

CAPÍTULO 7

Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite

Marcelo Henrique Otenio

Água residuária

Entende-se por água residuária, a água descartada após utilização em diversas atividades ou processos. Nos sistemas de produção de leite é gerado grande quantidade de água residuária nas diversas etapas do processo.

As águas residuárias oriundas de sistemas de produção de leite carregam uma quantidade considerável de materiais poluentes que se não forem retirados podem comprometer a qualidade dos corpos de água e do solo.

Em levantamentos realizados por Pereira (1992), uma vaca elimina o equivalente a 9% do seu peso por dia, sendo que 60% de fezes com teor de água de 85%. Esses valores são mais significativos nos sistemas de confinamento, quando uma grande quantidade de animais está gerando resíduos em um espaço muito limitado.

Na Tabela 1, pode-se observar a produção diária de biomassa animal.

Tabela 1. Produção diária de dejetos por animal.

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (em kg por dia)
Bovinos	10,00
Suínos	2,25
Aviários	0,18
Equinos	10,00

Fonte: Sganzerla, (1983). Adaptado por Colatto e Langer (2011).

A agroindústria também é um setor que exige grande utilização da água em todo o processo produtivo, conseqüentemente gera grande quantidade de água residuária com significativa carga de resíduos sólidos, bem como uma elevada carga orgânica. Este efluente oriundo da limpeza/higienização das instalações apresenta alta Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). Estes demandam a busca de soluções de gestão e tratamento que levem, não somente à redução desses resíduos na sua geração, como também o descarte de um efluente mais limpo no meio ambiente, aliando ao reuso da água em diversas aplicações.

O reaproveitamento de águas residuárias é realidade em alguns países, como Israel, no qual 65% do efluente sanitário tratado são utilizados na irrigação agrícola. No México, 45.000 litros/por segundo, de esgoto produzidos na cidade do México são misturados diariamente com água de chuva, sendo a mistura encaminhada por meio de canais a uma distância de 60 km, para irrigação de 80.000 hectares cultivados com cereais e forragens (BERTOCINI, 2008). No caso de Israel, a prática do reuso é planejada e controlada por meio de legislação, e no caso do México, não há tratamento, nem controle da disposição de efluentes sanitários no solo, caracterizando uma situação não recomendável.

Na Austrália, áreas de 600 hectares cultivadas com cana-de-açúcar estão sendo irrigadas com efluentes de tratamento de esgoto. A utilização dos efluentes proporcionou aumento de 45% da produção e 62,5% da produção de açúcar (BERTOCINI, 2008).

O reuso de água consiste no reaproveitamento de determinada água que foi insumo ao desenvolvimento de uma atividade. Este reaproveitamento ocorre a partir do tratamento da água residuária gerada em determinada atividade para ser usada novamente em atividades menos exigentes.

A reutilização de águas residuárias deve ser considerada no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros. Deixando as fontes de água de boa qualidade para atividades de

outros usos prioritários, contribuindo para conservação dos recursos hídricos, com a redução da demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior.

No Brasil, já existe atividade de reuso de água com fins agrícolas em certas regiões, porém sem controle adequado de impactos ambientais e de saúde pública. Por isso há necessidade de se institucionalizar, regulamentar e promover o setor através da criação de estruturas de gestão, preparação de legislação, disseminação de informação, e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as nossas condições técnicas, culturais e socioeconômicas.

Diversas pesquisas têm evidenciado a concentração de nutrientes nos dejetos líquidos e sólidos do gado de leite, o esgotamento de recursos naturais e a degradação do meio ambiente está fazendo com que haja uma preocupação forte e constante no desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias de reciclagem de nutrientes, na disposição ambiental correta dos dejetos animais e na reutilização dos resíduos rurais. Um manejo adequado dos resíduos é uma necessidade sanitária, ecológica e econômica.

Em um sistema de produção de leite adequadamente planejado, a quantidade dos resíduos pode ser estimada e usada como recursos de suprimentos, tanto de energia como de fertilizante (HARDOIM et al. 2000).

Legislação

A legislação sobre reuso é muito generalista. E faltam ainda estudos que evidenciem a utilização segura de aplicação de águas residuárias e quais os riscos reais. A Resolução 430/2011 do Comana (BRASIL, 2011) estabelece apenas critérios de qualidade para lançamento nos corpos d'água superficiais mas não estabelece critérios de qualidade para reuso.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou um documento balizador, onde foram classificados os tipos de reuso em diferentes modalidades, de acordo com seus usos e finalidades, a saber (WHO, 1973):

- Reuso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto *in natura*;
- Reuso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido; reciclagem interna: é o reuso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra fonte deve-se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento;
- Reuso potável direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;
- Reuso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Compreende o fluxograma onde o tratamento do esgoto é empregado visando adequar a qualidade do efluente à estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água.

Considerando o reuso direto planejado para fins não potáveis, pode-se subdividi-lo nas seguintes modalidades:

- Reuso não potável para fins agrícolas: embora quando se pratica esta modalidade de reuso via de regra haja, como subproduto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo precípua desta prática é a irrigação de plantios, tais como árvores frutíferas, cereais, etc. e de pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.

-
- Reuso não potável para fins industriais: abrangem os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, limpeza etc. Pode-se considerar alguns usos comerciais tais como a lavagem de veículos;
 - Reuso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques, gramados e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais etc. Em áreas urbanas pode-se considerar ainda a irrigação de parques públicos, áreas ajardinadas, árvores e arbustos ao longo de rodovias, chafarizes e espelhos d'água;
 - Reuso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reuso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios. Pode-se considerar também o reuso para reserva de incêndio, lavagem de automóveis e pisos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) elaborou um documento, similar a recomendação da OMS, a Resolução 54 CNHR que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso de águas residuárias, no sentido de incentivar o reuso de águas de qualidade inferior e estabelecendo padrões de qualidade dos efluentes para cada qualidade de reuso. Porém esta norma não estabeleceu parâmetros específicos para reuso de água. A Resolução 54, de 28 de novembro de 2005, (BRASIL, 2006) estabelece:

- i) que o reuso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos;
- ii) a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e de qualidade;
- iii) a elevação dos custos de tratamento de água em função da degradação de mananciais;
- iv) que a prática de reuso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade, e

v) que a prática de reuso de água reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Ainda na referida resolução são estabelecidas as seguintes modalidades de reuso:

- I) Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- II) Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- III) reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- IV) Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,
- V) Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Tratamento

Sempre que a água com a qualidade requerida para determinado uso torna-se um recurso escasso, são buscadas, alternativas de suprimento ou repressão do consumo para que seja restabelecido o equilíbrio oferta/demanda (ORNELAS, 2004). O reuso de água consiste na recuperação de efluentes de modo a utilizá-las em aplicações menos exigentes.

Segundo Medeiros et al. (2008) as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária na agricultura, por exemplo, são conservação da água disponível, sua grande disponibilidade, possibilidade do aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) além de concorrer para a preservação do meio ambiente.

Dentre as águas utilizadas para reuso é considerável a água residuária de bovinocultura, que possui componentes poluentes em concentrações suficientemente altas para constituírem risco de desequilíbrio ambiental

quando dispostos inadequadamente. Mas a utilização agrícola desse tipo de água residuária surge como alternativa e oportunidade. Neste caso o reuso de água, ou seja, sua utilização na limpeza dos pisos do *free stall*, por exemplo, vai propiciar economia de água nova que deveria ser utilizada para limpeza.

A água residuária, na aplicação no solo, além de conter nutrientes e matéria orgânica, melhora as características químicas, físicas e biológicas deste tendo potencial, ainda, para melhorar a produtividade das culturas (ERTHAL et al., 2010).

Porém para a aplicação das águas residuárias seja na agricultura ou para limpeza hidráulica de instalações de sistemas de produção de leite, é necessário um processo de tratamento para melhor garantia e segurança da aplicação. Este tratamento busca na maioria das vezes uma diminuição de microrganismos patogênicos e endoparasitas, presentes no esterco sem tratamento.

Para a concepção e o dimensionamento de sistemas de tratamento de águas residuárias agroindustriais ou de qualquer outra água residuária, deve-se definir, primeiramente, o objetivo do tratamento, o nível do tratamento que se quer alcançar e a destinação do efluente tratado. Se o objetivo for lançar o efluente em um curso d'água, o sistema deve ser planejado de forma a atender a Legislação Ambiental, ou seja que o lançamento do efluente tratado não venha a alterar a classe de enquadramento do curso d'água. Entretanto, caso a opção final seja a disposição no solo, algumas etapas de tratamento podem ser eliminadas e o sistema de tratamento pode ser simplificado, porém critérios agrônômicos de aplicação deverão, necessariamente, ser considerados.

Todo sistema tratamento inclui um processamento preliminar das águas residuárias, que constitui uma etapa inicial, visando a remoção de grande parte dos sólidos, óleos e graxas. Para isto utiliza-se grades, telas e peneiras, caixas de areia e caixas de gordura. No caso da presença de decantadores primários no sistema de tratamento, caixas de gordura são dispensáveis.

As principais finalidades da remoção dos sólidos são a proteção dos dispositivos de transporte das águas residuárias (bombas e tubulações) e das unidades de tratamento subsequentes. A remoção de óleos e gordura justifica-se para evitar a formação de incrustações nas tubulações e estruturas, além de facilitar o tratamento subsequente da água residuária.

Existem vários métodos de tratamento para águas residuárias:

Sistemas anaeróbios

Esses sistemas são bastante apropriados no tratamento de efluentes com elevadas concentrações de material orgânico, como é o caso das águas residuárias provenientes da atividade pecuária que venham a ser dispostas ou tratadas no solo (MATOS, 2005).

Filtro anaeróbio

No sistema de tratamento em filtros anaeróbios, a DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas em uma coluna de material inerte (geralmente brita N° 4), que fica acondicionada dentro do reator. O fluxo de líquido a ser tratado ocorre no meio filtrante saturado e no sentido ascendente.

O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas ou tanque de Imhoff) seguida de lagoa facultativa. A inclusão de uma lagoa facultativa no sistema de tratamento justifica-se por apresentar mau odor, concentração muito elevada de nitrogênio, fósforo e sólidos em suspensão. As principais vantagens desse método são boa adaptação aos diferentes tipos e concentrações de águas residuárias e boa resistência às variações de carga orgânica aplicada, o que é muito comum no caso de atividades agroindustriais.

Como principal desvantagem tem-se a insuficiência para atendimento dos padrões de lançamento em corpos d'água receptores, exigindo, eficiente tratamento em nível secundário.

Biodigestão

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovino do mundo, o que gera grandes quantidades de dejetos orgânicos. Para situação inerente a atividade, o biodigestor é uma alternativa para o tratamento desses dejetos, pois além de possibilitar a redução do potencial poluidor, promove a geração do biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia e permite a utilização do efluente como biofertilizante.

A produção energética de um biodigestor, é variável em função do tamanho de cada propriedade, variando o dimensionamento do biodigestor em função da quantidade de animais e do sistema de criação de cada propriedade (PEREIRA, 2005).

Podemos considerar que a produção de biogás variando entre 0,5 – 0,7 m³ biogás/dia por m³ de biomassa (volume do biodigestor). Se considerar-se um biodigestor com 100 m³ de volume, este teria potencial para gerar entre 50 – 70 m³ biogás/dia. Porém, a produção de biogás tem um fator determinante que é o tipo de esterco que será usado para a produção deste. Qualquer material orgânico pode ser utilizado na biodigestão, porém os que apresentam maior rendimento são os de aves e suíno (PEREIRA, 2005; SANTOS, 2013).

Segundo Dalmazo et al. (2009), além da produção de biogás e biofertilizante, o processo de biodigestão proporciona a redução de até 80% da carga orgânica dos dejetos, redução de odores e eliminação de possíveis microrganismos causadores de doenças.

Biodigestores são estruturas projetadas e construídas de modo a produzir a degradação da biomassa residual sem que haja qualquer tipo de contato com o ar. Isso proporciona condições para que alguns tipos especializados de bactérias, altamente consumidoras passem a predominar no meio e, com isso, provoquem uma degradação mais acelerada da matéria orgânica. Os biodigestores recebem efluentes líquidos, em ambiente sem oxigênio propiciando a geração de gases. Devido à ação de microrganismos, a decomposição da matéria gera um gás chamado

Biogás, que fica armazenado na área livre da cúpula do biodigestor. Após, o biogás é canalizado e pode ser utilizado para diversos usos: Processos de aquecimento ou resfriamento e geração de energia elétrica da qual utilize esse combustível (JÚNIOR, 2009).

O fato de o Brasil ser um país com clima tropical torna favorável à ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia. Tanto em biodiversidade que nutre os detritos quanto às condições climáticas entre si, com temperaturas médias que garantem os processos biológicos. As altas temperaturas praticamente todo o ano e a intensa biodiversidade fazem com que os microrganismos que se alimentam dos detritos atuem continuamente (detritívoros) (JÚNIOR, 2009). Além disso, o processo de biodigestão transforma todas as características dos afluentes que recebe, para que este possa liberar efluente com DBO, ou até mesmo DQO reduzidas; redução do potencial de contaminação microbiológica de até 90%, se acoplado a lagoas de estabilização; produção de efluente final estabilizado, apresentando baixa relação carbono/nitrogênio (10:1), indicando material praticamente inerte e PH entre 6,5 e 7,5 com ausência de cheiro e sem atração de moscas.

Sistemas de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar águas residuárias por meios predominantemente biológicos, isto é, por ação de microrganismos naturalmente presentes no meio. O uso de lagoas de estabilização tem sido frequente para o tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, sendo muito adequadas no caso das agroindustriais. As lagoas de estabilização podem ser construídas de forma simples, escavadas no solo ou formadas por diques de terra, porém deve ter os seus fundos compactados e cobertos com borracha butílica, no caso das anaeróbias, camada de material argiloso, compactado, para evitar a infiltração de águas residuárias no solo e colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas (MATOS, 2005).

Lagoas facultativas

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos naturais.

Durante o percurso da água residuária, que demora vários dias, o material orgânico em suspensão (DBO particulada) tende a se sedimentar.

O processo de lagoas facultativas, apesar de apresentar eficiência satisfatória, requer grandes áreas, muitas vezes não disponível na localidade em que se pretende efetuar o tratamento da água residuária. Sendo assim, uma solução é a de uso de sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas.

Lagoas anaeróbias – lagoas facultativas

Nas lagoas anaeróbias, os microrganismos transformam o material orgânico em material menos complexo, porém ainda passível de decomposição, o que deve ser feito sob condições aeróbias. Por isso, as lagoas são especialmente indicadas como pré tratamento de águas residuárias, notadamente as que detêm grande carga orgânica, como é o caso da maioria dos efluentes da agroindústria (águas residuárias de criatórios de animais, de abatedouros, de laticínios, etc.). A água residuária bruta entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (3,0 a 5,0 metros), para a minimizar a penetração de luz solar e, com isso, diminuir a proliferação de algas fotossintetizadoras, privilegiando-se as reações anaeróbias. Em períodos curtos de permanência na lagoa anaeróbia (3 a 5 dias), a decomposição do material orgânico é apenas parcial. Ainda assim, a remoção da DBO alcança 50 a 60%, representa grande diminuição da carga orgânica a ser tratada na lagoa facultativa, situada a jusante e que, dessa forma, pode ter dimensões menores que as necessárias no tratamento de águas residuárias com apenas uma lagoa facultativa (a área total sistema de lagoas anaeróbias-lagoas facultativas é de cerca de 2/3 do necessário para uma lagoa facultativa única).

Lagoas aeradas

Esse sistema é utilizado quando se quer ter um sistema de lagoas de estabilização de menores dimensões e que promova, mais rapidamente, a redução da DBO até o nível requerido, utilizando aeradores mecânicos para fornecimento de oxigênio ao meio líquido. Nessas condições, as bactérias aeróbias, passam a utilizar o ar atmosférico ou de oxigênio puro a principal como fonte de oxigênio para degradarem o material orgânico em suspensão. Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Esse turbilhonamento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde ele se distribui, passando a constituir o denominado "oxigênio dissolvido". Com isto, consegue-se maior e mais rápida introdução de oxigênio no meio líquido do que em sistemas que utilizem aeração natural (lagoa facultativa convencional), fazendo com que ocorra a decomposição do material orgânico de forma mais rápida. Para evitar condições limitantes de oxigênio dissolvido no meio líquido.

Lodos ativados

Os sistemas de lodos ativados são constituídos por decantadores primários, seguidos de tanques de aeração de mistura completa e decantadores secundários, sendo o fornecimento de oxigênio feito por aeradores mecânicos ou por sistema de aplicação de ar subaquático, denominado "ar difuso". O decantador primário tem por função proporcionar a remoção de parte do material orgânico sedimentável e, com isso, diminuir as necessidades de aeração e, obviamente, os gastos de energia no processo (MATOS, 2005).

O princípio básico do sistema de lodos ativados é a recirculação, por bombeamento, dos sólidos (biomassa bacteriana) sedimentados no decantador secundário, com o objetivo de aumentar o tempo de contato das bactérias degradadoras do material orgânico com o líquido. Com isso, os sólidos permanecem por muito mais tempo no sistema aumentando a eficiência dos lodos ativados, já que a biomassa tem tempo su-

ficiente para metabolizar praticamente todo o material orgânico presente nas águas residuárias.

O lodo produzido, constituído basicamente pela biomassa bacteriana desenvolvida no tanque de aeração, deve ser removido periodicamente e estabilizado antes de sua disposição final no ambiente.

Fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica de disposição que ocorre após um tratamento das águas residuárias, na qual o objetivo é o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária para irrigação e fertilização do solo. Nutrientes como nitrogênio, potássio e, principalmente, fósforo são fundamentais no cultivo em solos pobres. O aproveitamento de águas residuárias ricas em nutrientes na fertirrigação de culturas agrícolas possibilita o aumento da produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (MATOS, 2005).

A fertirrigação com águas residuárias agroindustriais pode ser feita por sulco, aspersão, gotejamento ou com chorumeiras, sendo a seleção do método de tratamento feita, principalmente, em função da cultura, susceptibilidade a doenças e capacidade de infiltração de água no solo. A fim de evitar possíveis riscos de desenvolvimento de pragas nas folhas ou dispersão de maus odores. Se essas águas forem aplicadas via aspersão, recomenda-se a aplicação de águas residuárias agroindustriais utilizando-se sistemas de irrigação localizada (gotejamento ou micro-aspersão), considerados ideais quando se tem por objetivo minimizar os riscos do desenvolvimento de pragas nas plantas e o impacto ambiental.

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 sistemas de produção de leite. O sistema de tratamento biológico aeróbio proporcionou benefícios de ordem sanitária, pela ausência de mau-cheiro e de moscas no interior e arredor-

res dos tanques de aeração e das instalações dos animais (TORRES et al, 2002).

Estado atual de tecnologias para reuso de água

A pecuária consome grande volume de água gerando resíduos principalmente na limpeza hidráulica dos currais.

Nos sistemas de produção de leite, quando os animais são mantidos em regime de confinamento ou semi-confinamento é preciso avaliar os melhores métodos de tratamento e aproveitamento dos resíduos gerados.

Para o reaproveitamento de água residuárias na agricultura é necessário que o tratamento seja eficaz. A principal vantagem do reuso além da economia de água é a redução de gastos com fertilizantes, com reflexos no aumento da matéria orgânica e a fertilidade dos solos.

É necessária uma avaliação prévia das características microbiológicas e bioquímicas de águas residuárias oriundas de sistemas de criação de animais quando destinadas a irrigação, levando-se em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto.

O caso da Embrapa Gado de Leite

Uma vaca leiteira (peso médio de 400 kg) produz, diariamente, em excretas o equivalente a 28-32 kg de fezes, estando a produção de fezes + urina na faixa de 38 – 50 kg. Estes resíduos podem se tornar uma oportunidade para o produtor se manejados adequadamente.

A reutilização de águas residuárias da criação de bovinos de leite para limpeza hidráulica de pisos gera redução do consumo de água “limpa”, além de economia significativa de energia elétrica e de mão-de-obra, caracterizado pelo sistema operacional, automação e reciclagem do efluente tratado. Além da questão ambiental que a reutilização da água promove, ocorre também redução de custos tornando a produção mais sustentável econômica e ambientalmente.

Como exemplo pode-se citar o processo de tratamento de dejetos bovinos implantado na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite, relato de estudo de caso para os anos de 2013/2014.

Este sistema opera com aproximadamente 148 animais no verão e 121 animais no inverno, em semi-confinamento. Basicamente neste sistema temos o reuso de água para limpeza hidráulica de pisos e fertirrigação com o efluente tratado após um tempo de reuso de aproximadamente 62 dias no verão e de 96 dias no inverno. Este Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) inclui todo processo de fermentação do biodigestor e o tempo de espera na lagoa de estabilização. Desta lagoa esta água é bombeada duas vezes por dia para limpeza do *free stall*.

O sistema consta de um tanque receptor, onde a água de limpeza hidráulica dos pisos é recebida, homogeneizada com sistema de agitação e bombeada para separador de sólidos tipo rosca sem fim, a parte sólida é separada e reservada em carreta para destino final para compostagem e capineira. Depois da separação a parte líquida vai para um biodigestor modelo canadense, contínuo, com capacidade útil de volume de 1.235,7 m³. Após o TRH da digestão anaeróbica o efluente é destinado para uma lagoa de estabilização aberta, com 14 metros de diâmetro, toda operação de bombeamento ocorre com uma bomba elétrica instalada na lateral do tanque.

Neste exemplo, a média de 150 bovinos produzem aproximadamente 7 m³ de esterco/dia e, desse total, aproximadamente 0,3 m³ é de material sólido.

A parte líquida que é destinada à cúpula do biodigestor e sofre decomposição da matéria orgânica e produção de gás. O biogás gerado é canalizado e direcionado a um gerador de energia a partir de biogás. A energia elétrica gerada é usada para o funcionamento dos equipamentos utilizados no sistema de produção. A concentração de gás metano produzida pela biodigestão anaeróbia atingiu um pico de 70% no verão a uma temperatura média de 30 °C, sendo a menor concentração de 56%, a aproximadamente, 24 °C.

Depois de decorrido este tempo, com processo humoso adiantado, o esterco líquido pode ser considerado estabilizado. São características do efluente (biofertilizante): ausência de mau-cheiro; pelo desmembramento dos compostos de enxofre e fixação do amoníaco; a cor escura; consistência gelatinosa.

O biofertilizante gerado tem sido utilizado para fertirrigação e experimentalmente avaliando sua aplicação em capinaria de cana-de-açúcar verificou-se que em comparação com utilização de doses de 60 Kg ha⁻¹ de nitrogênio via ureia a aplicação do biofertilizante propiciou o mesmo crescimento vegetal na mesma dosagem de nitrogênio no efluente aplicado.

Quanto as variáveis acompanhadas de composição do efluente no sistema de biodigestão a Tabela 2 apresenta o perfil destas variáveis físicas e químicas do processo.

Tabela 2. Avaliação e comparação do processo de funcionamento do biodigestor em relação aos parâmetros físicos e químicos analisados, antes e após o processo de fermentação anaeróbia, em mg/L.

Parâmetros	Ponto de coleta	Entrada do biodigestor	Ponto de coleta	Lagoa de estabilização
pH	2	7.3217	4	7.3967
Acidez	2	298.3	4	266.5
Alcalinidade	2	2734.7	4	2747.2
DQO	2	10697.9	4	3487.3*
DBO	2	2952.1	4	608.8*
Sólidos totais	2	7.2225	4	4.6717*
Sólidos Voláteis	2	5.2150	4	2.7408*

Nota: (*) Valores médios indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A fim de analisar e comparar o processo de biodigestão foi realizada a coleta de amostra do afluente no ponto 2 entrada do biodigestor, após o dejetos ser filtrado pela peneira separadora de sólidos e no ponto de coleta 4, lagoa de estabilização do efluente após o processo fermentativo, para posterior uso como biofertilizante.

Para avaliar a capacidade de eliminação de microrganismos após o processo de biodigestão em escala real, foi realizada a comparação entre os mesmos pontos de coleta, a entrada do biodigestor, ponto 2, e a lagoa de estabilização, ponto 4.

A capacidade de eliminação de microrganismos é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Teste t para os grupos microbianos avaliados na entrada do biodigestor e na lagoa de estabilização, em log de UFC/mL.

Grupo Microbiano	Valor t	Pr > t
CGP/C+	1.81	0.0082*
ENT e BGN NF	3.90	0.0003*
CGP/C	8.57	< 0.0001*

Nota: (*) Valores médios indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Os dados da Tabela 3 representam a diversidade bacteriana (afluente e efluente) representada na amostragem recuperada no sistema de biodigestão avaliado em diferentes pontos do biodigestor.

Houve diminuição das contagens em todos os grupos microbianos, havendo diferença significativa entre as bactérias que entram e saem do biodigestor, principalmente após a estabilização do efluente na lagoa, confirmando a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia para o saneamento do dejetos.

Os atributos agronômicos analisados no biofertilizante e de interesse para cálculo da aplicação no solo são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Atributos físico químicos do biofertilizante.

Atributos	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
N-orgânico (mg L ⁻¹)	22,46	36,59	3,23	± 12,53
N-amoniacoal (mg L ⁻¹)	29,13	56,12	15,39	± 15,97
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,07	0,16	0,01	± 0,05
Nitrato (mg L ⁻¹)	42,58	59,90	24,75	± 14,32
N-total (mg L ⁻¹)	94,23	126,7	69,95	± 21,25
P-total (mg L ⁻¹)	31,64	56,88	16,55	± 14,53
K-total (mg L ⁻¹)	0,2	0,5	0,1	± 0,23
Na (mg L ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	± 0,0

Estes valores indicam que o processo de biodigestão pode ter potencializado a concentração de componentes químicos no biofertilizante e estes valores são úteis para cálculo do volume de aplicação para cada necessidade agrônômica

A aplicação do efluente tratado (biofertilizante), no solo, promove o saneamento ambiental (ausência de moscas, por exemplo) e restitui parte dos nutrientes consumidos pelas culturas, podendo contribuir significativamente para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

O consumo de água para limpeza das instalações pelo sistema de reuso (bombeamento) do efluente líquido tratado sobre os pisos pode ser da ordem de 4.167 litros/dia, ou seja, 35 litros/UA/dia. Esse reduzido consumo de água foi o maior benefício e a economia de água repercute diretamente em economia e racionalização de energia.

Na maioria dos sistemas de produção, em confinamento, com sistemas de limpeza hidráulica dos pisos, o consumo de água observado é de 200 a 250 litros/UA/dia. Dessa forma, o Sistema representa uma economia de água de 82,5 a 86,0%, em relação aos processos que não utilizam o reuso da água residuária.

Considerações finais

A crescente busca por novas fontes alternativas para reciclagem de resíduos e produção de energia limpa aponta para a utilização dos dejetos bovinos como opção economicamente viável dada a relevância da atividade agropecuária no Brasil.

Neste sentido a digestão anaeróbia destes resíduos promove a reciclagem e a geração de energia. Ainda, em função da natureza das transformações biológicas durante o processo de digestão anaeróbia, o produto final tem potencialidade de uso com biofertilizante.

O aumento do uso de fertilizantes inorgânicos em todo o mundo tem sido fundamental para o aumento da produção agrícola. Neste contexto,

a substituição deste fertilizante comercial pelos efluentes de biodigestores é extremamente útil, com redução dos custos associados.

Apesar disso, o uso destes fertilizantes deve ser conduzido corretamente, pois caso os critérios técnicos não sejam seguidos, impactos negativos ao ambiente poderão ocorrer.

Referencias

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, p. 162-163, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 09/03/2006.

_____ Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011.

COLATTO, L; LANGER, M. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.

DALMAZO, G. S.; BAZI, S. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Biodigestores. In Cláudio Rocha de Miranda (org). Dia de Campo: suinocultura e meio ambiente: termo de ajuste de condutas da suinocultura. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.467–477, 2010.

HARDOIM, P. C.; DICESAR, A.; GONÇALVES, M. A. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, set., 2000. **Anais...** III Encontro de Energia no Meio Rural.

JÚNIOR, B. C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVERIA, M. M. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: UFV-Departamento de Engenharia Agrícola Ambiental, 2005.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.109-115, 2008.

MORUZZI, B. M. Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios, OLAM-Ciência e Tecnologia, Rio Claro, 2008.

ORNELAS, P. **Reuso de água em edifícios públicos: o caso da Escola Politécnica da UFBA**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

PEREIRA M. L. Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura. São Paulo, SP, 2005.

PEREIRA, A. S. Higiene e sanidade animal. Santarém, pg. 233, 1992.

SANTOS, E. L. B., JUNIOR, G. N. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.4, n.2, Agosto, 2013.

SGANZERLA, E. Biodigestor, uma solução. Porto Alegre, RS, 1983.

TORRES, A.C.; FERREIRA, W. A.; PACCOLA, A. A.; JUNIOR, J. L.; ULBANERE, R. C.; CARDOSO, R. M.; CAMPOS, A. T. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p.426-438, 2002.

WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.