleno sol ou com alta intensidade de ventos.

A área foliar das plantas forrageiras varia bastante graças ao pastejo. A área foliar máxima e a área foliar mínima ocorrem imediatamente antes e após o pastejo, respectivamente. Como quase toda a transpiração de água das plantas ocorre pelas folhas, a evapotranspiração em áreas de pastejo rotacionado será máxima, imediatamente antes do início do pastejo, e mínima logo após o seu término.

Água no solo: armazenamento, disponibilidade e infiltração

O solo é a camada externa da superfície terrestre que resulta das alterações promovidas no material original por agentes climáticos, biológicos e outros. É composto por uma mistura em proporções variáveis de materiais sólidos, líquidos e gasosos, num sistema complexo e heterogêneo (Miranda *et al.*, 2001).

A parte sólida (matriz do solo) é composta por minerais e matéria orgânica. A fração orgânica constitui-se, basicamente, de resíduos animais e vegetais e de uma população viva de bactérias, de fungos, de algas, de insetos e de pequenos vertebrados. Dependendo do material de origem e do ambiente, a fração mineral tem características bem distintas em termos de forma, de tamanho e de composição química. As frações orgânica e mineral influenciam a porosidade do solo, o armazenamento de ar e água, e a relação entre solo e água. Quanto maiores forem o teor de matéria orgânica e a percentagem de argila, maior será a capacidade de armazenamento de água do solo.

A fração sólida (matriz) interage fortemente com a fração líquida do solo (solução) por meio de processos físicos e químicos, que prendem a água na matriz. As forças que ligam a solução à matriz variam de acordo com o volume e o tamanho dos poros e com a disponibilidade de água no solo (Reichardt, 1993 e Miranda *et al.*, 2001).

O armazenamento de água no solo ocorre

O armazenamento de água no solo pode ser comparado ao de uma esponja. Quando está quase seca é muito difícil retirar água dela, por mais que seja torcida ou espremida. Quando se joga água sobre ela, inicialmente a absorção é total, até chegar à sua máxima capacidade de armazenamento. A partir daí, para cada gota d'água que for entrar na esponja sairá outra gota pela parte de baixo.

em seus poros. É difícil extrair água quando o solo está quase seco, tanto que ele pode chegar a um grau de umidade tal que ocorra murcha ou morte de plantas. Esse grau de umidade é o chamado *ponto de murcha permanente*.

Ao receber água de chuva ou de irrigação, inicialmente o solo absorve toda a água, até chegar ao máximo de armazenamento, que é chamado de *capacidade de campo*. Se a chuva ou a irrigação continuar, para cada gota d'água que entrar ocorrerá a saída de outra gota de água para a camada inferior do solo. Esse fenômeno é chamado de percolação ou drenagem profunda.

Também pode haver perdas por escoamento superficial (enxurrada), quando parte da água não penetra no solo porque a velocidade de infiltração é menor do que a taxa de precipitação da chuva ou da irrigação.

Para que a irrigação seja eficiente, é necessário saber qual é a capacidade de armazenamento de água no solo, de maneira que a irrigação seja feita para repor a água consumida por evapotranspiração, sem causar perdas por drenagem profunda.

O armazenamento de água em uma camada qualquer do solo pode ser determinado por meio de amostras indeformadas, que mantêm a estrutura original do solo (poros e agregados de partículas) e, conseqüentemente, sua capacidade de armazenamento de água. A amostra deve ser retirada com anéis metálicos, com diâmetro e altura de 4 a 5 cm (**Figura 2**).

O anel metálico deve ser colocado sobre o solo, próximo à metade da camada que se deseja amostrar (p. ex.: 10 cm de profundidade para a camada de 0 a 20 cm, ou 30 cm para a camada de 20 a 40 cm). Sobre o anel deve-se encaixar outro anel ou um amostrador (**Figura 2**), sobre o qual se pode colocar um pequeno pedaço de madeira e bater com marreta de borracha.

Após sua introdução no solo, o anel deve ser retirado deixando uma pequena quantidade de terra acima e abaixo do anel, para evitar que a amostra seja danificada. Em laboratórios de Física do Solo, a amostra será preparada para as análises.

Geralmente, recomenda-se que as camadas amostra-

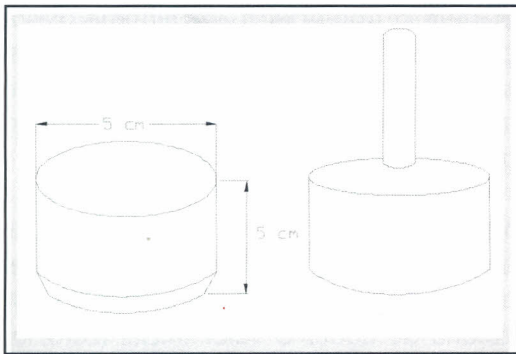


Figura 2. Esquema de amostrador e anel metálico para amostras indeformadas de solo.

das respeitem o perfil de cada tipo de solo. Na prática, faz-se a amostragem em camadas de 20 cm de espessura, em toda a profundidade do solo explorada pelas raízes. Para forrageiras, recomenda-se amostrar até 60 cm de profundidade. A amostra deve conter uma identificação com informações sobre o local e a profundidade da camada amostrada.

É muito importante que as amostras de solo não sofram modificações em sua estrutura, para representar adequadamente o solo da área a ser irrigada. As amostras não podem ter rachaduras, que são provocadas por ressecamento causado pela exposição ao tempo, ou por choques, ou solavancos durante o transporte. Cada amostra deve ser embalada individualmente com filme plástico para evitar o ressecamento; e com papel para amenizar os choques. Pode-se acondicionar um grupo de amostras em caixa de papelão ou madeira, com folhas de papel entre elas para aumentar a proteção. A seguir, envia(m)-se a(s) amostra(s) para um laboratório que determine o armazenamento de água no solo.

A estimativa do armazenamento de água é utilizada tanto nos projetos de sistemas de irrigação quanto no manejo da irrigação. Esse armazenamento recebe o nome de umidade do solo, que pode ser determinada por diversos métodos. Um dos mais precisos é o método gravimétrico, que consiste na determinação da umidade do solo por pesagem de amostras antes e após a secagem em estufa à temperatura de 105 a 110°C, por 24 h, tempo suficiente para atingir peso constante.

As etapas desse método são:

a) No campo:

- Retirar pequenas amostras de solo no campo, na profundidade desejada, acondicioná-las nos frascos e fechar com tampa e fita adesiva;
- Identificar cada amostra com etiqueta (número, local de coleta, data e profundidade de amostragem);
- Levar para local de análise.

b) No "laboratório":

- Colocar a amostra de solo um recipiente refratário (metal, vidro ou cerâmica);
- Pesar a amostra úmida e anotar o valor (peso úmido, ou P_1);
- Secar a amostra em estufa a 105-110°C por 24 horas;
- Pesar a amostra novamente e anotar o resultado (peso seco, ou P_2);
- Esvaziar o recipiente que contém a amostra, pesá-lo e anotar o peso (Pr).

A umidade do solo é dada por:

$$U = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - Pr}$$

P_1 - peso do solo úmido;

P_2 - massa do solo seco;

Pr - peso do recipiente.

A umidade do solo também pode ser expressa em termos de volume, representada pela letra grega θ (teta). O cálculo de θ é feito com a expressão:

$$\theta = U \cdot dg$$

U = umidade à base de peso seco, g/g;

dg = densidade global do solo, g/cm³.

Para calcular a densidade global do solo, deve-se proceder da seguinte maneira:

- Retirar uma amostra do solo com anel metálico de volume conhecido;
- Remover as partes do solo da amostra que ficaram fora das bordas do anel;
- Retirar o solo contido no anel e colocá-lo

- em um recipiente aberto e de vidro;
- Levar o recipiente com o solo à estufa a 105-110°C por 24 horas;
- Pesar a amostra de solo seco (peso em gramas);
- Calcular a densidade da seguinte maneira:

$$dg = \frac{Ms}{Vs}$$

Ms = massa do solo seco, em g;
Vs = volume do solo seco, em cm³.

O volume do solo pesado é igual ao volume do anel metálico e pode ser calculado da seguinte maneira:

$$Vs = \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} \cdot h_a$$

D_a = diâmetro do anel, em cm;
h_a = altura do anel, em cm.

A análise de uma área destinada à irrigação inclui a determinação da umidade do solo, para saber a quantidade de água que pode ser armazenada na zona de raízes. Para uma análise completa das amostras indeformadas de solo, deve-se fazer a curva característica de retenção de água no solo, ou simplesmente *curva de retenção*. Essa curva mostra a relação entre a

umidade e o potencial matricial (energia de retenção da água no solo). A **Figura 3** mostra a curva de retenção de um solo de textura média (escala normal e logarítmica) e os dados com que a figura foi gerada estão na **Tabela 4**.

As amostras devem ser encaminhadas a um laboratório de física do solo, para medir o armazenamento de água em valores de potencial matricial, que pode variar de zero a 15.000 cm de coluna de água. O valor inicial (zero) ocorre com o solo encharcado (saturado com água) e é chamado de *umidade no ponto de saturação*; o valor final (15.000 cmca) equivale a 15 atm e é chamado de *ponto de murcha permanente* (PMP), fase em que as plantas já não conseguem retirar água do solo.

Tabela 4. Dados da curva característica de retenção de água no solo.

Potencial matricial (cmca)*	Umidade do solo (θ) (cm ³ cm ⁻³)
0 (saturado)	0,385
0,1	0,348
0,2	0,342
0,4	0,314
1,0	0,264
3,0	0,223
5,0	0,213
10,0	0,201
50,0	0,195
150,0	0,193

*cmca = centímetros de coluna de água.

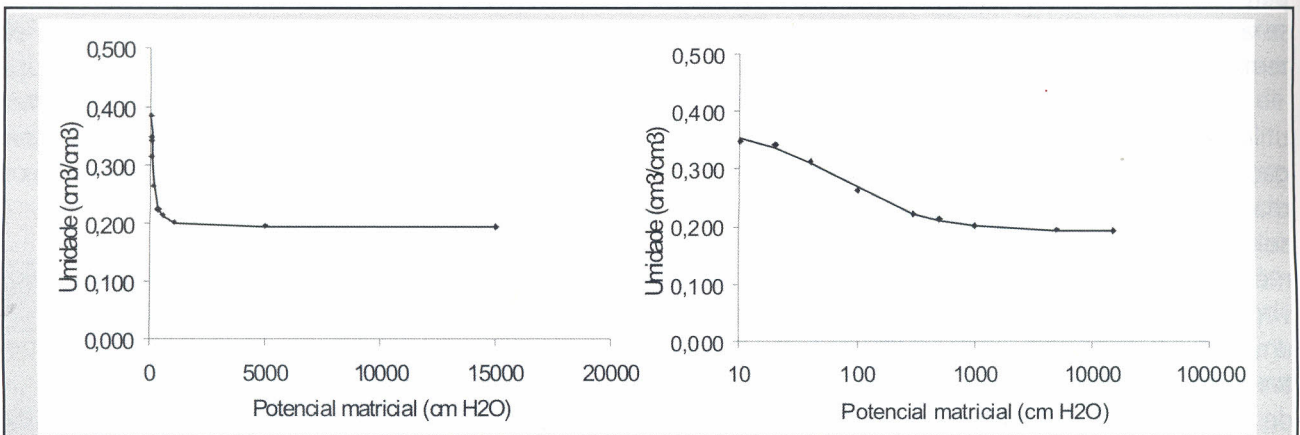


Figura 3. Curvas de retenção de água no solo: (a) escala normal; (b) escala logarítmica.

Após medir a umidade em cada potencial matricial, calcula-se a curva de retenção de água no solo (**Tabela 5**) com a seguinte equação:

$$\theta_a = \theta_{pmp} + \frac{\theta_s - \theta_{pmp}}{\left[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n\right]^m}$$

- θ_a = umidade atual do solo, em cm^3/cm^3 ;
- θ_{pmp} = umidade residual do solo, em cm^3/cm^3 (ponto de murcha permanente);
- θ_s = umidade de saturação do solo, em cm^3/cm^3 ;
- a, m, n = parâmetros de regressão da equação.

umidade do solo em que a maioria das plantas não consegue mais retirar água do solo, murcham e morrem.

A umidade no ponto de murcha permanente e a capacidade de campo variam de acordo com o tipo de solo, e as principais causas dessa variação são os teores de argila e de matéria orgânica. No PMP, o potencial matricial é de 15.000 cmca, enquanto na capacidade de campo o potencial varia de acordo com o tipo de solo. Para solos arenosos, o potencial matricial (Ψ_m) é de 100 cmca.; em solos de textura média, pode-se utilizar 120 a 150 cmca e, em solos argilosos, 330 cmca.

A fórmula para o cálculo do armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) é:

$$\text{CAD} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times 10 \times z$$

- θ_{cc} - umidade à capacidade de campo, em cm^3/cm^3 ;
- θ_{pmp} - umidade no ponto de murcha permanente, em cm^3/cm^3 ;
- z - profundidade da camada de solo, em cm.

Tabela 5. Variáveis da curva característica de retenção de água no solo.

Variáveis Nome	Símbolo	Unidade	Valor
Umidade residual	θ_{pmp}	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,193
Umidade no ponto de saturação	θ_s	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,385
Variável alfa (regressão)	α	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,0059
Variável n (regressão)	N	—	0,842
Variável m (regressão)	M	—	1,9008

Utilizando-se o exemplo da **Tabela 5**, a equação da umidade atual do solo fica assim:

$$\theta_a = 0,193 + \frac{0,385 - 0,193}{\left[1 + (0,0059 \cdot |\Psi_m|)^{0,842}\right]^{1,9008}}$$

Com a curva de retenção de água, calcula-se o armazenamento de água no solo. Na elaboração de projetos de irrigação, deve-se utilizar o armazenamento para saber a quantidade de água disponível.

O armazenamento de água no solo é calculado com os valores de umidade máxima (capacidade de campo) e mínima (ponto de murcha permanente). A capacidade de campo é a umidade do solo no ponto em que cessa a drenagem natural por causa do fim do encharcamento. O ponto de murcha permanente é a

No exemplo tomado até então, tem-se um solo de textura média e, portanto, o cálculo do armazenamento é feito assim:

Umidade na capacidade de campo ($\theta_a = \theta_{cc}$; $\Psi_m = 120$ cmca)

$$\theta_{cc} = 0,193 + \frac{0,385 - 0,193}{\left[1 + (0,0059 \cdot |120|)^{0,842}\right]^{1,9008}}$$

$$\theta_{cc} = 0,259 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

Umidade no ponto de murcha permanente ($\theta_a = \theta_{pmp}$; $\Psi_m = 15.000$ cmca).

$$\theta_{pmp} = 0,193 + \frac{0,385 - 0,193}{\left[1 + (0,0059 \cdot |15000|)^{0,842}\right]^{1,9008}}$$

$$\theta_{pmp} = 0,193 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

Armazenamento de água no solo ou capacidade de água disponível (CAD) em uma camada de 50 cm:

$$\text{CAD} = (0,259 - 0,193) \times 10 \times 50$$

$$\text{CAD} = 33 \text{ mm}$$

É possível determinar o intervalo máximo entre irrigações, utilizando-se o armazenamento de água no solo, a máxima demanda de água no sistema solo-planta (diferença entre evapotranspiração e chuvas) e a capacidade da planta de retirar água do solo. Esse intervalo entre irrigações é chamado de turno de rega.

Em áreas irrigadas, não se deve permitir que o grau de umidade do solo fique próximo do ponto de murcha permanente, pois as plantas sofreriam muito estresse, cujas consequências são: a redução de produtividade e até mesmo a morte. O turno de rega deve ser determinado de modo que seja consumida apenas uma fração do armazenamento de água do solo que as plantas podem retirar sem estresse (Bernardo *et al.*, 2006). Essa fração é chamada de água facilmente disponível (AFD) e é calculada assim:

$$\text{AFD} = f \times \text{CAD}$$

AFD = água facilmente disponível às plantas (mm);

CAD = capacidade de água disponível (armazenamento de água no solo, em mm);

f = fator de disponibilidade de água às plantas (sempre menor do que um).

O valor de "f" é sempre menor do que um, pois apenas uma parte da água do solo será consumida. Para plantas forrageiras, os valores de "f" variam de 0,3 a 0,7. De modo geral, pode-se utilizar $f = 0,5$, considerando-se a quantidade de água facilmente disponível igual a 50% do armazenamento de água no solo ($\text{AFD} = 0,5 \text{ CAD}$).

Exemplo: Considerando-se a evapotranspiração de 5 mm dia^{-1} , o fator de disponibilidade $f = 0,5$ e a CAD calculado no exemplo anterior

(28,6 mm), os valores de água facilmente disponíveis (AFD) e o turno de rega (TR) são:

$$\text{AFD} = f \times \text{CAD} = 0,5 \times 33$$

$$\text{TR} = \frac{16,5}{5} \cong 3 \text{ dias}$$

$$\text{Irrigação} = 3 \text{ dias} \times 5 \frac{\text{mm}}{\text{dia}} = 15 \text{ mm}$$

O sistema de irrigação deve ser capaz de aplicar uma lâmina d'água de irrigação igual a 15 mm a cada 3 dias.

Há uma relação entre a classe textural do solo e o armazenamento de água no solo. Se o armazenamento de água no solo não for conhecido, pode-se utilizar a **Tabela 6** para a estimativa desse armazenamento.

Tabela 6. Textura e disponibilidade de água no solo.

Textura (classe)	Armazenamento de água (CAD)	
	mm de água/cm de solo	M ³ /ha.por cm de solo
Grossa (arenoso)	0,4 a 0,8	4 a 8
Média (médio)	0,8 a 1,6	8 a 16
Fina (argiloso)	1,2 a 2,4	12 a 24

Fonte: Miranda *et al.* (2001); Prevedello (1996).

Exemplo: Em uma camada de 50 cm de espessura de um solo de textura média e considerando $f = 0,5$, os valores de CAD e de AFD serão:

$$\text{CAD}_{\text{mín}} = 0,8 \times 50 = 40 \text{ mm de água;}$$

$$\text{AFD} = 40 \times 0,5 = 20 \text{ mm;}$$

$$\text{CAD}_{\text{máx}} = 1,6 \times 50 = 80 \text{ mm de água;}$$

$$\text{AFD} = 80 \times 0,5 = 40 \text{ mm.}$$

Para que a água proveniente de chuva ou de irrigação seja armazenada no solo, é necessário que ela se infiltre na sua superfície. Se a intensidade da chuva (mm/h) ou da irrigação (mm h⁻¹) for maior do que a velocidade de infiltração de água no solo (mm h⁻¹), haverá escoamento superficial de água (enxurrada).

A enxurrada é a consequência natural de chuvas torrenciais. A quantidade de água proveniente

desse fenômeno não pode ser controlada pelo homem, e por isso o sistema de conservação do solo deve ser planejado para minimizar seus efeitos negativos. Quando a enxurrada ocorre em sistemas irrigados, em decorrência de aplicação excessiva de água, isto significa que houve erro de planejamento ou de utilização, sendo, nesse caso, necessário redimensionar ou melhorar o manejo do sistema de irrigação.

Para evitar o escoamento superficial de água em sistemas irrigados, deve-se escolher um aspersor que aplique água a uma taxa menor do que a velocidade de infiltração básica ($I_a < VIB$)². Para isso, é necessário um teste de infiltração de água no solo, para calcular a velocidade de infiltração básica (VIB). Esse teste é feito com o infiltrômetro de anéis (**Figura 4**), um equipamento composto por dois anéis metálicos feitos em chapa de aço.

Com o infiltrômetro será fincado no solo, deve ter a extremidade inferior afiada para penetrá-lo mais facilmente. O anel externo deve ter diâmetro de 50 a 70 cm e serve para regularizar as leituras de infiltração de água. O anel interno deve ter cerca de 30 cm de diâmetro e serve para fazer as leituras da infiltração de água no solo.

Os materiais necessários para o teste são:

- Dois anéis metálicos, com diâmetros de 60 cm (externo) e de 30 cm (interno);
- Caibro de madeira com 70 - 80 cm de comprimento;
- Marreta metálica;
- Fita adesiva e régua escolar plástica;
- Cronômetro ou relógio com cronômetro;
- Prancheta, papel e caneta.

O procedimento para o teste é o seguinte:

- Colocar os anéis metálicos em superfície plana do solo, como na **Figura 4**;
- Colocar um caibro de madeira atravessado sobre os anéis e bater nele com uma marreta para que os anéis penetrem no solo cerca de 10 cm;

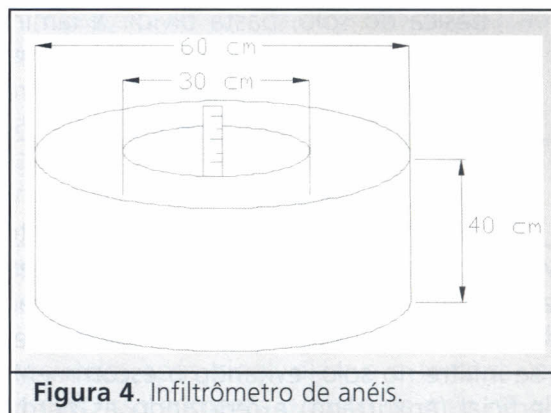


Figura 4. Infiltrômetro de anéis.

- Prender uma régua comum à parede interna do anel menor, com fita adesiva, de modo que a base se encoste ao solo e a ponta fique acima da borda do anel;
- Colocar um saco plástico no anel interno, encostando-o às paredes e ao fundo;
- Encher o anel externo e o saco plástico de água e preparar o cronômetro;
- Puxar uma das bordas do saco plástico até que ele saia do anel, deixando a água em contato com o solo;
- Ativar o cronômetro nesse instante e anotar a altura da água na régua;
- Anotar a leitura da régua quando o cronômetro chegar aos seguintes tempos:

0	1min	2min	4min	6min	11min	16min	26min	36min	51min	66min	96min	126min...
ΔT	1min	1min	2min	2min	5min	5min	10min	10min	15min	15min	30min	30min.

O teste deve prosseguir até que as lâminas d'água infiltradas em intervalos de 30 minutos sejam iguais. Para que o teste dê bons resultados, deve-se lembrar de alguns detalhes:

- A altura da lâmina de água no anel deve ter cerca de 10 cm;
- Quando a água dos anéis estiver acabando, deve-se enchê-los novamente. No caso do anel interno, anotar a leitura da régua antes e após o enchimento;
- Quando a lâmina d'água infiltrada em 30min for constante, o teste chegou ao fim. Geralmente isso ocorre de 150 a 300min (2,5 a 5h) após o início do teste;
- Para saber a velocidade de infiltração

¹ I_a = intensidade de aplicação do aspersor (mm h^{-1}); VIB = velocidade de infiltração básica do solo (mm h^{-1})

básica do solo, basta dividir a lâmina d'água infiltrada na última leitura (mm) pelo intervalo de tempo (0,5 h). O resultado obtido será a VIB (mm/h).

Escolha do aspersor

Ao escolher um aspersor para o projeto, deve-se optar por um modelo que tenha intensidade de aplicação menor do que a VIB, para garantir que toda a água aplicada pelo aspersor se infiltre no solo, evitando o escorrimento superficial (enxurrada) e reduzindo as perdas de solo e nutrientes por arrasto.

A seguir (**Tabela 7**), há um exemplo de teste de infiltração em solo de textura média. As colunas da tabela contêm os seguintes itens:

- a) tempo acumulado (T, min);
- b) tempo instantâneo (ΔT , min);
- d) leitura da régua (L, cm);
- d) diferença entre leituras (ΔL , cm e mm);
- e) velocidade de infiltração (VI, mm/h).

Para calcular o valor de VI (em cm h^{-1}), deve-se dividir a diferença entre leituras (ΔL , cm) pelo tempo instantâneo (ΔT , min) e multiplicar por sessenta (60 min h^{-1}).

Para calcular VI em mm/h basta multiplicar por dez o valor de VI em cm h^{-1} .

Por exemplo, na 3ª linha da **Tabela 5** tem-se:
 $\Delta T = 2 \text{ min}$ $\Delta L = 1,6 \text{ cm (13 - 11,4)}$

Então, a velocidade de infiltração é calculada assim:

$$VI = \frac{\Delta L}{\Delta T} \times 60 = \frac{1,6}{2} \times 60$$

$$VI = 48 \text{ cm/h}$$

$$VI (\text{mm/h}) = VI (\text{cm/h}) \times 10$$

$$VI (\text{mm/h}) = 48 \times 10 = 480 \text{ mm/h}$$

Nesse caso, a velocidade de infiltração estabilizou-se em 14 mm/h a partir de 120 min de teste (**Tabela 7**). Portanto, o aspersor para essa área deve ter taxa de aplicação menor ou igual à VIB ($I_a \leq 14 \text{ mm h}^{-1}$).

Tabela 7. Teste de infiltração de água no solo.

Tempo		Leitura da régua			VI
T	ΔT	L (cm)	ΔL (cm)	ΔL (mm)	(mm h ⁻¹)
0	0	10	—	—	—
1	1	11,4	1,4	14	840
3	2	13/10	1,6	16	480
5	2	10,9	0,9	9	270
10	5	11,9	1	10	120
20	10	13,3/10	1,4	14	84
30	10	10,9	0,9	9	54
45	15	11,8	0,9	9	36
60	15	12,5	0,7	7	28
90	30	13,2	0,7	7	14
120	30	13,9/10	0,7	7	14
150	30	10,7	0,7	7	14

T = tempo acumulado (min); ΔT = tempo instantâneo (min); L = leitura da régua; ΔL = diferença entre leituras; VI = velocidade de infiltração.

Critérios para determinação de quanto e quando irrigar

Conceitos

O objetivo do manejo da irrigação é o fornecimento de água às plantas na quantidade e no momento correto. Para isto é necessário monitorar o armazenamento de água no solo (CAD e AFD) e monitorar sua variação.

Para garantir um bom desenvolvimento vegetativo, deve-se garantir que as plantas não sofram com estresse hídrico acentuado, irrigando sempre que a variação do armazenamento de água do solo for igual ou bem próxima à AFD. Isso significa que a irrigação será aplicada sempre que a umidade do solo facilmente absorvida pelas plantas tiver sido consumida.

Bernardo *et al.* (2006) ressaltam que o ponto-chave do manejo da irrigação é *decidir quando irrigar e quanto de água aplicar*. A lâmina d'água de irrigação (quanto irrigar) é normalmente calculada com base no consumo de água da cultura e na eficiência de aplicação do sistema de irrigação:

$$h_B = \frac{h_L}{E_i}$$

h_B - lâmina bruta de irrigação, em mm;
 h_L - lâmina líquida de irrigação, em mm;
 E_i - Eficiência de aplicação de água, em mm.

A lâmina líquida é igual ao consumo de água da planta. Parte da água de irrigação evapora antes de chegar ao solo, no próprio ar ou nas folhas das plantas. Portanto, a eficiência de irrigação é menor que 100% ($E_i < 1,0$). Na irrigação por aspersão consideram-se valores de eficiência entre 75% e 85%. A lâmina bruta é a quantidade de água que se deve aplicar para disponibilizar a lâmina líquida às plantas.

O controle da umidade do solo pode ser feito diretamente no solo, ou ser estimado com variáveis climáticas e modelos agrometeorológicos.

Métodos de manejo da irrigação

Os métodos de manejo de irrigação podem ser reunidos em dois grandes grupos (Bernardo, 2006):

a) *Lâmina d'água fixa e turno de rega variável*: irriga-se sempre com a mesma quantidade de água, mas o intervalo entre irrigações é variável. Esse tipo de manejo é mais comum em pequenas áreas, pois necessita de mais equipamento instalado por área, a fim de garantir que a irrigação da área toda seja feita no mesmo dia. A lâmina d'água é calculada previamente, com a expressão:

$$h_b = \frac{h_L}{E_i}$$

h_b - lâmina bruta de irrigação, em mm;

h_L = AFD = água facilmente disponível;

E_i - Eficiência de aplicação de água, em mm.

A partir daí, monitora-se o consumo de água diariamente. A irrigação será aplicada sempre que o consumo acumulado for igual ou estiver próximo do valor de h_L .

O exemplo a seguir mostra um balanço hídrico com lâmina d'água fixa e turno de rega variável (Tabela 8).

$$h_L = \text{AFD} = 17 \text{ mm};$$

$$E_i = 85\%;$$

Exemplo: No dia 13 de junho, a situação foi a seguinte:

Saldo inicial (ARM _i):	2,2 mm
Saída: Evapotranspiração	-3,8 mm
Entradas: Chuvas	+0,0 mm
Irrigação	+20,0 mm
Saldo final (ARM _f):	= 18,4 mm.

A primeira irrigação foi feita após oito dias; a segunda, após cinco dias; e a terceira, após seis dias. Isso aumenta o custo de mão de obra, pela necessidade do operador passar mais tempo monitorando a irrigação, pois não se sabe ao certo quando ela ocorrerá.

b) *Turno de rega fixo e lâmina d'água variável*: o turno de rega é prefixado e a lâmina d'água de irrigação é calculada por meio do monitoramento ou da estimativa da umidade do solo. Esse tipo de método reduz a quantidade de equipamentos necessários à irrigação, pois a área a ser irrigada é dividida em tantas partes

Tabela 8. Balanço hídrico para manejo de irrigação com lâmina d'água fixa e turno de rega variável.

Data	Saídas ET (mm)	Entradas (mm)		ARM _a * (mm)	
		Chuva	Irrigação	Inicial	Final
1-jun	3,7	15		20	20
2-jun	3,9			20	16,1
3-jun	4,0			16,1	12,1
4-jun	3,2			12,1	8,9
5-jun	4,3			8,9	4,6
6-jun	3,9			4,6	0,7
7-jun	2,3			0,7	0
8-jun	5,0		20	0	15
9-jun	3,6			15	11,4
10-jun	2,7			11,4	8,7
11-jun	2,9			8,7	5,8
12-jun	3,6			5,8	2,2
13-jun	3,8		20	2,2	18,4
14-jun	2,3	7		18,4	20,0
15-jun	2,9			20,0	17,1
16-jun	4,0			17,1	13,1
17-jun	4,5			13,1	8,6
18-jun	4,7			8,6	3,9
19-jun	4,5		20	3,9	19,4
20-jun	5,0			19,4	14,4
21-jun	4,8			14,4	9,6

ARM_a máx. = AFDAFD = 20 mm. ET = evapotranspiração; ARM_a = armazenamento de água atual; AFD = água facilmente disponível.

quantas forem os dias do turno de rega, e uma parte da área será irrigada a cada dia. O turno de rega é calculado previamente, com a seguinte expressão:

$$TR = \frac{AFD \times E_i}{(ET_m - P)}$$

- TR - turno de rega, em dias;
 AFD - água facilmente disponível, em mm;
 E_i - Eficiência de aplicação de água, em mm;
 ET_m - evapotranspiração máxima da cultura, em mm.dia⁻¹;
 P - precipitação pluvial média (chuva), em mm.dia⁻¹.

Exemplo: AFD = 18 mm; E_i = 85%; ET_m = 5,5 mm.dia⁻¹; P = 2,5 mm.dia⁻¹

$$TR = \frac{18 \times 0,85}{(5,5 - 2,5)} \cong 5 \text{ dias}$$

O turno de rega é então prefixado em seis dias. Assim será possível garantir que a pastagem não sofrerá deficiência hídrica significativa, mesmo na situação de máxima demanda de água (ET_m - P = 3 mm.dia⁻¹). Nem sempre a demanda de água será máxima e, nesse caso, a lâmina d'água de irrigação será menor que 18 mm. É necessário monitorar a demanda para determinar qual será a lâmina d'água a cada irrigação.

A **Tabela 9** mostra um exemplo de manejo com turno de rega fixo (cinco dias) e lâmina d'água variável.

Observa-se que esse tipo de manejo reduz o emprego de mão de obra e equipamentos utilizados na irrigação, pois é possível programar melhor o trabalho do operador. No primeiro dia, irriga-se a primeira parte da área, e assim por diante. Ao final do intervalo correspondente ao turno de rega, volta-se a irrigar a primeira parte e o ciclo recomeça.

A cada dia deverá ser irrigada uma parte da área, portanto será necessário ter aspersores que cubram apenas uma fração da área total irrigada. Em pivôs centrais, pode-se dividir o pivô

em parcelas com formato similar às fatias de uma pizza, irrigando uma parte a cada dia.

Exemplo: No dia 5 de junho, a situação foi a seguinte:

Saldo inicial (ARM):		8,9 mm
Saída:	Evapotranspiração	-4,3 mm
Entradas:	Chuvas	+0,0 mm
	Irrigação	+12,0 mm
Saldo final (ARM _f):		= 16,6 mm

A lâmina d'água a ser aplicada é arredondada para cima, pois há sempre o consumo que ocorre no dia da irrigação, que raramente será coberto pelo excedente de irrigação em razão do arredondamento. Portanto, o armazenamento final será sempre igual ou inferior ao máximo (neste exemplo, 20 mm), como se pode comprovar na **Tabela 9**.

O fato de ter ocorrido armazenamento negativo no dia 19 de junho não é problema, pois o armazenamento considerado é a água facilmente disponível, ou seja, uma fração da CAD (Nesse caso 50% CAD). Portanto, ainda há água no solo, e uma pequena deficiência não causará estresse significativo às plantas.

Determinação da lâmina de irrigação

A umidade do solo pode ser medida direta ou indiretamente. A partir da umidade atual do solo, deve-se proceder à irrigação de modo a fazer com que a umidade retorne à capacidade de campo.

A seguir, são apresentados alguns métodos diretos e indiretos de cálculo da umidade do solo, adaptados a partir dos métodos de determinação da evapotranspiração apresentados por Bernardo *et al.* (2006).

a) Métodos diretos

a.1) **Lisímetros:** são tanques enterrados no solo, dentro dos quais se mede a evapotranspiração. Com o auxílio de um pluviômetro, mede-se a precipitação pluvial e, com o balanço hídrico, determina-se a necessidade de irrigação.

Os lisímetros podem ser de dois tipos: pesáveis e não-pesáveis. Os lisímetros pesáveis podem ser de pesagem mecânica, flutuáveis ou hidráulicos. Os lisímetros não-pesáveis podem ser de drenagem ou de percolação.

Tabela 9. Balanço hídrico para manejo de irrigação com turno de rega fixo e lâmina d'água variável.

Data	Saídas ET (mm)	Entradas (mm)		ARM _a * (mm)	
		Chuva	Irrigação	Inicial	Final
1-jun	3,7	15,0		20,0	20,0
2-jun	3,9			20,0	16,1
3-jun	4,0			16,1	12,1
4-jun	3,2			12,1	8,9
5-jun	4,3		12,0	8,9	16,6
6-jun	3,9			16,6	12,7
7-jun	2,3			12,7	10,4
8-jun	5,0			10,4	5,4
9-jun	3,6			5,4	1,8
10-jun	2,7		20,0	1,8	19,1
11-jun	2,9			19,1	16,2
12-jun	3,6			16,2	12,6
13-jun	3,8			12,6	8,8
14-jun	2,3	7,0		8,8	13,5
15-jun	2,9		7,0	13,5	17,6
16-jun	4,0			17,6	13,6
17-jun	4,5			13,6	9,1
18-jun	4,7			9,1	4,4
19-jun	4,5			4,4	-0,1
20-jun	5,0		21,0	-0,1	15,9
21-jun	4,8			15,9	9,6

ARM_a máx. = AFD AFD = 20 mm
 *ARM_a = armazenamento de água atual; AFD = água facilmente disponível; ET = evapotranspiração;

a umidade de volta à capacidade de campo:

$$h_B = \frac{(U_{CC} - U_A) \times dg \times 10 \times z}{E_i}$$

U_{CC} - umidade do solo à capacidade de campo, em g.g⁻¹;

U_A - umidade atual do solo, em g.g⁻¹

b) Métodos indiretos

b.1) **Tensiometria:** os tensiômetros medem o potencial matricial de água no solo (ψ_m), que é correlacionado à umidade do solo. A determinação da lâmina d'água de irrigação é calculada por:

$$h_B = \frac{(h_{CC} - h_A)}{E_i}$$

h_B - lâmina bruta de irrigação, em m;

h_{CC} - lâmina d'água armazenada à capacidade de campo, em mm;

h_A - lâmina atual d'água no solo, em mm.

Como os lisímetros permitem determinar a evapotranspiração das culturas, é possível calcular a lâmina de irrigação necessária para retornar à capacidade de campo:

$$h_B = \frac{(ET_{C_{acum}} - P_{acum})}{E_i}$$

h_B - lâmina bruta de irrigação, em mm;

$ET_{C_{acum}}$ - evapotranspiração acumulada da cultura, medida no lisímetro, em mm;

P_{acum} - precipitação acumulada, em mm;

E_i - eficiência de aplicação de água, em valor decimal.

a.2) **Método gravimétrico:** A medição direta é feita com o método gravimétrico. A lâmina d'água de irrigação é calculada de modo a levar

A lâmina d'água presente no solo é dada pela expressão:

$$h_A = -12,6 \times h_{Hg} + h_1 \times h_2$$

h_{Hg} - altura da coluna de mercúrio, em m;

h_1 - altura da cuba de mercúrio ao chão, em m;

h_2 - profundidade da cápsula porosa, em m.

A capacidade de leitura do tensiômetro é de pressões até 0,75 atm. Após esse limite, a água existente na interface muda do estado líquido para gasoso, fazendo com que o equipamento perca a escorva³ (Mantovani *et al.*, 2006).

³ Tensiômetros são equipamentos constituídos de cápsula de cerâmica ligada por meio de tubo a um vacuômetro onde a pressão é lida. É fundamental a retirada do ar dessa cápsula (escorva) para o perfeito funcionamento desse equipamento.

Esse equipamento tem o inconveniente de quantificar apenas porções da água disponível no solo. Por exemplo, em solos arenosos, essa porção é de 70%, enquanto para solos argilos esse valor é de apenas 40% (Drumond e Aguiar, 2005).

b.2) Evaporímetros: são equipamentos que medem a evaporação de água. Há dois tipos básicos: com superfície de água livremente exposta ao ar (Tanque Classe A e outros tanques) e com evaporação de água por meio poroso (atmômetros de Liginston e de Bellani, e evaporímetro de Piché).

Tal como nos lisímetros, a lâmina d'água é calculada a partir do consumo acumulado:

$$h_b = \frac{(ET_{\text{Cacum}} - P_{\text{acum}})}{E_i}$$

A diferença é que a evapotranspiração não é medida e, sim, estimada por meio da seguinte relação:

$$ET_c = K \times E_v$$

- ET_c - evapotranspiração da cultura, em mm;
- E_v - evaporação de água no evaporímetro, em mm;
- K - coeficiente de correlação entre ET_c e E_v.

Método EPS (evaporação-planta-solo)

Rassini (2004) desenvolveu um método de manejo de irrigação de plantas forrageiras, baseado no uso de evaporímetros e na calibração com determinações diárias da umidade em amostras de solo (método gravimétrico). A umidade foi monitorada nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, para conhecer os perfis de umidade do solo e calcular o armazenamento de água e os demais componentes do balanço hídrico (evapotranspiração e irrigação).

O manejo é feito com base em informações obtidas de dois equipamentos, um evaporímetro (tanque Classe A ou Piché) e um pluviômetro (Figura 5).

O fundamento do método EPS é a determinação da lâmina d'água de irrigação a

partir de uma relação entre a diferença da evaporação do tanque Classe A (ECA) ou do evaporímetro de Piché (EPI) e a precipitação pluvial (P). A irrigação é aplicada sempre que essa diferença atingir valores entre 20 e 30 mm (ECA - PRP = 20 a 30, ou EPI - PRP = 20 a 30).

O método foi desenvolvido com a alfafa (*Medicago sativa* L.) e seis gramíneas forrageiras tropicais: *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. decumbens*, *Cynodon dactylon* cv. Coastcross, *Pennisetum purpureum* cv. capim-elefante e *Paspalum atratum* cv. Pojuca.

Exemplo de uso do método EPS

Na Tabela 10, é apresentado um exemplo do manejo com o Método EPS, utilizando-se um evaporímetro de Piché e um pluviômetro.

Considerou-se uma situação para solos de textura média, na qual é razoável considerar que a irrigação deve ser feita sempre que a diferença entre a evaporação e a precipitação estiver num intervalo entre 20 e 30 mm (EPI - P = 20 a 30 mm).

A evaporação de água é igual à diferença entre duas leituras consecutivas. A reposição de água é feita sempre que o nível de água no Piché estiver baixo. Ao repor água no Piché, utiliza-se o valor da coluna de reposição para calcular a diferença entre as leituras; no dia seguinte, volta-se a utilizar apenas a coluna de leitura.

No caso do método EPS com o uso do evaporímetro de Piché, o cálculo da lâmina de irrigação é feito assim:

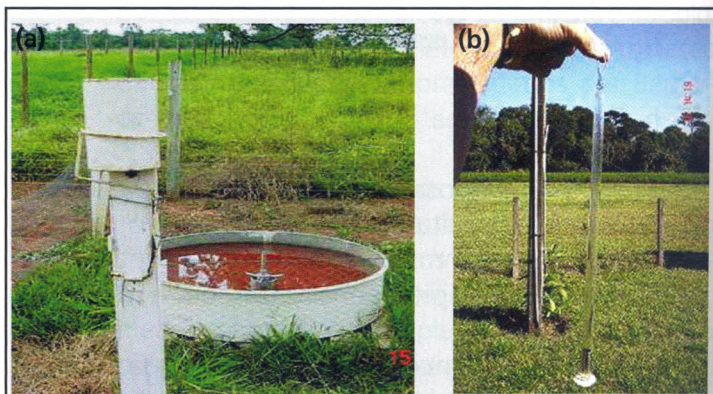


Figura 5. (a) Tanque do tipo classe A e pluviômetro, utilizados no manejo de irrigação (método EPS); (b) Evaporímetro de Piché, que pode ser utilizado em substituição ao tanque do tipo classe A.

Tabela 10. Exemplo de aplicação do método EPS, em São Carlos-SP, com evaporímetro de Piché, considerando-se as ocorrências climáticas durante dez dias.

Data	Leitura do Piché (mm)	Reposição de água (mm)	Diferença ou EPI (mm)	P (mm)	EPI - P (mm)	I (mm)
04/04/2008	140,0	—	—	—	—	—
05/04/2008	135,0	—	5,0	—	5,00	—
06/04/2008	129,0	—	6,0	—	11,0	—
07/04/2008	122,5	—	6,5	—	17,5	—
08/04/2008	115,3	—	7,2	—	24,7	16,1
09/04/2008	110,8	—	4,5	—	4,5	—
10/04/2008	105,4	—	5,4	—	9,9	—
11/04/2008	102,1	—	3,3	2,0	11,2	—
12/04/2008	96,2	140,0	5,9	—	17,1	—
13/04/2008	134,1	—	5,9	9,0	14,0	—
14/04/2008	128,2	—	5,2	—	19,2	—
15/04/2008	123,0	—	3,2	—	22,4	14,6

EPI = evaporação no evaporímetro de Piché. P = precipitação pluvial. EPI - PRP = acúmulo da diferença entre evaporação e precipitação. I - irrigação.

$$h_B = \frac{K \times (EPI - P)_{acum}}{E_i}$$

O valor do coeficiente de ajuste "K" varia de acordo com a cultura. Dados experimentais obtidos no manejo de irrigação, na Embrapa Pecuária Sudeste (não publicados), mostram valores de K entre 0,55 e 0,65 para gramíneas tropicais, e de 0,7 a 0,8 para a alfafa.

Uniformidade da irrigação

A uniformidade de distribuição e o controle da aplicação são, em geral, dois importantes pré-requisitos técnicos para uma irrigação mais eficiente. Na irrigação por aspersão, em razão do seu sistema de distribuição de água, a uniformidade irá depender não apenas das características do sistema, mas também das condições climáticas, principalmente velocidade do vento (**Tabela 11**). A integração de lâminas aplicadas em sistemas móveis de aspersão (pivô central,

linear e autopropelido) proporciona melhor uniformidade que sistemas estacionários.

Na **Tabela 11**, a interpretação dos valores de CUC, indica que no teste 1, 64,7% da área está recebendo a lâmina d'água adequada, enquanto outros 35,3% não. Por outro lado, no teste dois, apenas 9,7% da área está recebendo lâmina inadequada. O ajuste na uniformidade de distribuição pode representar economia de até 42% da água utilizada no sistema de irrigação (Drumond e Aguiar, 2005). É possível observar também que, no teste 1, o excesso de PS implicou em baixa uniformidade. Enquanto no teste 2, realizado à noite, o valor de uniformidade foi bem melhor em virtude da menor velocidade do vento, mesmo mantendo a PS alta. Para o teste 3, diminuiu-se a OS e, mesmo com a velocidade do vento alta, o coeficiente de uniformidade foi melhor que no teste 1. Assim, além da velocidade do vento, a regulagem da OS é fator fundamental para determinar a uniformidade.

a distribuição ao longo dos raios, numerando-se os coletores em ordem crescente a partir do centro e afastando-os de 3 a 5m. Em razão do aumento da área por causa do distanciamento do centro do pivô, cada coletor instalado radialmente representa área crescente. Desse modo, faz-se necessário ponderar as lâminas coletadas, por meio da multiplicação do valor coletado pelo número correspondente do pluviômetro.

Os dados coletados para determinação da uniformidade são aplicados em fórmulas que determinam os coeficientes de uniformidade. São diversos os coeficientes para expressar essa uniformidade. Os mais conhecidos são o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942) e o coeficiente de uniformidade de Distribuição (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1968).

O CUC pode ser calculado aplicando-se a seguinte equação:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^a |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right)$$

Em que:

- CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;
- X_i - precipitação no pluviômetro de ordem i , mm;
- \bar{X} - média aritmética das precipitações, mm;
- n - número de pluviômetros.

O cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição pode ser obtido segundo a equação abaixo:

$$CUD = \frac{x}{\bar{X}} \cdot 100$$

Em que:

- CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;
- \bar{X} - média aritmética das precipitações, mm; e
- x - média de 25% do total de pluviômetros com as menores precipitações, mm.

Em irrigação por aspersão é recomendável

que o coeficiente de uniformidade seja maior ou igual a 85%. É importante que seja feita a revisão anual dos equipamentos a fim de buscar manter os índices técnicos adequados.

Um aumento na uniformidade de 65% para 85% (com calibragem dos equipamentos de irrigação, por exemplo) representa uma economia de 109.000 m³ de água e 46.167 KWh de energia elétrica (Mantovani *et al.*, 2006).

Considerações finais

Em decorrência do aumento da população mundial, têm-se intensificado os conflitos pelo uso da água. De acordo com a legislação vigente, o uso prioritário é o abastecimento doméstico, seguido pelos usos comerciais e industriais. Por último vem o uso agrícola, no qual também há prioridade para a dessedentação de animais e outras atividades. A irrigação pode ser considerada, praticamente, a última prioridade de uso da água.

A irrigação de pastagens deverá evoluir mais em regiões com menor pressão por usos múltiplos da água. Várias dessas regiões estão em locais de menor latitude, com temperaturas mais altas e mais favoráveis a respostas positivas à irrigação.

Há alguns erros que devem ser evitados para aumentar as chances de sucesso. Os principais são:

- desequilíbrio na fertilidade do solo por causa da adubação insuficiente para obter bons resultados com a irrigação;
- instalação de sistemas de irrigação sem planejamento, sem projeto e sem pedido de outorga de uso de água;
- uso de sistemas com bombeamento a diesel, mesmo onde é possível utilizar energia elétrica;
- falta de manutenção adequada dos sistemas de irrigação;
- falta de treinamento de mão de obra para operação de sistemas de irrigação;
- falta de conhecimento das reais possibilidades de incremento na produtividade e na rentabilidade nos sistemas de produção irrigados.

São necessários, também, estudos sobre a

irrigação de forrageiras, considerando-se o sistema de produção como um todo. Alguns dos fatores a serem estudados são:

- potencial de redução da necessidade de alimentos concentrados e modificações no custo das instalações para o seu armazenamento;
- uso da irrigação para produção de alimentos para o período de outono-inverno;
- sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastejo rotacionado;
- fertirrigação e eficiência da adubação nitrogenada e potássica;
- forrageiras mais adequadas ao uso em áreas irrigadas;
- retorno econômico da irrigação nas diversas atividades de produção (cria, recria e engorda).
- automatização de sistemas de irrigação para uso noturno;
- irrigação com déficit: resposta das forrageiras ao atendimento parcial de suas necessidades hídricas.

Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA [2004]. **A situação da escassez de água no mundo**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 23 ago 2004.
- AGRITEMPO. **Sistema de monitoramento agrometeorológico**. [2008]. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 01/02/2008.
- Balsalobre, M.A.A.; Santos, P.M.; Maya, F.L.A.; Penati M.A.; Corsi, M. Pastagens irrigadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003, p.265-296.
- Bernardo, S. Tecnologias aplicadas ao planejamento de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F (eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1997.79-88p.
- Bernardo, S.; Soares, A.A.; Mantovani, E.C. **Manual de irrigação**. 8 Ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- Christiansen, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124p.
- CNA [2008]. **Relatório de atividades 2006**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br>> Acesso em: 26 de março de 2008.
- Cristofidis, D. Irrigação: a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Revista ITEM**, n.54, p.46-55. 2002.
- Cristofidis, D. Recursos hídricos e irrigação no Brasil. In: WORKSHOP DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO NO NORDESTE, 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 1999, 1-34 p.
- Drumond, L.C.D.; Aguiar, A.P.A. **Irrigação de pastagem**. 1ed. Uberaba: Drumond, L.C.D., 2005. 210p.
- Ferreira, P.A. Tecnologias aplicadas ao planejamento de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F (eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS: Viçosa: Depto de Engenharia Agrícola, 1997.191-207p.
- IBGE. [2008]. **Dados gerais de áreas com estabelecimentos na agropecuária em hectares**. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P> > acesso em: 27 de março de 2008.
- Mantovani, E.C.; Bernardo, S.; Palaretti, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 318p.
- Maya, F.L.A. **Produtividade e viabilidade econômica de recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem o uso da irrigação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2003. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.
- Mendonça, F.C. Análise econômica do custo total de irrigação. In: MENDONÇA, F.C. (Ed.) **Projetos e manejo de irrigação de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 58-64 (No prelo).
- Miranda, J.H.; Gonçalves, A.C.A.; Carvalho, D.F. Relações água-solo-planta-atmosfera. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p.1-62.
- Moreno, L.S.B. **Produção de forragem de capins do gênero Panicum e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas**

- em função de variáveis climáticas.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
- Noronha, J.F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica.** São Paulo: Atlas, 1981. 274p
- Nova, N.V.; Tonato, F.; Pedreira, C.G.S.; Pedreira, B.C. Método alternativo para a determinação da temperatura-base de espécies forrageiras. In: INTERNACIONAL GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY, 2, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2004.
- Prevello, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: C.L. Prevedello, 1996. 446 p.
- Rassini, J.B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.821-825, 2004.
- Reichardt, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** Piracicaba: ESALQ, 1993. 505 p.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering Handbook.** Washington: Sprinkler Irrigation, cap.11, secção 5, 1968. 83 p.