

CAPÍTULO 8

Reúso de águas residuárias da suinocultura

*Bruno Venturin, Heloísa Campeão Rodrigues, Alice Chiapetti Bolsan,
Camila Ester Hollas, Deisi Cristina Tápparo, Gabriela Bonassa,
Fabiane Goldschmidt Antes, Marcelo Bortoli, Alexandre Matthiensen
e Airton Kunz*

Introdução

O reúso de água é a prática que permite a reutilização de águas residuárias, sendo um conceito conhecido há muitos anos (Hespanhol, 2008). Com os avanços tecnológicos, as práticas de reúso se modernizaram e ganharam distintas aplicabilidades, como a irrigação de áreas agricultáveis, recarga de águas superficiais e subterrâneas e reúso para fins industriais. Mesmo havendo diversas tecnologias de produção de água doce a partir de água do mar, o custo de tratar efluentes, geralmente, é mais barato que a alternativa de dessalinização. Entretanto, há ainda uma relutância cultural ao se tratar do assunto reúso de efluentes. Portanto, faz-se necessário uma quebra de paradigma, pois já existem diversas tecnologias de tratamento para o reúso seguro de água.

Com isso, em termos de gestão de recursos hídricos, essas soluções se baseiam em tratar e reusar efluentes gerados *in loco* para complementar o abastecimento ao invés de exportar o efluente. Assim, assegura-se a manutenção dos recursos da bacia hidrográfica, evitan-

do gastos com transporte e infraestrutura de deslocamento de água a grandes distâncias (Bertoncini, 2008; Palhares; Gebler, 2014; Boulay *et al.*, 2021). O emprego do reúso significa aumento de eficiência dentro de um processo e consequente diminuição de captação de água do ambiente. O uso de recursos hídricos locais deve ser realizado através da aplicação de fundamentos gerenciais e ambientais, aliado a sistemas avançados de tratamento e procedimentos de certificação da qualidade da água (Brega Filho; Mancuso, 2003; Santos; Vieira, 2020).

O reúso de água, antes considerado como não convencional, tem se tornado uma prática cada vez mais emergente, possibilitando o reaproveitamento desse recurso tão valioso, que é a água (Boulay *et al.*, 2021; Santos; Vieira, 2020). Medidas como conservar, aumentar a eficiência no consumo e reusar postergam a escassez que se aproxima e permitem um desenvolvimento sustentável, frente à preocupação constante com os recursos hídricos do planeta.

Segundo a ONG MapBiomias (2021), o Brasil possui 12% das reservas de água doce do planeta. Entretanto, existe uma tendência de decaimento desse valor. Esta é a conclusão obtida pela análise de imagens de satélite de todo o território nacional entre 1985 e 2020, em que é possível constatar que o país perdeu 15% da superfície de água desde o começo dos anos 1990, e não apresenta perspectivas de reversão deste cenário.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2011), a agricultura e a pecuária são responsáveis por cerca de 70% do consumo mundial de água. Dessa forma, o reaproveitamento dos recursos hídricos durante essas atividades produtivas se torna interessante.

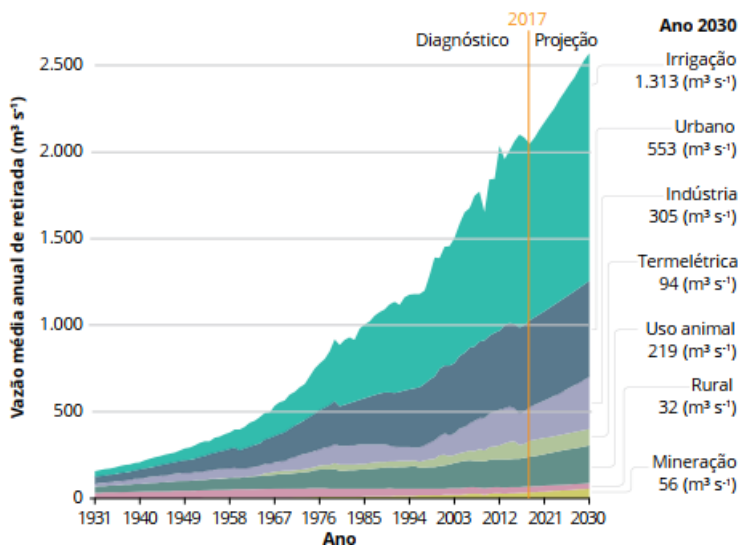


Figura 1. Consumo atual de água no país e projeção até 2030.

Fonte: Palhares, (2021).

Reúso de água: conceitos básicos

O reúso de água consiste em reaproveitar as águas residuárias provenientes do desenvolvimento de uma atividade humana para diferentes finalidades de aplicação. Para melhor compreender os conceitos envolvidos nessa prática, a legislação brasileira, através do Artigo 2º da Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de 28 de novembro de 2005 (Brasil, 2006), estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais à prática de reúso direto não-potável de água. Entre outras providências, define:

- **Água residuária:** esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.
- **Reúso de água:** utilização de água residuária.
- **Água de reúso:** água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

- **Produtor de água de reúso:** pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso.
- **Distribuidor de água de reúso:** pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso.
- **Usuário de água de reúso:** pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

De acordo com Brega Filho e Manusco (2003), o reúso de água pode ser classificado em:

- **Reúso direto planejado:** ocorre quando os efluentes, após tratados, são direcionados de forma direta do ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.
- **Reúso indireto não planejado:** proveniente de atividades humanas, é descarregada no meio ambiente e posteriormente é utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. A água está sujeita às ações do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração), enquanto flui até o ponto de captação para utilização do novo usuário.
- **Reúso indireto planejado:** acontece quando os corpos d'água superficiais ou subterrâneos recebem os efluentes depois de tratados para serem utilizados a jusante, de forma controlada, visando algum uso benéfico. Com essa forma de reúso, pressupõem-se que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas às misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reúso objetivado.

Quanto a potabilidade da água, as práticas de reúso não potável são as mais utilizadas, por não exigirem elevados níveis de tratamento. Devido a isso, vem se tornando um processo com rápido desenvolvimento e pode ser dividido em:

- **Reúso agrícola:** Irrigação de culturas alimentícias e não alimentícias.
- **Reúso industrial:** aplicado em usos industriais considerados menos nobres, como refrigeração, águas de processo, utilização em caldeiras, etc.
- **Reúso recreacional:** classificação destinada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e para enchimento de lagos ornamentais, etc.
- **Reúso não potável para fins domésticos:** reúso de água para a rega de jardins, para descargas sanitárias e utilização em lavagem de pisos e demais superfícies em grandes edifícios.
- **Reúso na aquicultura:** consiste na produção de peixes e plantas aquáticas, visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.

Contaminantes em águas de reúso

Embora a destinação e aplicação das águas de reúso dependa de sua classificação, Moura *et al.*, (2020) argumentam que no Brasil não há regulamentação, em nível nacional, que determine os padrões de qualidade da água de reúso da suinocultura. Por mais que este tema ainda receba pouca atenção no país, algumas legislações estão sendo buscadas para regulamentar o tema. Recentemente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a resolução Conama nº 503, de 14 de dezembro de 2021, que define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias (Brasil, 2021).

Embora alguns estados já apresentam legislações e normas (Brasil, 2010; São Paulo, 2017; Ceará, 2017; Rio Grande do Sul, 2017), é necessário avaliar individualmente cada caso, determinando a melhor aplicação a partir das características físico-químicas e microbiológicas da água de reúso e uma avaliação de risco em função do uso pretendido. Em atividades como a fertirrigação, a depender da origem do efluente e de suas características, a água residuária pode ser reutilizada de forma

direta, sem a necessidade de um tratamento, aproveitando os nutrientes, como nitrogênio e fósforo, presentes na água de reúso (Maesele; Roux, 2021). Entretanto, na maioria das vezes, se faz necessário o tratamento dos efluentes para possibilitar que a água de reúso possa ser considerada segura para seu uso em outras atividades.

Atualmente, existem muitas tecnologias para tratamento de efluentes, permitindo uma gama de escolhas de tecnologias que se adequem às realidades locais. É importante pontuar que não existe tecnologia mais eficiente, mas sim a que se adequa melhor aos objetivos do tratamento e às condições ambientais locais. A tecnologia com melhor relação custo x benefício demanda um estudo que considere não apenas os custos de execução, mas também de manutenção e operação.

Os efluentes líquidos veiculam uma série de agentes (físico-químicos ou microbiológicos) que podem ser prejudiciais à saúde humana e animal, tornando imprescindível sua avaliação e o nível de tratamento a ser aplicado em função do reúso pretendido. As tecnologias citadas nos capítulos anteriores, como separação sólido-líquido, digestão anaeróbia e nitrificação-desnitrificação, quando aliadas a processos de desinfecção, permitem a obtenção de uma água de reúso com diferentes características, a qual pode ser aplicada para diversos fins.

A suinocultura e o uso de água

No cenário da pecuária brasileira, a suinocultura se destaca tanto em termos de produção quanto pelos potenciais impactos ambientais associados aos resíduos gerados (Shen *et al.*, 2019; Wang, H. *et al.*, 2020). Caracterizando-se como um sistema de produção de animais confinados (SPAC), a suinocultura gera um alto volume de efluentes, o que está diretamente relacionado ao alto consumo de água para des-sedentação dos animais e limpeza das instalações (Palhares; Afonso; Gameiro, 2019; Xie *et al.*, 2020). De acordo com Carra *et al.*, (2020), do volume total de água utilizada, 44,9 e 55,1% são utilizados para a des-sedentação dos animais e limpeza dos alojamentos, respectivamente.

Segundo Palhares (2021), do total demandado de água para o abastecimento animal no País, há uma preponderância do rebanho bovino (88%), seguido pelo suíno (5%) e avícola (2%). Apesar da menor participação na demanda total, os gastos de água com suínos tendem a ocorrer de forma mais concentrada, podendo afetar o balanço hídrico local tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo (Palhares, 2021).

O consumo de água por suínos depende das condições ambientais, da qualidade da alimentação fornecida e das características fenotípicas dos animais, variando assim de acordo com as condições de cada granja. O consumo médio de água para dessedentação de animais pode variar também de acordo com a quantidade de nutrientes presentes na alimentação.

A quantidade de água utilizada para limpeza e desinfecção das instalações irá depender, basicamente, do número de animais e da fase de criação. Visando reduzir a incidência de infecções e a perda de animais, é essencial que a limpeza das instalações seja realizada diariamente. Daga *et al.*, (2007) realizaram um estudo em um sistema de pequeno porte de animais em fase de terminação e observaram que a limpeza da instalação demanda, em média, 1.500 litros de água, o que correspondeu a aproximadamente $4,3 \text{ L.animal}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

A crescente demanda hídrica nos setores produtivos, aliada à escassez de água no mundo, tem incentivado o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o uso racional desse recurso e controle de perdas (gestão da demanda), bem como às possibilidades de diversificação de fontes, reciclagem e reúso dos recursos hídricos (gestão da oferta). Tratando-se dos efluentes da suinocultura, sua complexidade (alta carga orgânica e de nutrientes, patógenos, fármacos e metais pesados) tem limitado o reaproveitamento dessas águas residuárias em favor da fertilização das lavouras. Porém, alguns estudos já demonstraram o potencial que esses efluentes apresentam em termos de reaproveitamento para limpeza das instalações produtivas (Garcia-Ivars *et al.*, 2017; Molina-Moreno *et al.*, 2017).

Desafios sanitários da prática de reúso de água nas granjas: redução de patógenos

A preocupação com a segurança sanitária na produção animal é imprescindível, uma vez que os microrganismos presentes nos resíduos podem apresentar riscos à saúde humana, animal e do ambiente, destacando-se os agentes patogênicos como vírus e bactérias. Nesse sentido, a inativação de patógenos para o reúso seguro de água é necessária, considerando o status sanitário das granjas e a aplicação do conceito de “Saúde Única” no reúso de efluentes suinícolas.

O conceito de “Saúde Única” compreende uma visão de saúde que integra humanos, animais e meio ambiente. Ela tem o objetivo de aprimorar o conhecimento, promover a saúde, controlar zoonoses e apoiar o manejo e a prevenção de doenças. A implementação de tratamentos eficientes na remoção de patógenos dos efluentes gerados nos sistemas de tratamentos de dejetos suínos é necessária, objetivando a “Saúde Única”. A qualidade microbiológica necessária depende do uso final do efluente e do nível de tratamento aplicado ao sistema.

Viancelli *et al.*, (2015) utilizaram o tratamento alcalino como sanitizante de digestatos suínos para reaproveitamento e substituição da água potável nos processos de limpeza. A inativação de patógenos foi avaliada com o uso de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), também conhecido como cal hidratada. Além de inativar patógenos, a cal apresenta a capacidade de extrair fósforo do efluente em um pH alcalino. Os pesquisadores avaliaram a remoção solúvel do fósforo e a inativação de diferentes patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica serovar typhimurium* e Circovírus suíno tipo 2 - PCV2) na fração líquida e no sólido gerado após adição de Ca(OH)_2 , expostas por 3 h e 24 h em diferentes condições de pH (9,0, 9,5 e 10,0). Os resultados mostraram a eficiência da elevação do pH com Ca(OH)_2 na remoção do P solúvel no pH 9,0 e na inativação total de *E. coli*, *Salmonella* e PCV2 a pH 10,0. A fração líquida (água de reúso) pode ser usada com segurança para a limpeza das instalações produtoras de suínos, e a fração sólida (P precipitado) como produto secundário e fertilizante (Viancelli *et al.*, 2015).

Bilotta *et al.* (2017) avaliaram o uso combinado de desinfecção com pH alcalino e radiação ultravioleta, visando adequabilidade sanitária de efluente secundário de uma estação de tratamento de dejetos suínos. A eficiência da desinfecção foi medida por coliformes totais, *E. coli* e *Salmonella* em três níveis de pH (7,5, 9 e 10), dois tempos de sedimentação (30 e 60 min) e dois tempos de contato para radiação ultravioleta (0 e 60 s) em $160,5 \pm 20,8 \text{ mJ.cm}^{-2}$. As maiores respostas de inativação foram 3,7 log para coliformes totais, 3,8 log para *E. coli* e 4,0 log para *Salmonella* no pH 10, 60 min de sedimentação e 60 s de exposição à radiação UV. Esses resultados mostram um aumento na eficiência de desinfecção de 2,8 log para coliformes totais e *E. coli* e 2,4 log para *Salmonella*, em comparação apenas com o controle de pH (Bilotta *et al.*, 2017).

Portanto, um tratamento alcalino anterior força a sedimentação dos sólidos totais suspensos, responsável pela redução do efeito germicida da luz ultravioleta, e, por essa razão, na próxima etapa de desinfecção a eficiência é maior. A aplicação de ambos os agentes de desinfecção, sequencialmente, produziu resultados adequados para a biossegurança da água de reúso (Bilotta *et al.*, 2017).

Simas *et al.* (2019) demonstraram que a desinfecção através de processos eletroquímicos é uma estratégia sanitária segura e que pode ser aplicada no tratamento de efluentes suínos para reúso de água para limpeza das instalações. Os processos eletroquímicos podem ser usados para remover matéria orgânica e nutrientes de águas residuais. Para isso, testou-se o efeito do pH e da densidade de corrente, utilizando eletrodos de ferro e alumínio. Os resultados mostraram uma redução de 99,99% da *E. coli* quando a desinfecção foi realizada durante 60 min em pH 3,0 e densidade de corrente de 44 mA.cm^{-2} , usando eletrodos tanto de ferro quanto de alumínio. A fração líquida obtida após a eletrodesinfecção pode ser reutilizada para limpeza das instalações, reduzindo, assim, o uso de água potável (Simas *et al.*, 2019).

Todas estas metodologias e tratamentos são de extrema importância para garantir a qualidade adequada da água de reúso para o fim que se quer obter da mesma. E a escolha por uma ou mais delas irá depender de uma avaliação técnica, econômica e ambiental.

Aplicações do reúso de água na suinocultura

Para que seja possível o reaproveitamento das águas residuárias da suinocultura é preciso ter o controle de parâmetros físico-químicos e, principalmente, microbiológicos de qualidade de água, para atender aos limites de regulação recomendados e alcançar níveis de segurança que diminuam ao máximo o risco epidemiológico (Palhares; Gebler, 2014). Rotas tecnológicas para redução de matéria orgânica e nutrientes têm sido estudadas para o tratamento de dejetos suínos, como a digestão anaeróbia, a nitrificação-desnitrificação, separação sólido-líquida, fitorremediação, entre outros (conforme discutido nos capítulos anteriores).

Cândido *et al.* (2022) apresentaram um sistema de tratamento de dejetos suínos, denominado Sistrates, que conciliou o uso de energia, remoção e recuperação de nutrientes e geração de água de reúso sanitariamente segura. Este efluente tratado pode ser utilizado para a limpeza das instalações que alojam os suínos, bem como para a limpeza das calhas que armazenam os dejetos antes de serem enviados ao sistema de tratamento. O reúso de água também pode ser feito ao utilizar a água que passa pelo sistema de tratamento de dejetos para alimentar o sistema de *flushing*. Esse sistema consiste no escoamento de uma lâmina de água nas caixas de passagem e/ou canaletas das instalações, a fim de facilitar o escoamento dos dejetos e a posterior limpeza. Estima-se que, ao utilizar a água de reúso nos sistemas de *flushing*, é possível economizar até 20% da água utilizada na unidade de produção (Brasil, 2016).



Figura 2. Calhas coletoras de dejetos abertas e com transbordamento (A) e sistemas fechados onde o flush é utilizado para limpeza das calhas (B).

Vanotti *et al.* (2007) desenvolveram um sistema de tratamento de dejetos suíno usando separação sólido-líquido por injeção de polímero, remoção de nitrogênio por processo de nitrificação-desnitrificação e tratamento alcalino subsequente em um módulo de fósforo. O sistema removeu mais de 95% da DBO, nitrogênio, fósforo, cobre e zinco presente no dejetos, fornecendo um efluente de boa qualidade para ser usado em sistemas de flushing nas instalações (Vanotti *et al.*, 2007).

A utilização de água de reúso pode acarretar em uma redução de até 48% do volume de água utilizada para limpeza, resultando consequentemente na redução de custos (Cândido *et al.*, 2022). Esse fator, somado à redução de emissões de gases e à demanda de água, reduz o impacto ambiental da atividade suinícola, garantindo a viabilidade e sustentabilidade do sistema produtivo e promovendo a circularidade econômica (López-Pacheco, *et al.*, 2021; Wang, H. *et al.*, 2020).

Redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e melhora da qualidade do ar das instalações pelo reúso de água nas instalações

Tão problemática quanto às questões hídricas, a emissão de GEE na pecuária é um dos pontos que preocupam a sustentabilidade das atividades futuras. Os setores pecuários são responsáveis por 44% das emissões de metano (CH₄) e 53% das emissões antropogênicas de óxido nitroso (N₂O) (FAO, 2017). Essas emissões são geradas ao longo de toda a cadeia produtiva, mas tem no manejo de resíduos uma contri-

buição significativa para o montante total. No Brasil, cerca de 4,7% das emissões do setor são decorrentes do manejo de dejetos, enquanto 11% das emissões de GEE dos sistemas de tratamento de efluentes são em função do processamento da carne suína, ficando evidente como o manejo desses resíduos pode afetar a viabilidade ambiental da atividade (Marchi; Barra; Melo, 2021).

A etapa de manejo de resíduos se torna potencialmente crítica devido, principalmente, à característica dos resíduos, visto que os dejetos animais apresentam altas concentrações de matéria orgânica e nitrogênio, e no processo de degradação dos mesmos vão resultar em CH₄ e N₂O. Esses gases por sua vez apresentam um potencial de cerca de 28 e 265 vezes, respectivamente, mais poluente que o CO₂, isso em termos de potencial de aquecimento global. Então, o manejo dos efluentes focado no alinhamento de questões de reúso e mitigação das emissões de GEE é crucial para melhorar o desempenho ambiental do setor suinícola (Sapkota *et al.*, 2021; Wang, Y. *et al.*, 2020).

Nesse sentido, Bortoli (2022) estudou o reúso de efluentes suínolas provenientes do processo de nitrificação/desnitrificação para a limpeza das instalações produtivas e os efeitos que a alta concentração de nitrato causaria sobre as emissões de GEE nas calhas. Os resultados demonstraram que efluentes ricos em nitrato são capazes de reduzir as emissões de CH₄ provenientes do processo de degradação natural dos resíduos. Ou seja, além da economia do recurso hídrico, a reciclagem do efluente teve um efeito sobre a dinâmica das rotas metabólicas, diminuindo a metanogênese e favorecendo a rota desnitrificante. A adição de nitrato altera o potencial redox do meio. Dessa forma, o ambiente nas calhas passa a ser anóxico ao invés de anaeróbico, fato que favorece os organismos heterotróficos desnitrificantes, reduzindo as emissões de GEE (Li *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2021)

Cabe ressaltar que a mitigação das emissões de poluentes não tem efeito apenas nas questões climáticas, mas também reflete diretamente na ambiência das instalações produtivas. A melhora da qualidade do ar tem efeito na melhoria da produtividade e saúde dos animais.

Vanotti e Szogi (2008) observaram que um ambiente onde a limpeza das instalações era feita com água de reúso proveniente do sistema de remoção de nitrogênio teve um efeito direto no ganho de peso dos animais, sendo 4,8% superior ao ganho de peso para os suínos produzidos em unidade de produção semelhante sem o uso da prática de reúso. O incremento no ganho de peso foi atribuído aos menores níveis de amônia nas instalações, o que contribuiu para o incremento da qualidade do ar no interior das instalações.

O reúso para fins de higienização pode beneficiar a redução das emissões de GEE nas instalações, desde que respeitadas as condições técnicas necessárias para viabilizar essa prática. Nesse sentido, o reúso deve ser na proporção de 40%_{água reúso} para assegurar que a relação C/N seja elevada (acima de 20) e a desnitrificação completa ocorra aí, uma vez que a falta de substrato pode promover a desnitrificação incompleta e aumentar as emissões de GEE ao invés de mitar, devido à emissão de N₂O, um intermediário do processo (Dai *et al.*, 2021).

Desassoreamento de lagoas pelo reúso de água

Outro gargalo produtivo é o manejo do lodo das lagoas de tratamento. Tanto no campo quanto na indústria, a alta carga orgânica e material particulado presente nos resíduos suínos faz com que as lagoas de tratamento assoreiam rapidamente, o que compromete o perfeito funcionamento dos processos de tratamento devido à redução do tempo de retenção hidráulica e consequente sobrecarga dos sistemas (Owusu-Twum; Sharara, 2020).

A medida mais simplificada para o problema seria a remoção por bombeamento ou a dragagem do lodo depositado no fundo da lagoa, porém essa prática apresenta elevados custos, Sharara (2020) estimou que o custo volumétrico da dragagem de lodo de lagoas de tratamento de dejetos suíno varia de US\$ 3,9 a US\$ 6,5 por metro cúbico, um custo elevado para ser absorvido no sistema produtivo (Szogi; Vanotti; Shumaker, 2018; Sharara, 2020).

Mutchamua *et al.* (2021) identificaram no reúso de efluentes suinícolas uma oportunidade para o manejo de lodo das lagoas de tratamento. Os autores utilizaram efluentes do processo de nitrificação/desnitrificação de dejetos, rico em nitrato, como meio para solucionar a questão do assoreamento. A presença de nitrato residual nessas águas residuárias se mostrou capaz de promover a desnitrificação, consumindo o carbono orgânico presente no lodo e conseqüentemente reduzindo a concentração de sólidos da lagoa. Nessa perspectiva, o reúso tem um papel fundamental para a segurança dos processos de tratamento. Aliado à questão econômica, mostrou-se uma alternativa de baixo custo e eficaz tanto na prevenção quanto na remediação do problema.

Considerações finais

A prática de reúso de água nas atividades suinícolas se torna de grande interesse econômico e ambiental, uma vez que atendidos os requisitos mínimos possibilita a redução do consumo de água potável e favorece o manejo e tratamento adequado dos dejetos gerados em prol da viabilidade ambiental da atividade pecuária e sustentabilidade da cadeia de produção suína.

Além das vantagens diretas, como redução da demanda ambiental de água, diminuição do aporte de nutrientes nos cursos d'água e potencial redução de conflitos pelo uso da água, é preciso dar visibilidade aos produtores e à sociedade em geral que o reúso de água possui viabilidade técnica e segurança sanitária.

Para isso, é necessário avançar, por meio da pesquisa, desenvolvimento e inovação, em trabalhos que foquem nas lacunas regulatórias e definam as competências institucionais adequadas, passando pela mudança do modelo mental (*mindset*) para que esta prática possa ser utilizada e se popularize, reduzindo assim a pressão e demanda sobre os recursos hídricos.

Referências

BAHIA. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH). Resolução nº 75, de 29 de julho de 2010. Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal. **Diário Oficial do Estado (Bahia)**, Salvador, 1 ago. 2010. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=121578>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, p. 152-169, jun. 2008. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Tratamento-de-efluentes-e-reúso-da-água-no-meio-agrícola.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BILOTTA, P. *et al.* Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n. 3, p. 1247-1254, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.033>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BORTOLI, M. *et al.* Water reuse as a strategy for mitigating atmospheric emissions and protecting water resources for the circularity of the swine production chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 345, p. 131127, apr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131127>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BOULAY, A. M. *et al.* Building consensus on water use assessment of livestock production systems and supply chains: Outcome and recommendations from the FAO LEAP Partnership. **Ecological Indicators**, v. 124, p. 107391, may 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107391>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). **Resolução n. 503, de 14 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Brasília, 2021. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=25162. Acesso em 06 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília: MAPA, 2016. 100 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/publicacoes-de-suinocultura/tecnologias-de-producao-mais-limpa-e-aproveitamento-economico-dos-residuos-da-producao-de-suinos.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática do reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, n. 47, p. 91-92, 9 mar. 2006. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0054-281105.PDF>. Acesso em: 20 out. 2021.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. *In*: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (org.). Reúso de água. Barueri: Manole, 2003. p. 21-36.

CÂNDIDO, D. *et al.* Integration of swine manure anaerobic digestion and digestate nutrients removal/recovery under a circular economy concept. **Journal of Environmental Management**, v. 301, p. 113825, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113825>. Acesso em: 6 mar. 2023.

CARRA, S. H. Z. *et al.* The effect of best crop practices in the pig and poultry production on water productivity in a southern brazilian watershed. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 11, oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12113014>. Acesso em: 6 mar. 2023.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 02, de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE, n. 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. **Diário Oficial do Estado – CE**, 21 fev. 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 6 mar. 2023.

DAGA, J. *et al.* Análise da adequação ambiental e manejo dos dejetos de instalações para suinocultura em propriedades na região oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 587-595, dez. 2007. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400001>. Acesso em: 6 mar. 2023.

DAI, H. *et al.* Nitrous oxide emission during denitrifying phosphorus removal process: A review on the mechanisms and influencing factors. **Journal of Environmental Management**, v. 278, n. 1, p. 111561, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111561>. Acesso em: 6 mar. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestock solutions for climate change**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=I8098EN%2F> Acesso em: 20 out. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW): Managing systems at risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

GARCIA-IVARS, J. *et al.* Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 125, p. 360-373, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070>. Acesso em: 6 mar. 2023.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200009>. Acesso em: 6 mar. 2023.

LI, L. *et al.* A comparative long-term operation using up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for the upgrading of anaerobic treatment of N, N-dimethylformamide-containing wastewater. **Science of the Total Environment**, v. 699, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134370>. Acesso em 06 mar. 2023.

LÓPEZ-PACHECO, I. Y. *et al.* Phyco-remediation of swine wastewater as a sustainable model based on circular economy. **Journal of Environmental Management**, v. 278, n. 2, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111534>. Acesso em 06 mar. 2023.

MAESELE, C.; ROUX, P. An LCA framework to assess environmental efficiency of water reuse: Application to contrasted locations for wastewater reuse in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 3161, sep. 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128151>. Acesso em 06 mar. 2023.

MAPBIOMAS. **Superfície de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90**. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90>. Acesso em: 20 set. 2021.

MARCHI, K.; BARRA, I.; MELO, N. Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2020: gases de efeito estufa. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 14, n. 5, p. 630-645, out. 2021.

MOLINA-MORENO, V. *et al.* Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 9, aug. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w9090653>. Acesso em 06 mar. 2023.

MOURA, P. G. *et al.* Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791–808, nov./dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180201>. Acesso em 06 mar. 2023.

MUTCHAMUA, H. H. G. *et al.* Sludge management in lagoons: the role of denitrification as a function of carbon biodegradation. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, sep. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100802>. Acesso em 06 mar. 2023.

OWUSU-TWUM, M. Y.; SHARARA, M. A. Sludge management in anaerobic swine lagoons: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 271, oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110949>. Acesso em 06 mar. 2023.

PALHARES, J. C. P. (org.) **Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137256/1/ProducaoAnimalRecursosHidricos-v2.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

PALHARES, J. C. P. Manejo hídrico na produção de suínos. **Engormix**, 6 abr. 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/905188/1/Aguasuininos.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

PALHARES, J. C. P.; AFONSO, E. R.; GAMEIRO, A. H. Reducing the water cost in livestock with adoption of best practices. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, n. 4, p. 2013-2023, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0117-z>. Acesso em 06 mar. 2023.

PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. (org.) **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa, 2014. v. 2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104051/1/Gestao-Agropecuaria.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

PENG, W. et al. Biological denitrification potential as an indicator for measuring digestate stability. **Science of the Total Environment**, v. 752, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142211>. Acesso em: 6 mar. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução CONSEMA Nº 355 de 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 19 jul. 2017.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 50, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36462>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SÃO PAULO (Estado). Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01, de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Seção 1, p. 41-42, 29 jun. 2017. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/06/resolucao-conjunta-ses-sma-ssrh-01-2017-agua-de-reuso.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

SAPKOTA, T. B. *et al.* Quantifying opportunities for greenhouse gas emissions mitigation using big data from smallholder crop and livestock farmers across Bangladesh. **Science of the Total Environment**, v. 786, sep. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147344>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SHARARA, M. A. Swine lagoon sludge as energy production feedstock: technical-economic assessment. *In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL VIRTUAL MEETING*, 2020. **[Anais...]**. Texas: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1-8, 2020.

SHEN, D. *et al.* Distribution and physicochemical properties of particulate matter in swine confinement barns. **Environmental Pollution**, v. 250, p. 746-753, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.086>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SIMAS, A. *et al.* Electrodisinfection of real swine wastewater for water reuse. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, n. 1, p. 495-499, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0782-z>. Acesso em 06 mar. 2023.

SZOZI, A. A.; VANOTTI, M. B.; SHUMAKER, P. D. Economic recovery of calcium phosphates from swine lagoon sludge using quick wash process and geotextile filtration. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 1-11, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00037>. Acesso em: 6 mar. 2023.

VANOTTI, M. B. *et al.* Development of environmentally superior treatment system to replace anaerobic swine lagoons in the USA. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3184-3194, jul. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.009>. Acesso em: 6 mar. 2023.

VANOTTI, M. B.; SZOZI, A. A. Water Quality Improvements of Wastewater from Confined Animal Feeding Operations after Advanced Treatment. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. S5, p. 86-96, sep. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0384>. Acesso em: 6 mar. 2023.

VIANCELLI, A. *et al.* Pathogen Inactivation and the Chemical Removal of Phosphorus from Swine Wastewater. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 226, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2476-5>. Acesso em: 6 mar. 2023.

WANG, H. *et al.* Science of the Total Environment Mitigation potential for carbon and nitrogen emissions in pig production systems: lessons from the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 725, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138482>. Acesso em: 6 mar. 2023.

WANG, Y. *et al.* New insights into concentrations, sources and transformations of NH₃, NO_x, SO₂ and PM at a commercial manure-belt layer house. **Environmental Pollution**, v. 262, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114355>. Acesso em: 6 mar. 2023.

XIE, D. *et al.* Agriculture, Ecosystems and Environment Spatiotemporal variations and developments of water footprints of pig feeding and pork production in China (2004 – 2013). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 297, aug. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106932>. Acesso em: 6 mar. 2023.