

Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite

Circular 7 Técnica 5

Juiz de Fora, MG
Dezembro, 2003

Autores

Aloísio T. de Campos

Engenheiro-agrônomo,
D. Sc.

atcampos@cnppl.embrapa.br

Alessandro T. Campos

Engenheiro-agrícola,
D. Sc.

atcampos3@yahoo.com.br

Diogo Santos Campos

Engenheiro-agrícola
diogoscampos@bol.com.br

Maria de Fátima A. Pires

Médica-veterinária,
D. Sc.

fatinha@cnppl.embrapa.br

Introdução

A falta de tratamento e manejo inadequado dos resíduos da produção animal causam grande impacto ao meio ambiente. Em muitos países, os efluentes oriundos da produção animal já são a principal fonte de poluição dos recursos hídricos, superando os índices das indústrias, consideradas até então as grandes causadoras da degradação ambiental.

Os Sistemas Intensivos de Produção Animal, que utilizam o confinamento de bovinos, suínos e aves, têm aumentado muito no Brasil nos últimos anos, devido à grande demanda de alimentos, notadamente próximo aos grandes centros consumidores, onde a poluição ambiental é fator de risco à sobrevivência do homem e dos animais. Neste sentido, deve-se alertar para os problemas relativos ao confinamento de animais quanto aos efeitos nocivos dos gases (sulfeto de hidrogênio, amônia, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano e outros) obtidos a partir da fermentação dos dejetos sobre os próprios animais e o homem, colaborando ainda para o aquecimento global da Terra. O conceito de qualidade de vida chega recentemente ao campo, fruto de transformações da sociedade brasileira como um todo (Baeta, 1992). Para isso, as instalações onde os trabalhadores irão passar grande parte de suas vidas devem oferecer conforto, boas condições de trabalho e salubridade.

Um dos maiores problemas em confinamento de bovinos de leite é a quantidade e a concentração de dejetos produzidos diariamente numa área reduzida. A disposição dos resíduos orgânicos e efluentes gerados nas instalações de animais tem se constituído, ultimamente, num problema desafiante para criadores e especialistas, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos (Silva, 1973; Campos, 1997). Dessa forma, esses resíduos, se não forem adequadamente manejados e distribuídos no solo, podem tornar-se uma grande carga poluidora ao meio ambiente. Os prejuízos ambientais são ainda maiores quando esses resíduos orgânicos são arrastados para os cursos d'água, pois, devido à sua alta DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), reduz o teor de oxigênio da água, provocando a morte de peixes e microrganismos. Além disso, os diversos nutrientes contidos nesses resíduos (principalmente N, P e K) estimulam o crescimento de plantas aquáticas devido à eutrofização (fertilização) dos corpos d'água. Além desses fatores, Garcia-Vaquero (1981) argumenta que a disposição dos dejetos constitui um problema tão grave, que limita as possibilidades de localização ou ampliação das atividades zootécnicas. Quando o manejo do gado se faz em regime extensivo, a pasto, as dejeções são melhor distribuídas no solo onde sofrem um processo completo de mineralização da matéria orgânica pela atividade biológica do solo (macro, meso e microrganismos) reduzindo a contaminação do ambiente, em virtude da pequena concentração de animais que o referido regime implica.

A contaminação do solo, dos lagos e rios, pelos resíduos animais, a infiltração de águas residuárias no lençol freático, o desenvolvimento de moscas e gases malcheirosos, são problemas de poluição ambiental, provocados pelos sistemas de produção animal que não dispõem de tratamento e/ou disposição adequada dos resíduos. Segundo Lindley (1979), é raro uma fazenda produtora de leite ter um sistema satisfatório para manejo de efluentes. Acrescenta que não há uma solução única, já que todas as alternativas devem ser consideradas. Os tanques sépticos e campos subsuperficiais para disposição dos dejetos, adotados por algumas fazendas, apresentam falhas comuns, com rápida formação de

sólidos, causando colmatção (ligamento) dos poros do solo.

O leite é o alimento natural mais completo, mais importante e mais utilizado na dieta dos povos (Naufel, 1984). Entretanto, quando os animais são mal manejados nos diversos sistemas de produção, a atividade pecuária pode trazer riscos ecológicos. O cultivo intensivo do solo com o objetivo de produzir alimentos para os sistemas de produção animal utilizando grandes quantidades de fertilizantes químicos, altamente poluentes e energeticamente intensivos, pode aumentar significativamente a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas por nitratos e nitritos (Kirchessner et al., 1993). Constitui, portanto, um desafio atingir a produção sustentável e econômica de leite em quantidade e qualidade demandadas pela sociedade brasileira, preservando-se o ambiente nas regiões produtoras.

Na produção de leite, quando os animais são mantidos em regime de semi ou confinamento completo, é preciso planejar o melhor método de aproveitar esses dejetos e, conseqüentemente, a necessidade de escolher o tipo de tratamento e manejo mais adequado ao sistema de produção.

Características dos resíduos de um sistema de produção animal

A quantidade e a qualidade de resíduos e de águas residuárias, de um sistema de produção animal, dependem de vários fatores de manejo. O tipo de instalação adotado para o confinamento do gado leiteiro e o regime de confinamento são os principais fatores.

Barber et al. (1979) argumentam que, quando o gado de leite é manejado em instalações do tipo *free stall* (baías de descanso individual de livre acesso), o manejo do esterco pode ser feito na forma líquida, semi-sólida e sólida. Se o regime de confinamento é total e a opção é por esterco líquido, todos os dejetos (fezes + urina) serão coletados.

O manejo de estrumes, desde há algum tempo, tem sido feito sob a forma líquida, proveniente da mistura de sólidos, líquidos e água de limpeza das instalações e equipamentos, reduzindo os custos da extração diária dos resíduos e possibilitando a mecanização simples desta operação (Garcia-Vaquero, 1981).

No Brasil, praticamente, não há registros de trabalhos de pesquisa, para sistemas mais avançados de tratamento e estabilização de dejetos de animais, em reatores artificiais, pelo processo de lodos ativados. A disposição do esterco no solo é feita de maneira empírica, sem qualquer preocu-

pação com o equilíbrio ecológico do sistema e suas conseqüências.

A quantidade de dejetos produzidos por dia, os teores de umidade, de matéria seca e a composição química variam de acordo com o peso do animal, idade, tipo de alimentação consumida, digestibilidade do alimento, quantidade de água ingerida, estação do ano e outros fatores. O conteúdo real de sólidos depende ainda do tipo de cama usada, restos de alimentos, águas de limpeza e evaporação (Barber, 1979; Van Horn, 1992; Morse et al., 1994).

A produção diária de dejetos frescos (sólidos e líquidos), por animais de raças leiteiras, é da ordem de 8-11% de seu peso vivo, com teor 10-12% de MS (Garcia-Vaquero, 1981; ASAE, 1983; Midwest, 1985; Bath, 1985; Hermeto Bueno, 1986). A relação fezes/urina (F/U) nas dejeções de gado leiteiro, segundo Giessmann (1981) e Midwest (1985), é de 1,5 e 2,2, respectivamente. Dados da ASAE (1983) mostram que a densidade média do esterco fresco de vacas em lactação é de 1.005 kg/m³. Morse et al. (1994), trabalhando com vacas Holandesas em lactação, com 567 kg de peso vivo médio, ingerindo uma alimentação fixa diária de 20 kg de MS por animal, e 16 kg de MS por 454 kg de peso vivo, encontraram uma relação média de F/U, nas dejeções de 1,6 com uma variação de 1,4 a 1,9. Alguns valores característicos dessa produção podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Produção diária de esterco (fezes + urina) e conteúdo em nutrientes de animais de raças leiteiras, com diferentes pesos, sob condições de 87,3% de umidade e 933,00 kg/m³ de densidade.

Peso do animal (kg)	Produção total de esterco (m ³ /dia)	Conteúdo em nutrientes (g/dia)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
68	0,005	27,22	10,40	21,85
113	0,009	45,36	20,78	38,25
227	0,019	90,72	37,42	76,49
454	0,037	185,97	75,87	147,52
635	0,052	258,55	106,02	207,63

Fonte: Midwest (1985).

A produção e a característica dos dejetos de animais (Tabela 2), em função da carga poluidora, é variável de espécie para espécie (Midwest, 1974; Garcia-Vaquero, 1981; Van Horn, 1992).

Dados apresentados por vários autores sobre os principais parâmetros das cargas poluidoras de dejetos de vacas leiteiras (Tabela 3) são semelhantes. Giessmann (1981) encontrou uma DBO₅ (5 dias, 20 °C) média, de 15.100 mg/l, nas dejeções totais de 100 vacas Holandesas. A DBO₅ da urina, citada em numerosas fontes, segundo Imhoff (1986), varia de 7.000 a 18.000 mg/l.

Tabela 2. Produção e características de estrume de aves, suínos e vacas leiteiras.

Características	Aves	Suínos	Vacas de leite
Peso vivo, kg	2,25	60	450
Dejeções (sólidas + líquidas), kg/dia	0,11	5,1	45
Quantidade por peso vivo, %	5-6	8-9	9-11
Matéria seca, %	20-30	15-20	10-12
DBO ₅ , g/dia ¹	9	180	1.350
DBO ₅ , g/l ²	-	25	17
Equivalente populacional ³	0,12	2,35	17,6
DQO, g/l ⁴	-	54	20
Sólidos em suspensão no esterco líquido, g/l	-	50	65

Fonte: Garcia-Vaquero (1981).

¹ DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, expressa em gramas de O₂ utilizado pelos microrganismos aeróbios, para decomposição de substâncias orgânicas em água, realizada em cinco dias à temperatura de 20 °C.

² Dados obtidos dividindo-se a DBO₅ em g/l pela soma de dejeções totais + águas de limpeza + derrame dos bebedouros etc.

³ Dados obtidos fixando-se a DBO₅ do homem em 75 g/dia.

⁴ DQO - Demanda Química de Oxigênio, expressa em g/l de permanganato de potássio (KMnO₄), necessária para oxidar a matéria orgânica contida no estrume.

Tabela 3. Parâmetros da carga poluidora, das dejeções totais de vacas leiteiras, por unidade animal (UA) por dia, conforme três autores.

Parâmetros (mg/kg)	Autores			Média
	Midwest (1974)	ASAE (1983)	Van Horn (1992)	
DBO ₅	20.730	20.847	15.419	19.000
DQO	110.976	111.309	106.119	109.468
Sólidos Totais (ST)	126.829	126.344	115.766	122.980
Sólidos Voláteis (SV)	104.878	102.151	96.472	101.167

Os compostos orgânicos são normalmente constituídos de uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio e, em alguns casos, nitrogênio (Braile & Cavalcanti, 1993). Outros elementos, tais como enxofre, fósforo e ferro, podem estar presentes. Os principais grupos de substâncias orgânicas, encontrados em águas residuárias, são proteínas, carboidratos, gorduras e óleos.

Na avaliação de um composto, a relação C/N é um índice que fornece uma indicação técnica, se a matéria orgânica está na forma crua, bioestabilizada (semicurada) ou humificada (curada). Assim, quando a relação C/N do composto for igual ou inferior a 12, o material está humificado; quando a relação for igual ou inferior a 17, diz-se que o composto está bioestabilizado ou semicurado, e, quando acima de 30, a matéria orgânica está na forma crua (Kiehl, 1979a, 1985b, 1998). Assim, todo material humificado deverá ter uma relação C/N próxima de 10.

O teor de nitrogênio no esterco apresenta grandes variações. Geralmente, o esterco consiste de fezes, urina e outros materiais (palha, feno, cama etc.) do estábulo. A urina é a

maneira que o animal dispõe para expelir o excesso de nitrogênio do seu organismo. O teor deste elemento contido no esterco vai depender de quanto de urina será coletada com as fezes (Valente, 197-). Os ruminantes que contam com o auxílio de bactérias, no processo de digestão, apresentam um menor teor de nitrogênio nos seus resíduos, porque parte do nitrogênio disponível vai para alimentação das bactérias intestinais.

Buckman & Brady (1968) argumentam que o esterco rural é, em essência, um fertilizante de grande influência residual no solo. Além de nitrogênio, fósforo e potássio, o esterco contém cálcio, magnésio, enxofre e provavelmente todos os micronutrientes, extremamente importantes na manutenção da condição de equilíbrio dos solos.

A Tabela 4 apresenta valores percentuais de carbono e nitrogênio e a relação de C/N de alguns compostos orgânicos utilizados no meio rural.

Tabela 4. Conteúdos de carbono e nitrogênio, por peso e relação carbono/nitrogênio (C/N) de alguns materiais.

Matéria-prima	Conteúdo de carbono por peso (%)	Conteúdo de nitrogênio por peso (%)	Relação C/N
Esterco de bovinos (fresco)	7,3	0,29	25
Esterco de suínos (fresco)	7,8	0,60	13
Esterco de equinos (fresco)	10	0,42	24
Esterco de ovelha (fresco)	16	0,55	29
Fezes humanas	2,5	0,85	2,9
Palha seca de trigo	46	0,53	87
Palha de arroz, seca	42	0,64	66
Talo de milho	40	0,75	53
Folhas secas	41	1,00	41
Talo de soja	41	1,30	32
Pasto	14	0,54	26

Fonte: FAO (1989).

O valor fertilizante do esterco, sem considerar seu valor biológico e seu valor como condicionador da estrutura do solo, os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio, contidos no excremento de vacas em lactação e a equivalência desses elementos em fertilizantes químicos e seu valor comercial, podem ser vistos nas Tabelas 5 e 6 (Siqueira, 1991).

Tabela 5. Produção anual de esterco fresco e sua composição em elementos fertilizantes (média de 100 vacas leiteiras).

Elemento	Produção (kg)
Esterco fresco (fezes + urina)	1.825.000
Matéria Seca (MS)	219.000
Nitrogênio (N)	9.986
Fósforo (P ₂ O ₅)	3.814
Potássio (K ₂ O)	8.152

Dados baseados em White & Logan, citado por Siqueira (1991).

O esterco fresco apresenta, em média, 12% de MS, 4,56% de N, 0,76% de P e 3,09% de K, com base de cálculo na MS.

$P \text{ (g/m}^3) \times 2,29136 = P_2O_5 \text{ (g/m}^3)$

$K \text{ (g/m}^3) \times 1,20458 = K_2O \text{ (g/m}^3)$

Tabela 6. Equivalência em fertilizantes químicos, presentes no esterco bovino e seu valor comercial, para uma produção anual de 100 vacas leiteiras.

Fertilizante	Quantidade (kg)	Valor (R\$) ¹
Sulfato de amônio	49.900	18.064,00
Superfosfato simples	21.200	6.572,00
Cloreto de potássio	14.000	6.076,00
TOTAL	-	30.712,00

Fonte: Siqueira (1991), adaptado.

¹ Informativo A Nata do Leite / Scot Consultoria (2002).

Essa excelente massa fertilizante é suficiente para uma adubação pesada de 50 hectares de culturas, exigentes em fertilidade, como capineiras ou milho para silagem (Siqueira, 1991).

De todas as substâncias sintéticas produzidas industrialmente até agora, nenhuma tem apresentado resultados satisfatórios como substitutos dos fertilizantes orgânicos (Kiehl, 1985a). Para que a matéria orgânica forneça nutrientes às plantas, é necessário que haja decomposição microbiológica, acompanhada da mineralização dos seus constituintes orgânicos. Dessa forma, Loures (1983) e Hodges (1983) afirmam que a matéria orgânica estabilizada age na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, constituindo uma importante reserva de nutrientes para as plantas.

Benefícios do manejo de esterco líquido tratado aerobiamente

O manejo e uso do esterco líquido tratado aerobiamente, segundo Giessmann (1981) e Siqueira (1991), apresentam as seguintes vantagens:

- ◆ utiliza pouca mão-de-obra;
- ◆ consome pouca água;
- ◆ os tanques e bacias de armazenamento do esterco estabilizado são de volume reduzido;
- ◆ o tratamento aeróbio resulta em um produto uniforme, de baixa viscosidade, de pH neutro e baixo nível de odor. Esses aspectos são importantíssimos, pois permitem a utilização do esterco líquido, ciclicamente dentro dos estábulos para limpeza dos pisos;
- ◆ a proliferação de moscas, um dos grandes problemas da estabulação completa, é praticamente eliminada;
- ◆ o valor fertilizante do esterco líquido aeróbio é alto, trazendo economia de adubos químicos comerciais. Aproximadamente 50% do nitrogênio e 70% do potássio, presentes na excreção bovina, estão na urina, e, assim, não são recuperados no manejo do esterco sólido, processo que é adotado pela maioria dos criadores brasileiros. No manejo do esterco líquido as perdas são reduzidas ao mínimo;
- ◆ na mineralização da matéria orgânica do esterco, o nitrogênio orgânico é transformado em amônia que é volatilizada para a atmosfera, se não forem tomados cuidados especiais. Porém, se o meio é oxidante (como no caso do tratamento aeróbio), a amônia, recém-transformada em nitrito, conserva-se em solução. Esta transformação oferece uma vantagem adicional quando o esterco é aplicado ao solo como fertilizante, porque não ocorrerão perdas por volatilização, considerando que o nitrogênio está em forma não-volátil;
- ◆ não queima as plantas e escorre facilmente pelas folhas;
- ◆ não há rejeição dos animais, pelas pastagens adubadas com o esterco líquido estabilizado;
- ◆ não polui o meio ambiente, principalmente o lençol freático;
- ◆ a matéria orgânica estabilizada melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, constituindo numa importante reserva de nutrientes para as plantas;
- ◆ libera o trator, máquina de custo elevado, para a execução de outras atividades importantes na propriedade;
- ◆ menor compactação do solo pela redução da movimentação de máquinas agrícolas.

Reciclagem de dejetos bovinos com tratamento biológico

Campos (1997) conduziu um trabalho sobre viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos, com tratamento biológico aeróbio, nas instalações do Sistema Intensivo de Produção de Leite (SIPL) da Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL), situado no Município de Coronel Pacheco-MG.

Neste trabalho dois reatores com capacidade útil de 300 m³ cada um foram construídos para compor as unidades do processo de lodo ativado por batelada (LAB), com sistemas de aeração prolongada e intermitente. Esses reatores foram dimensionados para um tempo de detenção hidráulico de 24 dias, com diluição dos dejetos (fezes + urina) em água na proporção de 1:1. Em cada reator foi instalado um aerador-misturador submersível, regulados para períodos de aeração de nove minutos e não-aeração de 18 minutos. Uma motobomba de rotor aberto, com vazão de 60 m³/h, foi utilizada para reciclar o efluente tratado sobre os corredores dos galpões de confinamento *free stall* e promover a limpeza hidráulica dos dejetos, que retornam aos tanques de aeração por gravidade por meio de canaletas. A drenagem dos reatores foi processada por uma motobomba submersa, com vazão de 10 m³/h, conduzindo o efluente até as áreas de produção de forragem, por escoamento superficial.

A caracterização dos efluentes foi realizada por meio de amostragens na entrada e no interior dos tanques de aeração, na saída da tubulação de irrigação e dos dejetos puros dos animais. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, temperatura, óleos e graxas, DBO total e solúvel, DQO total e solúvel, sólidos totais fixos e voláteis, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos fixos e voláteis, nitrogênio total e amoniacal, potássio, fósforo total, magnésio e sódio.

Para avaliar o desempenho econômico, foram levantados os custos, investimentos e benefícios anuais apresentados pelo sistema de tratamento, para estimar os seguintes indicadores de rentabilidade: valor atual (VA), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício/custo (B/C), período de recuperação do capital investido (PRC) e custo total atualizado (CTA).

Resultados apresentados

Os resultados médios obtidos para caracterizar o afluente bruto do sistema de tratamento são apresentados na Tabela 7.

O efluente básico do sistema intensivo de produção de leite é constituído de fezes + urina dos animais, água de limpeza das instalações, restos de alimentação e material utilizado para cama dos animais no *free stall*, derrame dos bebedouros e água e diluição dos dejetos. A diluição total do efluente (S_o) foi da ordem de 1:1, ou seja, uma parte de água para uma parte de resíduos.

O efluente médio do processo de LAB, com aeração prolongada e intermitente, é apresentado na Tabela 8. Este efluente é formado de lodo biológico estabilizado no reator, caracterizado pelo processo de aeração prolongada com idade do lodo (θ_c) de 24 dias (tempo médio de retenção celular) e pelo efluente sobrenadante, formando um produto homogêneo.

Observa-se na Tabela 7 que os dejetos puros contêm os nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica (SVT) em altas concentrações. Esses resíduos, de elevada carga orgânica e mineral, são poluentes quando lançados em rios e lagos, mesmo após tratamento biológico adequado, pois o efluente tratado continua com elevada carga orgânica e nutrientes (N, P e K), sendo impróprios para lançamento em corpo d'água receptor, conforme legislação em vigor. Entretanto, como o objetivo do trabalho foi reutilizá-lo num sistema de agricultura sustentável, o tratamento biológico aeróbio demonstrou ser plenamente viável em todos os aspectos, transformando esses resíduos num excelente material fertilizante e com boas características para reciclagem, em sistemas intensivos de produção (Tabela 8).

Tabela 7. Valores médios de alguns parâmetros obtidos na caracterização dos dejetos puros (fezes + urina) dos animais confinados.

Parâmetros	Resultado	CV (%) ¹	Expresso
DBO ₅ (5 dias, 20 °C), mg/l	18.028	20,65	O ₂
DQO, mg/l	51.776	20,67	O ₂
Sólidos totais (ST), mg/l	148.550	5,28	-
Sólidos fixos totais, cinzas (SFT), mg/l	41.650	21,90	-
Sólidos voláteis totais, MO (SVT), mg/l	106.900	15,86	-
Umidade (%)	85,15	1,08	-
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₄), mg/l	209	5,09	N
Nitrogênio Kjeldahl total (NKT), mg/l	3.021	10,75	N
Fósforo total, mg/l	1.152	11,12	P
Potássio, mg/l	13.145	12,32	K
Cálcio, mg/l	16.335	0,30	Ca
Magnésio, mg/l	3.025	0,70	Mg
Sódio, mg/l	7.479	1,76	Na
Potencial hidrogeniônico	7,21	13,31	PH
Carbono total, mg/l	62.151	-	C ²
Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)	20,6	-	C/N

Fonte: Campos (1997)

¹ CV = Coeficiente de Variação;

² C = SVT/1,72;

mg/l = g/m³

Tabela 8. Valores médios de alguns parâmetros obtidos na caracterização do efluente de irrigação (EI), biofertilizante.

Parâmetros	Resultado	CV (%)	Expresso
DBO ₅ (5 dias, 20 °C), mg/l	3.296	1,09	O ₂
DBO solúvel, mg/l	549	18,44	O ₂
DQO, mg/l	13.000	1,09	O ₂
DQO solúvel, mg/l	6.700	4,22	O ₂
Sólidos totais (ST), mg/l	51.455	3,28	-
Sólidos fixos totais, cinzas (SFT), mg/l	5.820	4,86	-
Sólidos voláteis totais, MO (SVT), mg/l	45.635	4,32	-
Sólidos suspensos totais (SST), mg/l	23.110	2,63	-
Sólidos sedimentáveis (SP), ml/l	250	-	-
Sólidos suspensos fixos (SSF), mg/l	3.946	5,95	-
Sólidos suspensos voláteis (SSV), mg/l	19.164	1,95	-
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₄), mg/l	586	3,63	N
Nitrogênio Kjeldahl total (NKT), mg/l	1.626	0,61	N
Fósforo total, mg/l	284	6,24	P
Potássio, mg/l	2.388	2,58	K
Cálcio, mg/l	311	8,88	Ca
Magnésio, mg/l	187	4,93	Mg
Sódio, mg/l	995	1,35	Na
Óleos e graxas, mg/l	493	5,03	-
Potencial hidrogeniônico	7,4	0,29	pH
Carbono total, mg/l	26.532	-	-
Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)	16,3	-	-

Fonte: Campos (1997)

mg/l = g/m³

Desempenho econômico do sistema de tratamento

O custo de instalação do sistema de tratamento (Tabela 9) foi de R\$ 36.178,00. Sendo o rebanho do SIPL estabilizado

com 120 UA, o custo de instalação foi de R\$ 301,48/UA (R\$ 36.178,00/120 UA). Somente o sistema de aeração e mistura participou com 46,04% do custo total de instalação do sistema de tratamento, sendo o fator que mais onerou.

Os tanques de aeração, com estrutura de concreto armado (600 m³), com captação e distribuição, participaram com 31,72% do custo total, representando uma diferença de 14,32% a menos que o sistema de aeração. Os preços desses equipamentos de aeração e mistura tiveram aumento superior a 150% nos últimos seis anos, podendo inviabilizar as pequenas estruturas de tratamento aeróbio de esterco líquido, ou, pelo menos, desestimular a sua adoção pelo pequeno e médio produtor.

Com relação à DBO, o sistema de tratamento promoveu a remoção de 94,36% da DBO afluente, resultando numa remoção total de 33.525 kg DBO/ano [(9.734 g DBO/m³ x 10 m³/dia x 365 dias x 0,9436)/1.000 g/kg]. Assim, o custo de instalação do sistema foi de R\$ 1,08/kg de DBO removida por ano (R\$ 36.178,00/33.525 kg de DBO)

O sistema de tratamento apresentou um volume de produção de 3.650 m³/ano de biofertilizante, representando um custo de instalação de R\$ 0,027/m³.dia ou R\$ 9,91/m³.ano (R\$ 36.178,00/3.650 m³/ano).

O capital imobilizado na instalação do sistema de tratamento biológico aeróbio, de dejetos líquidos de bovinos, do SIPL da Embrapa Gado de Leite, é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Capital imobilizado para instalação do sistema de tratamento biológico aeróbio de dejetos de bovinos, do SIPL da Embrapa Gado de Leite.

Discriminação	Custo Total (R\$)	Participação (%)
Tanques de aeração com captação e distribuição de 600 m ³ (2 ud)	11.474,00 ¹	31,72
Aerador-misturador de 4 CV (2 ud)	16.658,00	46,04
Conjunto motobomba de 12,5 CV	5.986,00	16,55
Conjunto motobomba submersível de 2,2 CV	2.060,00	5,69
Total	36.178,00	100,00

Fonte: Campos (1997).

¹Real/Dólar = 1,001 (taxa de câmbio oficial, média mensal, *Suma Econômica*, n. 211, 1996).

Valores corrigidos segundo taxa de câmbio comercial, valor de compra, para junho/1996 = 100.

A estimativa do custo anual (custos fixos e variáveis), levantado na operação do sistema de tratamento, encontra-se na Tabela 10.

Observa-se que os custos fixos participaram com 42,89% do custo total, enquanto os custos variáveis

participaram com 57,11%. Somente o sistema de aeração (aeradores) contribuiu com 24,25% do custo total, representando 56,54% dos custos fixos, sendo o fator que mais pesou na formação do custo total, seguido da mão-de-obra, que participou com 22,25% do custo total e 38,96% dos custos variáveis. Admitindo-se que o sistema de tratamento seja bastante automatizado, conforme descrito anteriormente, a mão-de-obra foi o fator que mais onerou, e o consumo de energia elétrica contribuiu com apenas 13,45% do custo total. O consumo de energia nos processos de lodos ativados é dado na literatura como fator de desvantagem desses processos, fato não confirmado neste trabalho.

Tabela 10. Estimativa do custo de produção anual apresentado pelo sistema de tratamento, admitindo uma taxa de juros de longo prazo de 6% a.a.

Discriminação	Valor anual (R\$)	Participação (%)
a) Custos fixos:		
Tanques de aeração	585,17	6,93
Aerador-misturador de 4 CV (2 ud)	2.048,93	24,25
Conjunto motobomba de 12,5 CV	736,28	8,71
Conjunto motobomba submersível de 2,2 CV	253,38	3,00
Subtotal (custos fixos)	3.623,76	42,89
b) Custos variáveis:		
Energia elétrica:		
Aerador-misturador de 4 CV	815,43	9,65
Conjunto motobomba de 12,5 CV	277,85	3,29
Conjunto motobomba submersível de 2,2 CV	43,03	0,51
Custo total de energia elétrica	1.136,31	13,45
Mão-de-obra:		
Operação do sistema	1.879,64	22,25
Manutenção do sistema	1.808,90	21,41
Subtotal (custos variáveis)	4.824,85	57,11
Total (a+b)	8.448,61	100,00

Fonte: Campos (1997).

O processo de LAB com aeração prolongada e intermitente, adotado neste trabalho, proporcionou uma economia considerável de energia ao sistema de tratamento, porque os equipamentos de aeração e mistura utilizados são de baixa potência (4 CV) e trabalham em regime intermitente (ligando e desligando).

Os tanques de aeração, mesmo sendo construídos em estrutura de concreto armado, tiveram pequena influência na participação dos custos, representando apenas 6,93% do custo total e 16,15% dos custos fixos, enquanto somente os aeradores participaram com 24,25% dos custos totais e 56,54% dos custos fixos. Observa-se, também, que os conjuntos motobombas de 12,5 e 2,2 CV, utilizados nos processos de limpeza das instalações e drenagem dos tanques de aeração, tiveram pequena

participação no custo total do sistema de tratamento, representando 8,71 e 3,00%, respectivamente.

Estimativa dos benefícios (Receitas)

Benefícios diretos

Os benefícios auferidos pelo sistema de tratamento podem ser classificados em diretos e indiretos. Os benefícios diretos (BD) são aqueles provenientes da produção de biofertilizantes (efluente bioestabilizado), utilizados para fertirrigação do solo na produção de forragem destinada ao arraçoamento dos animais do SIPL (Tabela 11).

Tabela 11. Produção anual de fertilizantes químicos e orgânicos e seu valor comercial, a partir da obtenção anual de 3.650 m³ de biofertilizante.

Fertilizantes e Corretivos	Quantidade (kg)	R\$/t ¹	Valor Total (R\$)
Sulfato de amônio (20% N)	29.680	230,00	6.826,40
Superfosfato simples (18% P ₂ O ₅)	13.205	160,00	2.112,80
Cloreto de Potássio (58% K ₂ O)	18.062	260,00	4.696,12
Óxido de Cálcio (CaO)	1.588	-	-
Óxido de Magnésio (MgO)	1.132	-	-
Calcário dolomítico ²	6.278	26,00	163,23
Matéria Orgânica (MO) ³	166.568	-	2.275,47
Total			16.074,02

Fonte: Campos (1997).

¹ Preços médios vigentes em jun./1996 (Real/Dólar = 1,001, ao câmbio oficial, média mensal).

² Equivalência do CaO e MgO em calcário dolomítico com 90% de PRNT.

³ Valor da MO equivalente a 1/3 do valor do adubo nitrogenado (sulfato de amônio), segundo KIEHL (1978).

Benefícios indiretos

O benefício indireto (BI) considerado é aquele decorrente da economia de mão-de-obra e horas de trator equipado com lâmina e carreta, gastos na limpeza diária das instalações, transporte e distribuição dos dejetos. Esse custo, característico do manejo tradicional do esterco sólido, é economizado neste sistema de tratamento, devendo, portanto, ser estimado e atribuído como receita (benefício), perfazendo uma cifra anual média de R\$ 12.227,50 [(2 horas de trator x R\$ 15,00/h x 365 dias) + (2 horas-homem x R\$ 1,75/h x 365 dias)].

Os benefícios indiretos (BI), decorrentes do saneamento ambiental e da preservação do meio rural, de ordem econômica e sócio-econômica, não foram estimados.

Receita Anual = R\$ 16.074,02 + R\$ 12.227,50 = R\$ 28.301,52.

Os indicadores de rentabilidade apresentados pelo sistema de tratamento são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Indicadores de rentabilidade, apresentados pelo sistema de tratamento, para um custo de oportunidade do capital de 12% a.a., taxa de juros de investimento de 6% a.a. e um horizonte de dez anos.

Indicadores de Rentabilidade	Resultados
Valor atual (VA)	R\$ 75.995,37
Taxa interna de retorno (TIR)	54,15%
Relação benefício/custo (B/C)	1,91
Período de recuperação do capital (PRC)	2,43 anos
Custo total atualizado (CTA)	R\$ 83.914,53

Fonte: Campos (1997).

Os resultados do VA (lucro líquido) do sistema de tratamento, considerando um custo de produção anual de R\$ 8.441,61, obtidos a partir de uma taxa de juros de longo prazo de 6% a.a., incidindo na estimativa dos custos fixos, e uma receita anual de R\$ 28.301,52, equivalente aos BD e BI oriundos da produção de biofertilizantes e economia de mão-de-obra e horas de trator, variando o custo de oportunidade do capital de 0 a 80% a.a., para um horizonte de dez anos, podem ser observados na Fig. 1.

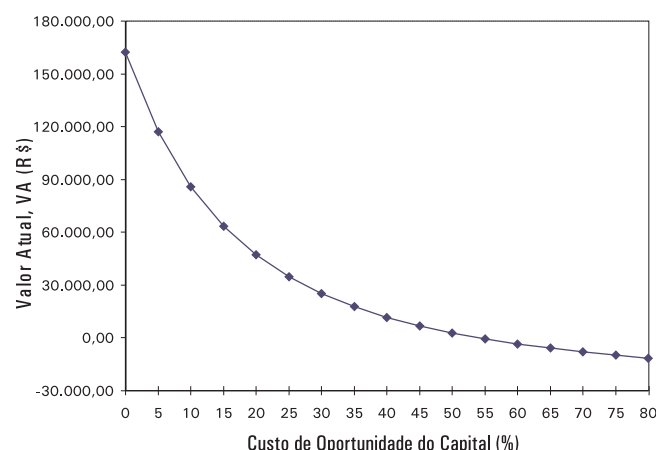


Fig. 1. Estimativas do valor atual (VA) do sistema de tratamento, em função da variação do custo de oportunidade do capital (%), para uma receita e custo anuais de R\$ 28.301,52 e R\$ 8.448,61, respectivamente.

Considerações finais e conclusões

O sistema de tratamento biológico aeróbio foi eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica do efluente líquido dos bovinos, sendo o EI bioestabilizado e o ED humificado.

O sistema de tratamento permitiu altas reduções de DBO e DQO, sendo obtidos valores de 94,36 e 77,92%, respectivamente. Altas reduções também foram conseguidas para ST, SVT e para os minerais.

O sistema de tratamento biológico proporcionou uma economia de 93% de água, 216% de energia elétrica e 36% de mão-de-obra, caracterizado pelo sistema

operacional, automação e reciclagem do efluente tratado na limpeza hidráulica das instalações. O consumo de água foi de 4.167 litros/dia, 35 litros/UA/dia, sendo menos da metade do volume de água ingerido por UA/dia. O consumo de energia foi de 13,06 W/UA.dia.

A reciclagem total do efluente tratado (biofertilizante), no solo, promove o saneamento ambiental e restitui parte dos nutrientes consumidos pelas culturas, podendo contribuir significativamente para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável nos SIPL.

Os tanques de aeração, com estrutura de concreto armado (600 m³), com captação e distribuição, participaram com 31,72% do custo total, representando uma diferença de 14,32% a menos que o sistema de aeração.

Os altos preços dos equipamentos de aeração e mistura (aerador-misturador) existentes no mercado, aliados aos custos de manutenção e dificuldade de assistência técnica, constituem a principal desvantagem operacional desse sistema de tratamento, podendo inviabilizar as pequenas estruturas de tratamento biológico aeróbio de esterco líquido, ou desestimular a sua adoção pelo pequeno e médio produtor de leite.

Os indicadores de rentabilidade mostraram que compensa investir no sistema de tratamento biológico aeróbio, trazendo benefícios sociais, econômicos e sanitários ao SIPL. Considerando a condição mais realista para a análise econômica, a relação B/C foi de 1,91, indicando uma eficiência de 91% e um custo de produção de R\$ 0,52 por unidade produzida, recuperando o capital investido em menos de 2,5 anos.

Considerando a tendência de uma economia estabilizada, o sistema de tratamento biológico pode proporcionar uma renda líquida anual de R\$ 109.941,15, significando uma receita líquida de R\$ 916,18/UA por ano.

O sistema de tratamento biológico aeróbio proporcionou benefícios de ordem sanitária e estética ao SIPL, pela ausência de mau cheiro e de moscas no interior e arredores dos tanques de aeração e das instalações dos animais.

O custo de instalação do sistema de tratamento biológico aeróbio foi de R\$ 1,08/kg de DBO removida por ano e de R\$ 9,91/m³ de efluente tratado por ano.

Referências bibliográficas

ASAE (St. Joseph). ASAE Data: ASAE D384: manure production and characteristics. **Agricultural Engineers Yearbook Standards**, St. Joseph, 1983. p. 436.

BAÊTA, F. da C. Infra-estrutura na produção agropecuária: introdução. In: CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. (Coord.). **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas: UNICAMP, 1992. p. 119-20.

BARBER, E. M.; HORE, F. R.; PASCUA, M.; RAAD, A.; DURANT, W. C. **Canada animal manure management guide**. Ottawa: Information Services Agriculture Canada, 1979. 37 p. (Publication, 1534).

BATH, D. L.; DICKINSON, F. N.; TUCKER, H. A.; APPLEMAN, R. D. **Dairy cattle: principles, practices, problems, profits**. 3. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985. 473 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1968. 594 p.

CAMPOS, A. T. de. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite**. 1997. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

FAO (Roma, Itália). Production. **FAO Quarterly Bulletin of Statistics**, v. 2, n. 4, p. 37, 1989.

GARCIA-VAQUERO, E. **Projeto e construção de alojamento para animais**. 2. ed. Lisboa: Litexa Portugal, 1981. 237 p.

GIESSMANN, E. **Biologia e técnica de manejo do esterco líquido**. Palmeira: Colônia Witmarsum/Cooperativa Mista Agropecuária Witmarsum, 1981. 12 p.

HERMETO BUENO, C. F. Produção e manejo de esterco. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 135/136, p. 81-5, 1986.

HODGES, R. D. Quem precisa, afinal, de fertilizantes inorgânicos? **Revista Brasileira Tecnologia**, Brasília, v. 14, n. 4, p. 24-34, 1983.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1986. 302 p.

KIEHL, E. J. Adubo orgânico: terra fértil a baixo custo. **A Granja**, Porto Alegre, v. 41, n. 449, p. 48-54, 1985a.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985b. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: E. J. KIEHL, 1998. 171 p.

KIEHL, E. J. **Perguntas e respostas sobre composto.**

Piracicaba: Departamento de Solos, Geografia e Fertilizantes/ESALQ-USP, 1979a. 16 p.

KIEHL, E. J. Preparo do composto na fazenda. **Casa da Agricultura**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 6-9, 1981.

KIEHL, E. J. Renova-se o interesse pelos adubos orgânicos. **Dirigente Rural**, São Paulo, v. 17, n. 9/10, p. 16-23, 1978.

KIRCHGESSNER, M.; ROTH, F. X.; WINDISH, W. Minimizing of environmental nitrogen and methane emission by animal nutrition. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago de Chile, v. 20, n. 2, p. 480-504, may./ago. 1993.

LINDLEY, J. A. Anaerobic-aerobic treatment of milking center waste. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 404-8, Mar./Apr. 1979.

LOURES, E. G. **Produção de composto no meio rural.** 3. ed. Viçosa: Conselho de Extensão/UFV, 1983. 12 p. (Informe Técnico, v. 4, n. 17).

MIDWEST PLAN SERVICE. **Dairy housing and equipment handbook.** 14. ed. Ames: Iowa State University, 1985. p. 1-15. (MWPS-7).

MIDWEST PLAN SERVICE. **Livestock waste handling facilities.** Ames, 1974. p. 1-45. (MWPS, 18).

MORSE, D.; NORDSTEDT, R. A.; HEAD, H. H.; VAN HORN, H. H. Production and characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 275-9, 1994.

NAUFEL, F. O leite, da fonte de produção ao consumidor. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA LEITEIRA, 3., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 257.

SILVA, P. R. **Lagoas de estabilização para tratamento de resíduos de suínos.** 1973. 76 f. Tese (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SIQUEIRA, C. **Proposta sobre o manejo e uso do esterco no sistema intensivo de produção de leite da EMBRAPA-CNPGL.** Coronel Pacheco: EMBRAPA/CNPGL, 1991. 4 p. (Relatório).

VALENTE, S. V. **Informes sobre a relação carbono/nitrogênio em resíduos orgânicos segundo vários autores.** Programa de biomassa. Diretoria de Coordenação. [S.l.]: ELETROBRÁS, [197-]. 17 p. (SEP, 1442).

VAN HORN, H. H. Recycling manure nutrients to avoid environmental pollution. In: VAN HORN, H. H.; WILCOX, C. J. (Ed.). **Large dairy herd management.** Champaign: ADSA, 1992. p. 640-54.

**Circular
Técnica, 75**

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Leite

Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610

Fone: (32) 3249-4700

Fax: (32) 3249-4751

E-mail: sac@cnp.gl.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2003): 500 exemplares

**Comitê de
publicações**

Presidente: *Mário Luiz Martínez*

Secretária-Executiva: *Inês Maria Rodrigues*

Membros: *Aloísio Torres de Campos, Angela de Fátima A. Oliveira, Antonio Carlos Cóser, Carlos Eugênio Martins, Edna Froeder Arcuri, Jackson Silva e Oliveira, João César de Resende, John Furlong, José Valente, Marlice Teixeira Ribeiro e Wanderlei Ferreira de Sá*

Expediente

Supervisor editorial: *Angela de Fátima A. Oliveira*

Revisão de texto: *Newton Luiz de Almeida*

Tratamento das ilustrações: *Amaro Alves da Silva*

Editoração eletrônica: *Amaro Alves da Silva*