

# USO ESTRATÉGICO DA IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGENS

---

FERNANDO CAMPOS MENDONÇA\*  
ARTUR CHINELATO DE CAMARGO\*\*

## Introdução

O uso da irrigação em pastagens elimina a deficiência hídrica e reduz o risco da falta de alimentos para a produção animal, mas deve ser feito de forma economicamente viável e ambientalmente responsável.

Há alguns fatores que predis põem o produtor rural a utilizar técnicas de intensificação da produção animal, inclusive a irrigação: aumento do preço das *commodities* agrícolas; competição pelo uso da terra; aumento do custo da alimentação fornecida no cocho (cana, feno, silagem e concentrados); aumento do custo da mão de obra;

---

\* Engenheiro agrônomo, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste – Rod. Washington Luís, km 234 – 13560-970, São Carlos, SP. Tel.: (16) 3411-5600. fernando@cnpse.embrapa.br

\*\* Engenheiro agrônomo, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste. artur@cnpse.embrapa.br

melhoramento genético do rebanho e das forrageiras; conhecimento técnico acessível (Internet, cursos, simpósios etc.).

Para ter sucesso na produção animal em pastagens irrigadas, é necessário aplicar outras técnicas junto à irrigação, tais como calagem e adubação, pastejo rotacionado, sobresemeadura de forrageiras de inverno, manejo do rebanho, adequação da infraestrutura e treinamento de mão de obra.

Vários trabalhos de pesquisa sobre irrigação de pastagens foram feitos, mas a maioria abordou a produtividade das forrageiras tropicais isoladamente, e não os sistemas de produção como um todo. Na abordagem isolada da produção de forragem não são considerados alguns aspectos importantes, tais como o custo da mão de obra e da infraestrutura para o fornecimento de silagem ou cana e a liberação de áreas para pastagens devido ao aumento da produtividade em canaviais irrigados.

Este texto trata da irrigação de pastagens, abordando o histórico experimental, a produtividade e a estacionalidade de produção de forrageiras tropicais, os aspectos econômicos e a adequação do manejo das pastagens irrigadas.

### Conjuntura atual da produção animal bovina a pasto

Silva & Nascimento Jr. (2006) analisaram a evolução das pastagens e do rebanho de corte brasileiro entre as décadas de 1970 e 1990, mostrando que a área de pastagens aumentou de 154,1 para 177,7 milhões de hectares, com substituição de espécies forrageiras (55% de pastagens cultivadas) e predominância do gênero *Brachiaria*. Isso levou ao crescimento do rebanho bovino e da taxa de lotação, de 0,25 UA/ha, em 1970, para os atuais 0,9-1,0 UA/ha, e contribuiu para o aumento da taxa de abate nesse mesmo período (de 12% para 20%).

Apesar da significativa mudança da utilização de pastagens, a produtividade atual é insuficiente para manter a atividade pecuária em regiões com alto custo de oportunidade da terra. Atividades como a produção de grãos, açúcar e álcool, citricultura, fruticultura e produção de madeira competem pelo uso da terra e tomam terras das atividades pecuárias, garantindo maior rentabilidade ao produtor

rural. Os resultados preliminares do último censo agropecuário realizado pelo IBGE (Censo..., 2006) mostram um movimento no sentido inverso, com redução de 3% (de 177,7 para 172,4 milhões de ha) na área de pastagens e aumento de 83,5% na área de lavouras (de 41,8 para 76,7 milhões de ha), em relação ao censo de 1996.

Em termos de taxa de lotação animal, o rebanho bovino leiteiro do Brasil está em situação semelhante à do rebanho de corte, com o agravante de a maior parte da produção ser proveniente de pequenas propriedades. Mais de 75% das propriedades rurais de São Paulo têm área de até 50 ha (Cati & IEA, 2008), situação que se repete em outros estados (Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul etc.). A média de produção de leite por estabelecimento não chega a 45 L/dia (Censo..., 2006), o que dificulta a manutenção da atividade e da propriedade.

Gomes (2006) publicou um levantamento do rebanho leiteiro do Estado de Minas Gerais, responsável por mais de um terço da produção nacional, mostrando que apenas 4,4% dos entrevistados produziam leite, por se tratar de negócio lucrativo. Os outros 95,6% produziam leite por lhes proporcionar uma renda mensal, ou por não saberem fazer outra coisa, ou porque combinavam a produção leiteira com outra atividade na propriedade. O autor observou que as vacas representam apenas 35% do rebanho, e as vacas em lactação, apenas 23%. Há excesso de animais em cria e recria, em relação à necessidade de renovação do rebanho, o que aumenta o custo de produção e reduz ou impossibilita a viabilidade econômica da atividade. Ao juntar a baixa taxa de lotação animal e a pequena área da maioria das propriedades leiteiras, tem-se um quadro de baixa renda, dificuldades financeiras e abandono da atividade.

Quando os entrevistados foram questionados sobre o que pretendiam fazer com a produção de leite, responderam: utilizar tecnologia ou melhorar a que estava sendo empregada e aumentar a produção. Para atender a esses produtores ávidos por informações técnicas e inseri-los no processo produtivo, há necessidade de profissionais capacitados para a assistência técnica, com boas condições de trabalho. A capacitação desses técnicos de entidades públicas ou privadas, ou mesmo autônomos, deve ser feita pelas entidades de ensino e/ou pesquisa.

A aplicação de tecnologia adequada a cada tipo de propriedade e produtor pode ser feita sob a orientação de técnicos extensionistas, com treinamento para atender às necessidades dos produtores rurais. Camargo et al. (2006a, b, c, d, e) mostraram cinco estudos de caso, com exemplos de produtores rurais que atingiram produtividades de leite entre 8 mil e 20 mil L/ha/ano. Há casos de produtores que já obtiveram produtividades superiores a 45 mil L/ha/ano, mostrando o potencial de desenvolvimento decorrente desse tipo de trabalho.

Dentre as técnicas que o extensionista pode indicar ao produtor rural, a irrigação surge como forma de reduzir o custo de produção de forragem e aumentar a chamada 'janela de pastejo' – período anual de utilização do pasto – e a produtividade da pastagem. Além disso, a irrigação permite que se faça a sobressemeadura de espécies forrageiras de inverno em pastagens tropicais, aumentando a lotação animal no período de outono-inverno e possibilitando a redução do estresse hídrico das forrageiras tropicais.

### **Irrigação e estacionalidade da produção de forragem**

A irrigação da pastagem por causa das forrageiras de inverno disponibiliza água às forrageiras tropicais, reduz o seu estresse e faz que elas retornem mais cedo à alta produtividade. Rassini (2004) realizou um experimento de irrigação de forrageiras tropicais em São Carlos, SP, e relatou que o período de estacionalidade de forrageiras tropicais foi reduzido à metade do período do pasto de sequeiro. O autor também relatou que a irrigação modificou a relação de produção de matéria seca nos períodos de 'entressafra' (outono-inverno) e 'safra' (primavera-verão), que foi de 30,7% e 54,3%, nas forrageiras não irrigadas e irrigadas, respectivamente.

O efeito da irrigação é influenciado tanto pelo ambiente como pela forrageira. Aguiar et al. (2003) realizaram um experimento com *Cynodon* spp. cv. Tifton 85 em Uberaba, MG. A temperatura média da região é mais alta do que em São Carlos, SP, e as forrageiras do gênero *Cynodon* apresentam temperatura base inferior a 15°C. Os autores relataram uma produção equilibrada entre as quatro estações do ano, observando que as condições climáticas ocorridas durante o experimento favoreceram a resposta das plantas à irrigação.

A irrigação de pastagens também pode ser utilizada para aumentar a oferta de outros tipos de forragens no período de outono-inverno. Dois exemplos são a sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais e o pastejo rotacionado de alfafa. Rodrigues et al. (2006) realizaram um experimento de sobressemeadura de aveia em pastagem de capim-tanzânia para alimentação de rebanho leiteiro, com média de produção de 38-39 L/dia. A produção de leite não foi afetada significativamente pela dieta, com 4% a menos de proteína para o rebanho que se alimentou nos pastos com sobressemeadura. Os autores relataram uma redução de 17% no custo de alimentação dos animais no período de julho a outubro de 2005.

A sobressemeadura de aveia e azevém é uma alternativa para a alimentação do rebanho leiteiro no período de estacionalidade das forrageiras tropicais. As forrageiras de inverno são semeadas sobre a pastagem tropical, em áreas irrigadas, aumentando a produção e a disponibilidade de forragem no período de outono-inverno. Apresenta a vantagem de utilização da mesma área ocupada pelo capim tropical, que no período de inverno tem baixa produção, mesmo irrigado, em consequência das baixas temperaturas. Desse modo, aumenta-se a eficiência de produção de forragem por área.

Em regiões onde a temperatura no inverno é limitante para o crescimento das gramíneas tropicais, o cultivo de aveia e azevém em sobressemeadura contribui para aliviar a escassez de forragem e permite a redução na quantidade de silagem ou de cana-de-açúcar para a alimentação do rebanho, que apresentam custo mais elevado do que o alimento na forma de pastejo. Essa substituição parcial de silagem ou de cana-de-açúcar por aveia sob pastejo diminui a necessidade de mão de obra, de maquinário e, consequentemente, de óleo diesel, fatores que oneram a atividade leiteira. O óleo diesel, que vem tendo seu preço elevado constantemente, é substituído pela energia elétrica utilizada no equipamento de irrigação, que é uma forma de energia menos poluidora e de menor custo (Oliveira et al., 2005).

Outra opção de forrageira é a alfafa em áreas irrigadas, em pastejo direto. A alfafa entra como parte da dieta dos animais em lactação, reduzindo o custo de produção de leite. Rodrigues et al. (2008) realizaram um experimento de utilização de alfafa em pastejo direto como componente da dieta de vacas em lactação em São Carlos, SP.

Os autores relataram que foi possível manter a produtividade de leite com redução da concentração de proteína no alimento concentrado, sem prejuízo significativo da condição corporal dos animais. Como a alfafa produz de 37 a 54% da massa de forragem durante o período de outono-inverno (Fontes et al., 1993; Rassini et al., 2007), é uma alternativa interessante de disponibilizar alimento em pastagens no período de maior escassez.

### Experimentos sobre irrigação de pastagens

Há vários relatos da utilização da irrigação em pastagens, tanto no Brasil como no exterior. Uma coletânea interessante desses trabalhos foi feita por Drumond & Aguiar (2005), relatando estudos em diversos países, tais como Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos, África do Sul, Cuba, Colômbia, Venezuela, Argentina e Brasil. Segundo os autores, em todos esses países, estudou-se a irrigação na tentativa de solucionar o problema de estacionalidade da produção das pastagens relacionada ao déficit hídrico.

Dovrat (1993), citado por Drumond & Aguiar (2005), afirmou que a irrigação poderia aumentar o retorno líquido da produção animal, em comparação com sistemas que usam grãos e forragens cortadas e/ou conservadas.

Os primeiros trabalhos de pesquisa sobre irrigação de pastagens no Brasil mostraram resultados desanimadores. Trabalhos realizados entre 1966 e 1978, citados por Rolim (1994), mostram aumentos de produção de forragem de 20 a 70% em áreas irrigadas, em relação à produção de sequeiro. Os autores desses trabalhos consideravam um período de 150 dias de seca, no outono-inverno, e concluíram que a irrigação não soluciona o problema de desequilíbrio anual da produção de forragem. Ghelfi Filho (1972) estudou a produção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sob irrigação e obteve produções de matéria seca de 19 e 6 t/ha no verão e no inverno, respectivamente, com 32% da produção anual no inverno. Esses resultados desanimaram os pesquisadores, pois o único objetivo era equilibrar a disponibilidade anual de forragem.

Drumond & Aguiar (2005) afirmam que, atualmente, os produtores que utilizam a irrigação não estão mais preocupados em resolver o problema da estacionalidade de produção das pastagens, mas em

utilizá-la para aumentar a receita e reduzir o custo de produção de carne ou leite. Os autores citam o Projeto Capim, trabalho multidisciplinar desenvolvido pela Esalq/USP, como a maior contribuição da nova fase de pesquisas sobre a irrigação de pastagens, entre outros temas de estudo. A partir desse projeto, surgiram publicações sobre a irrigação de pastagens abordando vários fatores de produção, tais como o clima, o solo, as plantas forrageiras, os animais, os custos de produção e o resultado econômico (Pagotto, 2001; Balsalobre, 2002; Penatti, 2002; Maya, 2003).

Pagotto (2001), Balsalobre (2002) e Penatti (2002) realizaram estudos em uma área com pastagem de capim-tanzânia irrigado e sob três níveis de resíduo pós-pastejo. Os autores estudaram o desenvolvimento radicular das plantas, a qualidade nutricional da forragem e o desempenho animal de gado de corte, obtendo interessantes resultados. Pagotto (2001) relatou que o desenvolvimento radicular da forrageira foi inversamente proporcional ao resíduo pós-pastejo, mostrando a importância do controle desse fator para a obtenção de bons resultados na produção animal a pasto. O autor também observou que 76% das raízes vivas e 82% das raízes mortas foram encontradas na camada de 0-20 cm do solo, o que é um bom indicativo para o manejo da fertilidade e da irrigação da pastagem. Balsalobre (2002) observou que os maiores teores de fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA) ocorreram no período de primavera-verão, e houve redução da qualidade da forragem no período de outono-inverno. Penatti (2002) verificou que a proporção de hastes, folhas, material morto, altura e a relação folha/haste foram afetadas pelos tratamentos e pelas épocas do ano. O autor observou que o desempenho animal está mais relacionado à oferta e disponibilidade de forragem do que à relação folha/haste e à densidade de forragem e recomendou a manutenção do resíduo pós-pastejo superior a 2.915 kg MSV/ha e ofertas de forragem superiores a 14,9 kg MSV/100 kg PV, ou 6,1 kg de folhas/100 kg PV, para melhorar o desempenho dos animais.

Maya (2003) realizou estudo de produtividade e viabilidade econômica da recria e da engorda de animais em pastagens de capim-tanzânia adubadas intensivamente, com e sem irrigação. O autor encontrou valores de desempenho animal e de taxa de lotação simi-

lares para ambas as pastagens, e a análise de viabilidade apresentou resultados de lucro líquido de R\$/ha 164,91 e taxa interna de retorno de 6,1% para o sistema irrigado, e lucro líquido de R\$/ha 574,90 e taxa interna de retorno de 17,2% para o sistema em sequeiro. A análise de risco apontou o sistema irrigado como inviável economicamente, e o sistema não irrigado apresentou baixa probabilidade de resultado econômico inviável.

A análise conjunta dos trabalhos de pesquisa sobre irrigação de pastagens permite concluir que a maioria deles abordou a produtividade das forrageiras tropicais isoladamente, e não os sistemas de produção como um todo. Na abordagem isolada da produção de forragem não são considerados alguns aspectos importantes, que geram grandes mudanças em sistemas de produção, principalmente em pequenas e médias propriedades de cunho familiar:

- custo da mão de obra e da infraestrutura para o fornecimento de silagem ou cana;
- plantio de forrageiras de inverno em sobressemeadura nas pastagens de forrageiras tropicais, que aumenta a qualidade da forragem no outono-inverno, reduz o custo de produção e o estresse da forrageira tropical no período de estacionalidade, garantindo um rápido retorno às altas produtividades na primavera;
- possibilidade de utilizar forrageiras de qualidade superior em pastejo rotacionado e irrigado durante todo o ano, como parte da dieta dos animais (exemplo: alfafa);
- liberação de áreas para pastagem devido à maior produtividade em canavial irrigado.

### Produtividade em pastagens irrigadas

Vários trabalhos foram feitos sobre a produtividade em pastagens irrigadas, tanto no Brasil como no exterior.

Aguiar & Silva (2002) apresentaram dados de produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* na região de Selvíria, MS, separados por estação do ano agrícola de 2001-2002. A produção anual foi de 39,2 t de MS/ha; 51% dela foi obtida no período de primavera-verão e 49%, no período de outono-inverno.

Aguiar et al. (2003) realizaram um estudo em Uberaba, MG, e obtiveram produtividades de 22,63 e 17,94 t de MS/ha para capim-tifton 85 irrigado e não irrigado, respectivamente, mostrando que a irrigação propiciou um aumento de 26% na produtividade da forrageira (Tabela 1). Somente no período de inverno a produção de forragem no tratamento irrigado não superou a do tratamento não irrigado. A relação entressafra:safra de produção de forragem obtida pelos autores diverge da maioria dos trabalhos sobre o tema, pois a produção na entressafra (outono-inverno) foi superior à produção na safra (primavera-verão). A maior diferença ocorreu no outono (+ 41%).

Rassini (2004) realizou um experimento de irrigação com forrageiras tropicais no município de São Carlos, SP, em solo de textura média corrigido para alta fertilidade e aplicando doses de 40 kg/ha de N. Os tratamentos referiram-se ao uso da irrigação (com e sem irrigação), e o autor observou que as forrageiras tiveram comportamento similar, embora com diferentes graus de resposta à irrigação (Tabela 2).

**Tabela 1.** Massa de forragem (kg de MS/ha) em pastagens de Tifton 85, irrigada e não irrigada, sob manejo intensivo.

Tratamento	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média	Total	E:S
Não irrigado	4.542 <sup>b</sup>	4.384 <sup>b</sup>	4.748 <sup>b</sup>	4.268 <sup>a</sup>	4.486	17.942	101%
Irigado	5.309 <sup>a</sup>	5.631 <sup>a</sup>	6.700 <sup>a</sup>	4.987 <sup>a</sup>	5.657	22.627	107%
Diferença	+ 17%	+ 28%	+ 41%	—	+ 26%	+ 26%	—

E:S – relação entressafra:safra de produção de matéria seca.

Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2003).

**Tabela 2.** Quantidade produzida (t/ha) e relação de produção matéria seca de forrageiras tropicais, com e sem irrigação, no município de São Carlos, SP.

Forrageira	Irigada	Não irrigada	I/NI	NI/I
	MS (t/ha)			
<i>Pennisetum purpureum</i> cv. Napier	46,1 <sup>a</sup>	28,2 <sup>b</sup>	163%	61%
<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	29,2 <sup>b</sup>	18,4 <sup>c,d</sup>	159%	63%
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	23,6 <sup>c</sup>	18,1 <sup>c,d</sup>	130%	77%
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	24,3 <sup>c</sup>	16,1 <sup>c,d</sup>	151%	66%
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	23,6 <sup>c</sup>	15,4 <sup>c,d</sup>	153%	65%
Média	29,4	19,2	151%	66%

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

I/NI e NI/I – relação de produção de forrageiras irrigadas e não irrigadas.

Fonte: Adaptado de Rassini (2004).

O autor observou que as forrageiras tropicais estudadas têm diferentes respostas à irrigação, evidenciadas pela relação de produção de matéria seca entre o tratamento irrigado e o não irrigado (relação I/NI, Tabela 2). A relação inversa (NI/I) mostra a perda de produtividade das forrageiras não irrigadas, cuja média foi de 66% da produtividade sob irrigação. O capim Pojuca apresentou a menor resposta à irrigação (I/NI = 130%) e o capim-elefante cv. Napier, a maior resposta (I/NI = 163%).

Balsalobre et al. (2003) estimaram o potencial de produção de forragem e de lotação animal para gado de corte em várias localidades e regiões do Brasil. Os autores encontraram taxas de lotação animal variando de 5,2 UA/ha (Piracicaba, SP) a 7,6 UA/ha (Marabá, PA). Entretanto, Aguiar et al. (2004a) analisaram resultados de pesquisas em fazendas dessas regiões e afirmam que a capacidade de suporte tem sido 40 a 70% superior a essa estimativa, indicando que o modelo matemático utilizado pode ter subestimado os resultados. Aguiar et al. (2004b) apresentaram dados obtidos de uma pastagem de *B. brizantha* irrigada, em Três Lagoas, MS, que mostram uma taxa de lotação média anual de 7,4 UA/ha (Tabela 3).

Mendonça (2008) apresentou dados provenientes de um experimento na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, mostrando a produção de matéria seca e de eficiência de uso de água da cultura da alfafa sob pastejo rotacionado e irrigado, em períodos superpostos de 30 dias, entre agosto e dezembro de 2007 (Tabela 4). Os resultados apresentados no trabalho foram compilados para se obter a produção de forragem em períodos de 30 dias entre cortes, atingindo-se valores

**Tabela 3.** Taxa de acúmulo de forragem (kg MS/ha/dia), produtividade de forragem (PF, kg MS/ha/ano) e taxa de lotação animal (LA, UA/ha) em pastagem de *B. brizantha* sob manejo intensivo.

Variável	Ano			Média
	2001	2002	2003	
TAF <sup>1</sup> (kg MS/ha/dia)	74	109	99	94
PF <sup>2</sup> (kg MS/ha/ano)	27.000	39.800	36.300	3.4367
LA <sup>3</sup> (UA/ha)	6,8	8,4	7,1	7,4

1. TAF: taxa de acúmulo de forragem; 2. PF: produtividade de forragem; 3. LA: taxa de lotação animal  
Fonte: Aguiar et al. (2004b).

**Tabela 4.** Produção de forragem em pasto de alfafa rotacionado e irrigado em São Carlos, SP.

Período	Massa de forragem (kg MS/ha)	Irrigação (mm)	Chuva (mm)	Água disponível (mm)	EUA <sup>1</sup> (kg MS/mm)
Ago./set. 2007	2015,5	160,1	2,2	161,2	12,6
Set./out. 2007	2044,0	129,4	28,9	158,3	13,5
Out./nov. 2007	2860,0	65,3	126,2	191,5	14,0
Nov./dez. 2007	2943,1	40,2	148,5	188,6	15,4
Média	2465,7	98,7	76,4	175,2	13,9

1. EUA: eficiência de uso da água.

Fonte: Adaptado de Mendonça (2008).

médios de 2.466 kg MS/ha/corte, com disponibilidade média de água de 175,2 mm, composta por 98,7 mm de irrigação (56%) e 76,4 mm de chuva (44%). A eficiência de uso de água teve valor médio de 14 kg MS/mm, aproximadamente.

### Manejo da irrigação de pastagens

Para o manejo correto da irrigação, é necessário conhecer as exigências hídricas da cultura e as características dos métodos e dos sistemas de irrigação utilizados, escolhendo-se os mais eficazes e de menor custo possível, para maximizar o retorno econômico.

No manejo da irrigação, a variação do consumo é representada pelo coeficiente de cultura (Kc), que é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração da cultura de referência (ETo), a grama-batatais. Há trabalhos de pesquisa mostrando que o Kc de plantas forrageiras tropicais varia entre 0,4 e 1,5, logo após o pastejo e imediatamente antes do próximo pastejo, respectivamente (Ararat & Tafur, 1990; Lourenço et al., 2001).

O manejo da irrigação é um recurso para racionalizar a aplicação complementar de água às culturas. Requer certos procedimentos para que os resultados sejam satisfatórios, tais como a estimativa ou medição da evapotranspiração da cultura (ETc, em mm/dia), a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD, em mm) e a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação (Ta, em mm/h).

A lâmina de água de irrigação deve repor o consumo dentro de um período de tempo que é determinado pela capacidade de ar-

mazenamento e disponibilização de água do solo. Para isso, é feita uma análise prévia com o balanço hídrico, a fim de se descobrir os desequilíbrios entre a oferta e a demanda de água no sistema de produção. Por exemplo:

Máxima demanda de água da cultura: 4,5 mm/dia  
 CAD<sup>1</sup> (prof. 50 cm): 32 mm  
 AFD<sup>2</sup> (prof. 50 cm): 16 mm  
 Turno de rega:  $16 \div 4,5 \cong 4$  dias

Portanto, o sistema de irrigação utilizado nessa área deverá ter a capacidade de cobrir toda ela num período de quatro dias, em condições de consumo máximo.

Ocorre, porém, que nem sempre o consumo é máximo. É necessário medi-lo para determinar qual a lâmina d'água de irrigação e evitar o desperdício.

### Método EPS para manejo de irrigação

Geralmente, o produtor rural tem dificuldade para determinar a evapotranspiração das plantas. Há diversos métodos desenvolvidos com essa finalidade, mas eles exigem várias fórmulas e muitos parâmetros climáticos, a maioria pouco acessível ao produtor rural. Isso tem levado os irrigantes a cometer um grande erro, do ponto de vista técnico, econômico e ecológico, que é a aplicação de água em quantidade predeterminada e num intervalo de tempo também predeterminado. Por exemplo, a aplicação de 15 mm a cada três dias, ou de 30 mm a cada seis dias. Como o clima muda constantemente, se o intervalo de tempo entre irrigações (turno de rega) for fixo, a lâmina d'água será variável; e se a lâmina d'água de irrigação for prefixada, o turno de rega será variável.

Para evitar a prática incorreta de prefixar ambos, o turno de rega e a lâmina d'água diária, foi desenvolvido o método EPS de manejo de irrigação. O método é prático e fácil de usar. Envolve apenas dois parâmetros climáticos: evaporação de água e precipitação pluvial (chuva). Esses dois parâmetros respondem por mais de 90% da demanda hídrica das plantas.

1. Capacidade de água disponível, ou máximo armazenamento de água no solo.

2. Água facilmente disponível. É a parte da CAD que as plantas conseguem absorver sem sofrer estresse hídrico.

No método EPS, a evaporação de água pode ser medida com o tanque classe A ou com o evaporímetro de Piché, e a precipitação pluvial é medida com o pluviômetro (Figura 1).

O princípio de operação do manejo EPS baseia-se no cálculo da diferença entre a evaporação do tanque classe A e a precipitação pluvial (ECA – PRP). Quando essa diferença atinge valores entre 20 e 30 mm, deve-se proceder à irrigação. A mesma regra vale para a diferença entre a evaporação do Piché e a precipitação pluvial (EPi – PRP).

A quantidade de água a aplicar varia de acordo com a planta forrageira, mas há uma relação entre a evaporação de água (ECA ou EPi) e a evapotranspiração da cultura (ETc). Um trabalho de pesquisa conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste indicou que, para alfafa, a relação é:  $ETc = 0,72 \text{ vezes ECA}$  (ou  $ETc = 0,72 \times EPi$ ).

Em sistemas de irrigação com lâmina d'água fixa, o turno de rega é variável. Inicia-se a irrigação quando a diferença (ECA – PRP ou EPi – PRP) atinge valores entre 20 e 30 mm, o que ocorre em intervalos irregulares de tempo. Na Tabela 5, há um exemplo de manejo com lâmina fixa e turno de rega variável.

Em sistemas com turno de rega fixo, a lâmina d'água de irrigação é variável. Para se decidir irrigar ou não, calcula-se a diferença



Figura 1. (A) Tanque 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.

Fotos: Joaquim Bartolomeu Rassini e Fernando Campos Mendonça.

**Tabela 5.** Lâmina d'água fixa e turno de rega variável (com tanque classe A\*).

Dia	ECA	PRP	ECA - PRP	Irrigação	
	(mm)			Sim / Não	(mm)
1	4,5	—	4,5	N	—
2	4,8	—	9,3	N	—
3	4,2	—	13,5	N	—
4	4,7	—	18,2	N	—
5	4,5	3,0	19,7	N	—
6	5,0	—	24,7	S	17,8 (24,7 x 0,72 = 17,8)
7	5,5	—	5,5**	N	—
8	5,9	—	11,4	N	—
9	6,1	—	17,5	N	—
10	6,3	—	23,8	S	17,1 (23,8 x 0,72 = 17,1)

\* Pode-se utilizar o tanque classe A ou o evaporímetro de Piché.

\*\* A diferença é zerada sempre que é feita a irrigação.

(ECA - PRP ou EPI - PRP) acumulada durante o turno de rega para verificar se foi atingido um valor mínimo. A irrigação será feita se a diferença atingir valores entre 15 e 20 mm ao fim do turno. Senão, acumula-se a diferença por mais um turno. Na Tabela 6, há um exemplo de manejo com turno fixo e lâmina variável.

**Tabela 6.** Turno de rega fixo e lâmina d'água variável (com evaporímetro de Piché\*).

Dia	ECA	PRP	EPI - PRP	Irrigação	
	(mm)			Sim / Não	(mm)
1	4,1	—	—	—	—
2	4,8	—	—	—	—
3	4,2	5,0	—	—	—
4	4,3	—	—	—	—
5	5,1	3,0	—	—	—
Acumulado (1 a 5)	22,5	8,0	14,5 (22,5 - 8,0 = 14,5)	Não	—
6	5,0	—	—	—	—
7	4,2	—	—	—	—
8	4,1	—	—	—	—
9	3,9	—	—	—	—
10	4,1	—	—	—	—
Acumulado (1 a 10)	21,3	—	35,8 (14,5 + 21,3 - 0 = 35,8)	Sim	25,8 (35,8 x 0,72 = 25,8)

\* Pode-se utilizar o tanque classe A ou o evaporímetro de Piché.

Devem ser feitas duas considerações quanto ao manejo da irrigação:

- Se possível, deve-se evitar irrigar a cultura imediatamente antes do pastejo, pois o umedecimento da camada superficial do solo nesse momento predispõe à compactação dele (no caso de pastejo). Em solos argilosos, a entrada do rebanho no pasto aumenta o acúmulo de lama nas folhas, reduz a predisposição dos animais ao consumo (folhas sujas) e, conseqüentemente, diminui a eficiência de colheita.
- O turno de rega a ser adotado deve ser o máximo permitido, sem causar estresse às plantas, e é definido pela demanda de água (evapotranspiração menos precipitação) e pela capacidade de armazenamento de água do solo. Irrigações muito frequentes podem ser prejudiciais, pois levam ao crescimento superficial do sistema radicular e expõem a planta ao estresse, caso haja problemas de quebra do equipamento de irrigação.

### Irrigação e relação benefício-custo

A alimentação é o item de maior custo nos sistemas de produção, respondendo por 45 a 70% do custo de produção em rebanhos leiteiros (Carvalho, 1995; Yamaguishi et al., 1991).

Matos (2008) mostrou uma comparação atualizada de custos de produção de leite em confinamento e a pasto feita originalmente por Vilela et al. (1996). Concluiu que a produção em confinamento apresentou margem bruta 34% menor (Tabela 7). O autor argumentou

**Tabela 7.** Custos operacionais, receitas e margens brutas dos sistemas de produção de leite com vacas holandesas, em pastagem de capim coastcross e em confinamento.

	Confinamento	Pastagem	Diferença (%)
Leite (kg/vaca/dia)	20,6	16,6	19,4
	US\$/vaca/40 semanas		
Receitas	807,52	650,72	19,4
Custos	484,43	216,65	55,3
Margem bruta	323,09	434,65	-34,4

Fonte: Matos (2008), adaptado de Vilela et al. (1996).



que a produção de alimentos e a alimentação do rebanho representam 40 a 60% dos custos variáveis na produção de leite.

O aumento da oferta e da qualidade da forragem geralmente diminui o custo de alimentação dos animais, devido à redução do uso de máquinas e implementos, infraestrutura de armazenamento, de serviço e de mão de obra. A irrigação de pastagens pode contribuir exatamente para isso (Mendonça, 2008).

Vinholis et al. (2008) realizaram um estudo de avaliação econômica da utilização de alfafa em pastejo rotacionado e irrigado na dieta de vacas em lactação, com produção média de 25 L/dia, comparando três sistemas de alimentação:

- **Sistema 1:** confinamento no período seco do ano, com fornecimento de silagem de milho e de concentrado, e pastejo rotacionado e concentrado no período das águas.
- **Sistema 2:** pastejo rotacionado de alfafa (irrigada), silagem de milho e concentrado no período seco, pastejo rotacionado em alfafa e em capim tropical (*P. maximum*), concentrado no período das águas, alfafa contribuindo com 20% da dieta.
- **Sistema 3:** idem ao sistema 2, mas a alfafa contribuindo com 40% da dieta das vacas.

Os autores concluíram que a utilização da alfafa em pastejo rotacionado e irrigado contribuiu em dois aspectos:

- Redução do teor de proteína bruta no concentrado, no período de seca (sistema 1: 43%; sistema 2: 30%; sistema 3: 20%) e no período das águas (sistema 1: 20%; sistema 2: 12%; sistema 3: 9%).
- Redução do custo operacional total de produção de leite (sistema 1: R\$/L 0,429; sistema 2: R\$/L 0,399; sistema 3: R\$/L 0,385).

Embora haja resultados indicando a inviabilidade econômica da irrigação em alguns sistemas de produção animal, os dados obtidos em pequenas propriedades leiteiras participantes do Projeto Balde Cheio<sup>3</sup> mostram uma situação diversa, aumentando a viabilidade da produção de leite. A maioria dessas propriedades tem as seguintes características: área de 0,5 a 20 ha; vacas com produção de leite

entre 12 e 25 L/dia; produtividade entre 10 mil e 40 mil L/ha/ano; suplementação com alimento concentrado representando 25 a 50% da dieta dos animais; alta fertilidade do solo e adubação intensiva de pastagens e canavial; uso de irrigação sempre que possível; planilha para controle de custos e receita obtida com produção de leite; custo operacional e custo total de produção de R\$ 0,30 e R\$ 0,45 por litro de leite.

A irrigação evita problemas com veranicos (estiagens de primavera-verão) e possibilita a sobressemeadura de espécies forrageiras de inverno (aveia e azevém), o que reduz o custo de produção e permite cuidar melhor das forrageiras tropicais no seu período de estacionalidade, proporcionando um rápido retorno da produtividade na primavera. Além disso, permite a utilização de alfafa em pastejo direto, que entra na dieta para reduzir o uso de alimento concentrado. A alfafa é consumida em período curto de pastejo (40 a 90 minutos), compõe 20 a 25% da dieta e substitui parcialmente o alimento concentrado, para vacas em lactação com produção de 15 a 25 L/dia. Segundo uma estimativa da Cooperideal<sup>4</sup> (2008), o custo operacional de produção da alfafa em pastejo rotacionado varia de R\$ 0,25 a R\$ 0,13 por kg de MS, do primeiro ao terceiro ano após a implantação. Há propriedades que vêm utilizando a alfafa há cerca de dois anos e meio, substituindo o alimento concentrado por alfafa na proporção 1:1, com ligeiro aumento da produção de leite por vaca e sem prejuízo à condição corporal ou à reprodução dos animais.

A análise dos custos em diversas propriedades participantes do Projeto Balde Cheio mostra que a irrigação tem custo total anual de R\$/ha 1.500 a R\$/ha 2.000. Este custo inclui a aquisição, a implantação e a manutenção do sistema de irrigação, o custo operacional (mão de obra e energia) e a remuneração do capital investido (7,25% a.a. e dez anos de prazo).

A irrigação tem possibilitado um aumento da lotação animal (média anual), que tem passado de um máximo de 5-6 vacas/ha para 10-12 vacas/ha, com produção média de leite de 15 L/vaca/dia.

3. Embrapa Pecuária Sudeste – transferência de tecnologia para propriedades leiteiras de agricultura familiar.

4. Cooperativa de Incentivo ao Desenvolvimento da Atividade Leiteira – Londrina, PR. Comunicação pessoal. Engenheiro agrônomo Marcelo de Rezende. marcelo.agronomo@terra.com.br.

Os dados obtidos no Projeto Balde Cheio mostram que o custo operacional gira em torno de R\$ 0,96 a R\$ 2 por vaca/dia, de acordo com o grau de tecnificação do produtor. Isto leva a um custo anual de R\$ 350 a R\$ 720 por vaca.

Considerando-se que o uso da irrigação gera um aumento mínimo da lotação animal de 4 vacas/ha, com produção média de 15 L/dia, a produção anual aumentará de 21.900 L/ha (4 vacas × 15 L/dia × 365 dias/ano).

O custo anual adicional devido à irrigação é de R\$/ha 2.000. O custo anual de cada vaca é de R\$ 720. Portanto, o custo anual adicional dos animais será de R\$/ha 2.880. A soma dos custos adicionais citados é igual a R\$/ha 4.880.

Considerando-se o preço de R\$ 0,50 por litro de leite e o aumento de 21.900 L/ha/ano na produção, a receita bruta adicional será de R\$ 10.950. Portanto, neste exemplo, a irrigação gera um aumento da receita líquida de R\$/ha 6.070. Mesmo que os cálculos tenham imperfeições, cerca de 20% dessa receita líquida já seria suficiente para justificar o uso da irrigação para a produção de leite.

### Considerações finais

Até o momento, a maioria dos estudos sobre irrigação de pastagens foi feita na Região Centro-Sul do Brasil e direcionados à produção de carne bovina. Há necessidade de estudos para a produção de carne de outros animais, tais como ovinos e caprinos, e também para a produção de leite de bovinos e de outros animais.

A maioria dos estudos sobre irrigação de pastagens realizados até o momento teve foco restrito e não considerou o sistema de produção como um todo.

O advento de novas tecnologias, tais como a sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais e a alfafa em pastejo rotacionado, torna necessários novos estudos sobre a irrigação de pastagens.

### Referências bibliográficas

- AGUIAR, A. P. A. & SILVA, A. M. Técnicas de medição da pastagem para planejamento alimentar ao longo do ano em sistema de pastejo. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 2, Lavras, 2002. **Anais...** Lavras, MG: Nepec/Ufla, 2002, p. 109-64.
- AGUIAR, A. P. A. et al. Capacidade de suporte de pastagens dos capins Mombaça, Tanzânia e Tifton 85 submetidas a manejo intensivo de pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, Campo Grande, 2004. **Anais...** Campo Grande, MS: SBZ, 2004a, p. 271-5.
- AGUIAR, A. P. A. et al. Características de crescimento de uma pastagem de capim braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) irrigada e manejada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, Campo Grande, 2004. **Anais...** Campo Grande, MS: SBZ, 2004a. (CD-ROM – Seção Forragicultura).
- ARARAT, E. & TAFUR, H. Efectos de la interacción riego, fertilización sobre la producción de forraje em tres pastos de corte. **Acta Agronomica**, v. 40, n. 1-2, p. 158-61, 1990.
- BALSALOBRE, M. A. A. **Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado**. Piracicaba, SP, 2002. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência Animal e Pastagens). Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; PAGANI NETO, C.; QUINAGLIA NETO, P.; SANTOS JUNIOR, H. A. S.; RIBEIRO, W. M. & FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio: transferência de tecnologia na produção leiteira – Estudo de caso do Sítio Boa Vista, de Elisiário, SP**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 8p. (Comunicado Técnico 71).
- CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; MORICHITA, O.; KATAYAMA, L.; RIBEIRO, W. M. & FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio: transferência de tecnologia na produção leiteira – Estudo de caso da Chácara São Francisco, de Flórida Paulista, SP**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 10p. (Comunicado Técnico 72).
- CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; NISHIDA, A. T.; KAKIDA, Y.; SENA, M. S.; SINICIATO, J. A. B.; SANTOS, F. L.; FERNANDES, J. E. S.; UMEHARA, E.; RIBEIRO, W. M. & FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio: transferência de tecnologia na produção leiteira – Estudo de caso do Sítio São Carlos, de Irapuru, SP**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 11p. (Comunicado Técnico 73).
- CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; FAVARETO, M. R. M.; MARQUES, W.; TOSCANO, J. F.; SANCHES, I. C.; RIBEIRO, W. M. & FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio: transferência de tecnologia na produção leiteira – Estudo de caso do sítio São José, de Nhandeara, SP**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 8p. (Comunicado Técnico 74).

- CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; VICENTE, J. M.; FERNANDES SEGUNDO, M. A.; ROSSETTI, R. C.; RIBEIRO, W. M. & FARIA, V. P. **Projeto Balde Cheio: transferência de tecnologia na produção leiteira – Estudo de caso do Sítio São João, de Monte Castelo, SP.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 10p. (Comunicado Técnico 75).
- CENSO AGROPECUÁRIO 2006 – Dados preliminares. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg#>>. Acesso em: 20 jun. 2009.
- COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL – CATI-SP; INSTITUTO DE ECONOMIA APLICADA – IEA. **Levantamento censitário das unidades de produção agropecuária do Estado de São Paulo.** Campinas, SP: Cati-SP, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosestado/DadosEstaduais.pdf>>.
- DRUMOND, L. C. D. & AGUIAR, A. P. **Irrigação de pastagem.** Uberaba, MG: L. C. D. Drumond, 2005. 210p.
- FONTES, P. C. R.; MARTINS, C. E.; COSER, A. C. & VILELA, D. Produção e níveis de nutrientes em alfafa (*Medicago sativa*) no primeiro ano de cultivo, na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 205-11, 1993.
- GHELFI FILHO, H. **Efeito da irrigação sobre a produtividade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.).** Piracicaba, SP, 1972., 97p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- GHELFI FILHO, H. **Efeito da irrigação sobre o capim-colônião (*Panicum maximum* cv. Jacq.).** O Solo, n. 1. Piracicaba, SP: Calq, 1976.
- LOURENÇO, L. F. et al. Coeficiente de cultura (Kc) do capim-tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) irrigado por pivô central. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba, SP: Fealq, 2001. p. 316-7.
- MATOS, L. L. **Produção de leite a pasto ou em confinamento?** Disponível em [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_producao\\_leite\\_pasto\\_confinamento.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_producao_leite_pasto_confinamento.htm). Acesso em: 09/06/2009.
- MENDONÇA, F. C. Avanços tecnológicos na irrigação para produção de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 3, Maringá, 2008. **Anais...** Maringá, PR: UEM, 2008, p. 213-41.
- OLIVEIRA, P. P. A.; PRIMAVESI, A. C. & CAMARGO, A. C. **Recomendação da sobressemeadura de aveia em pastagens tropicais ou subtropicais irrigadas.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 7p. (Comunicado Técnico 61).
- PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular do capim-tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo.** Piracicaba, SP, 2001. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência Animal e Pastagens). Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- PENATI, M. A. **Estudo do desempenho animal e produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) em um sistema rotacionado de pastejo sob irrigação em três níveis de resíduo pós-pastejo.** Piracicaba, SP, 2002. 106p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência Animal e Pastagens). Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, Brasília, p. 821-5, ago. 2004.
- RASSINI, J. B.; BERNARDI, A. C. C.; FERREIRA, R. P. & MOREIRA, A. Manejo de adubação potássica para a cultura da alfafa. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44, Jaborcibal. **Anais...** Jaborcibal, SP: SBZ, Unesp, 2007. (CD-ROM).
- RODRIGUES, A. A.; MENDONÇA, F. C.; PEDROSO, A. F.; SANTOS, P. M.; FREITAS, A. R. & TUPY, O. **Utilização, em pastejo, de aveia semeada sobre capim-tanzânia, para complementação da dieta de vacas de alta produção na época da seca: resposta bioeconômica.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 25p. (Boletim de P&D 3).
- RODRIGUES, A. A.; COMERÓN, E. A. & VILELA, D. Utilização da alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras. In: FERREIRA et al. **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008, p. 359-92.
- ROSA, F. R. T. **Áreas de pastagens versus agricultura: o que aconteceu em 2005.** Bebedouro, SP: Scot Consultoria, abr. 2006. Disponível em: <[http://www.abcz.org.br/site/download/pastagens\\_x\\_agricultura.pdf](http://www.abcz.org.br/site/download/pastagens_x_agricultura.pdf)>. Acesso em: 22/06/2009.
- ROLIM, F. A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: PEIXOTO, A. M. **Pastagens: fundamentos da exploração racional.** 2. ed. Piracicaba, SP: Fealq, 1994, p. 533-66.
- SILVA, S. C. & NASCIMENTO Jr., D. **Sistema intensivo de produção de pastagens.** In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 2, São Paulo, 2006. São Paulo: CBNA/Amena, 2006. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/arquivos/sistemaintensivoproducaoopastagens.pdf>> Acesso em: 09/06/2009.
- VINHOLIS, M. M. B.; DE ZEN, S.; BEDUSCHI, G. & SARMENTO, P. H. L. Análise econômica da utilização de alfafa em sistemas de produção de leite. In: FERREIRA et al. **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008, p. 409-34.