

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

**UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DE BIOSSÓLIDOS:
ANÁLISE CRÍTICA DA RESOLUÇÃO CONAMA N° 498/2020**

Lucas Jediael de Souza Paes¹
Jussara Ferreira-Santos¹
* Edgard Henrique Oliveira Dias¹

**USE OF BIOSOLIDS IN AGRICULTURE:
CRITICAL ANALYSIS OF THE RESOLUTION CONAMA N° 498/2020**

Recibido el 1 de junio de 2022. Aceptado el 18 de octubre de 2022

Abstract

This document presents a critical-comparative analysis of the current Brazilian Resolution CONAMA n° 498/2020 in relation to the previous Resolution CONAMA n° 375/2006 and emblematic international regulatory documents, namely Norm 503 (USA) and Sludge Regulations (United Kingdom). The main changes in the Resolution CONAMA n° 498/2020 refers to a certain 'flexibility' regarding microbiological standards (laboratory monitoring and/or operational control), as well as uses and restrictions of biosolids Classes A and B. Additionally, more detailed information about sewage sludge treatment (production of biosolids) and operating parameters of Process to Significantly Reduce Pathogens (PRSP; Class B biosolids) and Process to Further Reduce Pathogens (PFRP; Class A biosolids), as well as the implementation of Classes I and II biosolids regarding chemical parameters. Despite the changes, Resolution CONAMA n° 498/2020 can be considered safe in terms of public health, essentially because it was, in theory, based on the concept of double barrier protection and the quantitative microbial risk assessment (QMRA) approach. Therefore, it is believed that the current legislation, along with public acts and policies as well as other legal instruments to encourage the use of biosolids in agriculture, can leverage the production and agricultural application of biosolids in Brazil. It is important to highlight, however, the relevance of future improvements (sewage sludge treatment; biosolids quality criteria; biosolid uses and restrictions) through research and scientific methodologies that prove and support decision-making processes.

Keywords: biosolids, uses and restrictions, double protective barrier, agricultural application, risk assessment.

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Cidade Universitária, Juiz de Fora, Minas Gerais. 36036-900. Brasil.

Email: edgard.dias@ufjf.br

Resumo

Esse documento apresenta uma análise crítica-comparativa da atual Resolução CONAMA n° 498/2020 em relação à Resolução CONAMA n° 375/2006 e peças regulatórias internacionais emblemáticas, como a Norma 503 (EUA) e a Sludge Regulations (Reino Unido). As principais mudanças na Resolução CONAMA n° 498/2020 referem-se a certa “flexibilização” em termos de padrões microbiológicos (monitoramento laboratorial e/ou controle operacional) e usos e restrições de bio sólidos Classes A e B. Adicionalmente, cita-se maior detalhamento sobre o tratamento de lodos de esgoto (produção de bio sólidos) e parâmetros operacionais de Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRSP; bio sólidos Classe B) e Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP; bio sólidos Classe A), bem como implementação das Classes I e II de bio sólidos quanto a parâmetros químicos. Mesmo com as alterações, a Resolução CONAMA n° 498/2020 pode ser considerada segura do ponto de vista de saúde pública, uma vez que, em princípio, foi baseada no conceito de dupla barreira de proteção e na abordagem de avaliação quantitativa de risco microbiológico (AQRM). Portanto, acredita-se que a legislação vigente, aliada a ações e políticas públicas, bem como outros instrumentos legais de incentivo à utilização de bio sólidos, pode alavancar a produção e aplicação agrícola de bio sólidos no Brasil. É importante salientar, entretanto, a relevância de futuros aprimoramentos (tratamento de lodo de esgoto; critérios de qualidade, usos e restrições de bio sólidos), através de pesquisas e metodologias científicas que comprovem e embasem processos de tomada de decisão.

Palavras-chave: bio sólidos, usos e restrições, dupla barreira de proteção, aplicação agrícola, avaliação de risco.

Introdução

A produção de lodo de esgoto no Brasil cresce proporcionalmente ao aumento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto. As estimativas em 2010 eram de uma produção nacional entre 150 e 220 mil toneladas de matéria seca por ano, com pouco mais de 30% da população atendida por algum tipo de tratamento de esgoto (Pedroza *et al.*, 2010). Em 2019, o Brasil apresentava uma população estimada de 210.1 milhões de habitantes (IBGE, 2020), sendo que 49.1% da população era atendida com serviços de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2020). A partir dessas informações, e considerando uma faixa de contribuição *per capita* de lodo desidratado entre 10 e 80 gSS/hab.d, a depender do tipo de tratamento empregado (Andreoli *et al.*, 2007), pode-se estimar uma produção anual entre 376.5 mil e 3.0 milhões de toneladas de lodo desidratado no Brasil. Tais estimativas apresentam o potencial de geração de lodos de esgoto no Brasil e, portanto, os desafios para a produção e o aproveitamento benéfico de bio sólidos.

Segundo a Resolução CONAMA 498/2020 (Brasil, 2020), o termo “bio sólido” é definido como o produto do tratamento do lodo de esgoto sanitário que atende critérios microbiológicos e químicos determinados por ela, estando, portanto, apto a ser aplicado em solos. Para a agricultura, o que torna o bio sólido uma opção potencialmente viável e atrativa é o fato do material ser rico em nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) e matéria orgânica e, portanto, pode atuar como condicionador do solo (Freddi, 2019). Utilizar o bio sólido como fertilizante em atividades agrícolas e de recuperação de áreas degradadas permite que a destinação final desse

resíduo gerado em estações de tratamento de esgoto (ETEs) seja a melhor possível do ponto de vista ambiental, com redução de custos com destinação final e insumos agrícolas.

Por outro lado, a utilização de biossólidos na agricultura apresenta riscos associados. Por ser produto do tratamento de esgotos sanitários, lodos de esgoto podem conter metais pesados e microrganismos patogênicos (Amorim Junior *et al.*, 2021). Para contornar esses riscos e tornar segura a aplicação agrícola de biossólidos, são necessárias diretrizes que indiquem processos de tratamento de lodo que garantam redução dos níveis de contaminantes a uma faixa aceitável, bem como restrições de uso e aplicação (Magalhães, 2012).

Em se tratando de legislações internacionais sobre a produção e o uso agrícola de biossólidos, duas se destacam: a *Part 503 – Standards for the use or disposal of sewage sludge*, dos Estados Unidos da América (USEPA, 1993); e a *Sludge (Use in Agriculture) Regulations*, do Reino Unido (HMSO, 1989). A regulamentação americana é uma das mais antigas, e tida como referência mundial. Já a regulamentação britânica é representativa de outros países europeus. Ambas estabelecem duas classes distintas de biossólidos em termos de qualidade microbiológica, bem como restrições de uso. Similarmente, no Brasil a atual regulamentação que define critérios sobre a utilização de biossólidos na agricultura no Brasil é a Resolução CONAMA 498/2020 (Brasil, 2020), em substituição à legislação anterior, Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006).

Dessa forma, esse trabalho objetivou realizar uma análise crítica da Resolução CONAMA 498/2020, comparando-a a sua antecessora (Resolução CONAMA 375/2006) e a normas internacionais emblemáticas, como a *Part 503* dos Estados Unidos da América (USEPA, 1993) e a *Sludge (Use in Agriculture) Regulations* do Reino Unido (HMSO, 1989), em termos de padrões microbiológicos e químicos, bem como usos e restrições. Para tanto, o documento foi estruturado de forma a apresentar as resoluções nacionais e internacionais, uma comparação entre as normativas consideradas, e então uma análise crítica da Resolução CONAMA 498/2020.

Regulamentações nacionais

A atual Resolução CONAMA 498/2020 (Brasil, 2020), assim como a Resolução CONAMA 375/2006 (Brasil, 2006), define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólidos em solos. Ambas classificam biossólidos em duas diferentes classes microbiológicas, Classe A e Classe B, e apresentam diretrizes relativas ao uso e restrições de biossólidos. Um breve levantamento dessas resoluções é apresentado a seguir.

Resolução CONAMA n° 375/2006

A Resolução CONAMA n° 375, de 29 de agosto de 2006 (Brasil, 2006), estabelecia dois níveis de qualidade de biossólidos por meio de padrões de qualidade microbiológica, bem como restrições

quanto ao uso, apresentados resumidamente na Tabela 1. Biossólidos Classe A, de melhor qualidade ($\leq 10^3$ NMP/gST para *E. coli* ou coliformes termotolerantes; e ≤ 0.25 ovo viável de helminto / gST, ausência de *Salmonella* em 10 gST, < 0.25 vírus entérico / gST), não podiam ser aplicados para o cultivo de pastagens e de olerícolas, tubérculos e raízes, devendo ser respeitado período mínimo de 24 meses entre a última aplicação e o início do cultivo de pastagens, e de 48 meses para as demais culturas. Já biossólidos Classe B, de pior qualidade ($\leq 10^6$ NMP/gST para *E. coli* ou coliformes termotolerantes), somente podiam ser aplicados em culturas de café, culturas fibrosas, oleaginosas e silvicultura, sendo incorporados ao solo por meio mecânico em sulcos ou covas.

Tabela 1. Padrões microbiológicos e restrições de uso de biossólidos Classe A e Classe B segundo a Resolução CONAMA 375/2006.

| Padrões microbiológicos | | |
|--|--|--|
| Microrganismo | Classe A | Classe B |
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | $\leq 10^3$ NMP / gST | $\leq 10^6$ NMP / gST |
| Ovos viáveis de helmintos | ≤ 0.25 ovo / gST | ≤ 10 ovos / gST |
| <i>Salmonella</i> | Ausência em 10 gST | NE |
| Vírus | ≤ 0.25 UFF ou UFP/gST | NE |
| Controle operacional | PRAP: NÃO PODEM substituir a caracterização microbiológica | PRSP: NÃO PODEM substituir a caracterização microbiológica |
| Restrições de uso | | |
| Cultura | Classe A | Classe B |
| Alimentícia – consumida crua | NP | NP |
| Alimentícia – com contato com o solo | 48 meses (C) | - |
| Alimentícia – não consumida crua | SR | NP |
| Alimentícia – sem contato com o solo | SR | - |
| Não alimentícia | SR | 6 meses (C*) |
| Forageira | 24 meses (C) | NP |
| Pastagem | 24 meses (C) | NP |
| Florestas plantadas | SR | NE |
| Recuperação de áreas degradadas | SR | NE |

ST = sólidos totais; NMP = número mais provável; UFF = unidade formadora de foco; UFP = unidade formadora de placa; PRAP = processos de redução adicional de patógenos; PRSP = processos de redução significativa de patógenos; C = intervalo para cultivo; C*: somente cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos; Co = intervalo para colheita; P = intervalo para pastagem; NE = não exigido; NP = não permitido; SR = sem restrições, apenas devendo ser respeitadas as restrições locais. Fonte: Adaptado de Brasil (2006) e Brasil (2020).

Em termos de restrições, o acesso de público em locais com aplicação de lodo de esgoto (ou produto derivado) sobre o solo deveria ser restringido por 12 meses após a última aplicação para biossólidos Classe B e 30 dias para Classe A (Brasil, 2006). A aplicação manual do biossólido Classe A deveria ser evitada, enquanto a aplicação de biossólido Classe B deveria ser obrigatoriamente

mecanizada. Para as duas classes, a última aplicação deveria ser feita no mínimo seis meses antes da colheita manual (Brasil, 2006).

Resolução CONAMA n° 498/2020

Assim como sua predecessora, a Resolução CONAMA n° 498, de 19 de agosto de 2020 (Brasil, 2020), divide os biossólidos em duas classes de acordo com seus padrões microbiológicos, bem como apresenta restrições de aplicação, apresentados resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2. Padrões microbiológicos e restrições de uso de biossólidos Classe A e Classe B segundo a Resolução CONAMA 498/2020.

| Padrões microbiológicos | | |
|--|--|--|
| Microrganismo | Classe A | Classe B |
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | $\leq 10^3$ NMP / gST | $\leq 10^6$ NMP/gST |
| Ovos viáveis de helmintos | NE | NE |
| <i>Salmonella</i> | NE | NE |
| Vírus | NE | NE |
| Controle operacional | PRAP: PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo em termos de patógenos, mas não de indicadores. | PRSP: PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo em termos de indicadores. |
| Restrições de uso | | |
| Cultura | Classe A | Classe B |
| Alimentícia – consumida crua | 1 mês (Co) | NP |
| Alimentícia – com contato com o solo | 1 mês (Co) | |
| Alimentícia – não consumida crua | SR | 4 meses (Co) |
| Alimentícia – sem contato com o solo | SR | |
| Não alimentícia | SR | 4 meses (Co) |
| Forageira | 1 mês (Co) | 4 meses (Co) |
| Pastagem | 1 mês (P) | 2 meses (P) |
| Florestas plantadas | SR | SR |
| Recuperação de áreas degradadas | SR | SR |

ST = sólidos totais; NMP = número mais provável; UFF = unidade formadora de foco; UFP = unidade formadora de placa; PRAP = processos de redução adicional de patógenos; PRSP = processos de redução significativa de patógenos; C = intervalo para cultivo; C*: somente cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos; Co = intervalo para colheita; P = intervalo para pastagem; NE = não exigido; NP = não permitido; SR = sem restrições, apenas devendo ser respeitadas as restrições locais. *Fonte: Adaptado de Brasil (2006) e Brasil (2020).*

Para que o biossólido seja classificado como Classe A, de melhor qualidade ($\leq 10^3$ NMP/gST para *E. coli* ou coliformes termotolerantes; e ser provenientes de um Processos de Redução Adicional de Patógenos – PRAP), podem ser aplicados sem restrições de maneira geral, apenas devendo ser respeitado período mínimo de um mês entre a última aplicação e início do cultivo de pastagens e

fornageiras, bem como alimentos consumidos crus cuja parte comestível tenha contato com o solo (Brasil, 2020). Já para ser classificado como Classe B, de qualidade inferior ($\leq 10^6$ NMP/gST para *E. coli* ou coliformes termotolerantes; ou ser proveniente de um dos Processos de Redução Significativa de Patógenos – PRSP), podem ser aplicados respeitando-se período mínimo de dois meses entre a última aplicação e início do pastejo, e de quatro meses entre a última aplicação e o período de colheita de forrageiras, de produtos não alimentícios e de produtos alimentícios que não sejam consumidos crus (Brasil, 2020).

A Resolução CONAMA 498/2020 apresenta opções de PRAP e PRSP, com detalhamentos dos critérios de operação a serem adotados, como tratamentos por regimes de Tempo-Temperatura e pH-Temperatura (e.g., compostagem, tratamento térmico, digestão aeróbia, digestão anaeróbia, secagem em leitos, caleação, pasteurização). Para ambas as classes podem ser utilizados PRAP e PRSP não especificados na legislação, mas equivalentes, sendo necessário aceite por órgão ambiental competente. Nesses casos, para Biossólidos Classe A deve ser realizada a caracterização de ovos de helmintos no momento da formação do lote de biossólido, sendo tolerável uma concentração máxima de 1 ovo viável de helminto por grama de ST.

Regulamentações internacionais

Foram consideradas nesse trabalho duas legislações internacionais emblemáticas: a *Part 503 – Standards for the use or disposal of sewage sludge*, dos Estados Unidos da América (USEPA, 1993); e a *Sludge (Use in Agriculture) Regulations*, do Reino Unido (HMSO, 1989).

Norm 503 (Estados Unidos da América)

Em 1993 foram estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) diretrizes que regulamentam os padrões e requisitos para utilização de lodo de esgotos através da *Part 503* ou *Norm 503* (USEPA, 1993), aqui referida como Norma 503. A Norma 503 estipula duas classes de biossólidos em relação à qualidade microbiológica, Classe A e Classe B, conforme apresentado na Tabela 3.

Biossólidos Classe B devem ser produzidos por Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRSP), e apresentar menos de 2×10^6 coliformes/gST. Como exemplos de PRSP citam-se processos Tempo-Temperatura e pH-Temperatura, digestão aeróbia e anaeróbia, compostagem e estabilização alcalina (USEPA, 1993). A qualidade microbiológica dos biossólidos Classe B pode ser garantida pelo atendimento ao padrão bacteriológico do produto final ($< 2 \times 10^6$ coliformes/gST) **ou** pelo controle operacional do processo de tratamento.

Tabela 3. Padrões microbiológicos de biossólidos Classe A e Classe B segundo a regulamentação internacional *Norm 503* (Estados Unidos da América).

| Microrganismo | Classe A | Classe B |
|--|---|--|
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | $\leq 10^3$ NMP / gST | $\leq 2 \times 10^6$ NMP/gST |
| <i>Salmonella</i> | ≤ 3 NMP / 4gST | NE |
| Ovos viáveis de helmintos | ≤ 1 ovo / 4gST | NE |
| Vírus | ≤ 1 UFF ou UFP / 4gST | NE |
| Controle operacional | PRAP: PODEM ser utilizado como indicador da qualidade do lodo em termos de ovos viáveis de helmintos e vírus (patógenos). | PRSP: PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo em termos de indicadores. |

ST = sólidos totais; NMP = número mais provável; UFF = unidade formadora de foco; UFP = unidade formadora de placa; PRAP = processos de redução adicional de patógenos; PRSP = processos de redução significativa de patógenos; NE = não exigido. *Fonte: Adaptado de USEPA (1993).*

Já os biossólidos Classe A devem ser produzidos através de Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP), e conter menos de 10^3 coliformes/gST ou menos de 3 *Salmonella spp.*/4gST. Além disso, as seguintes alternativas devem ser atendidas: (i) concentração de vírus entéricos < 1 UFP/4gST; e (ii) concentração de ovos viáveis de helmintos < 1 ovo/4gST. Alternativamente, o cumprimento dos padrões microbiológicos quanto a vírus e helmintos de biossólidos Classe A pode ser demonstrado a partir do controle operacional de PRAP (e.g., compostagem, secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, pasteurização). Dessa forma, tem-se que a garantia da qualidade dos biossólidos Classe A deve ser avaliada pela verificação do padrão bacteriológico do produto final em termos de coliformes totais ($< 10^3$ coliformes/gST) **ou** *Salmonella spp.* (< 3 *Salmonella*/4gST). Adicionalmente, deve-se atender padrões microbiológicos quanto a vírus (< 1 vírus/4gST) e helmintos (< 1 ovo/4gST) ou avaliar o processo de tratamento (controle operacional como Tempo-Temperatura e pH-Temperatura).

Biossólidos de Classe A podem ser utilizados sem restrições, igualmente como fertilizantes ou produtos de correção do solo (ajuste de pH), sendo aplicáveis inclusive em gramados e jardins residenciais (USEPA, 1993). A aplicação de biossólidos Classe B é vedada em gramados e jardins residenciais, bem como sua livre comercialização e distribuição. Entretanto, biossólidos Classe B podem ser utilizados em grande escala em solos agrícolas e florestais, na recuperação de áreas degradadas e em locais públicos, desde que alguns requisitos de controle de vetores (redução dos teores de SV em 38%; tratamento aeróbio do lodo por ≥ 14 d; tratamento alcalino com pH ≥ 12) e de poluentes químicos (atendimento de limites de poluentes inorgânicos como arsênio, cádmio, cobre, chumbo e mercúrio) sejam observados (USEPA, 1993).

Sludge Use in Agriculture Regulations (Reino Unido)

A legislação do Reino Unido, mundialmente conhecida na área da aplicação de biossólidos no uso agrícola e referência para os países da União Europeia, foi estabelecida na *Sludge (Use in Agriculture) Regulations* (HMSO, 1989), e constituída pela aplicação da Diretiva do Conselho da União Europeia 86/278/CEE de 1986 (CEC, 1986). Além das normas legais, existem instrumentos de autocontrole consensuados entre as empresas de saneamento, o setor atacadista de comércio de alimentos e órgãos governamentais, consubstanciados na *Safe Sludge Matrix* (ADAS, 2001).

Duas categorias de biossólidos são determinadas, conforme apresentado na Tabela 4: biossólidos que recebem “tratamento convencional” e biossólidos que recebem “tratamento avançado”. O “tratamento convencional” deve assegurar remoção de *E. coli* de 2.0 log₁₀ e concentração máxima no biossólido de 10⁵ *E. coli*/gST, enquanto o “tratamento avançado” deve assegurar 6.0 log₁₀ de redução de *E. coli* e concentração máxima no biossólido de 10³ NMP/gST para *E. coli* e ausência de *Salmonella* spp.

Tabela 4. Padrões microbiológicos de biossólidos Classe A e Classe B segundo a regulamentação internacional *Sludge Regulations* (Reino Unido).

| Microrganismo | Classe A | Classe B |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | ≤ 10 ³ NMP / gST | ≤ 10 ⁵ NMP/gST |
| <i>Salmonella</i> | Ausente em 2gST | NE |
| Ovos viáveis de helmintos | NE | NE |
| Vírus | NE | NE |
| Controle operacional | Não estabelecidos na legislação. | Não estabelecidos na legislação. |

ST = sólidos totais; NMP = número mais provável; UFF = unidade formadora de foco; UFP = unidade formadora de placa; PRAP = processos de redução adicional de patógenos; PRSP = processos de redução significativa de patógenos; NE = não exigido. Fonte: Adaptado de HMSO (1989).

A *Safe Sludge Matrix* (ADAS, 2001) também define orientações quanto à aplicação dos biossólidos a diferentes culturas. Para biossólidos produzidos por “tratamento avançado”, de melhor qualidade, a colheita deve ser realizada após 10 meses da aplicação para culturas alimentícias, e após 3 semanas da aplicação para culturas não alimentícias; o pastejo por animais deve ser restringido nas primeiras 3 semanas após a aplicação. Para biossólidos produzidos por “tratamento convencional”, de pior qualidade, a colheita deve ser realizada após 12-30 meses da aplicação para culturas alimentícias, e após 3 semanas da aplicação para culturas não alimentícias; o pastejo por animais deve ser restringido nas primeiras 3 semanas após a aplicação. É vedado o uso de lodo não tratado em solo agrícola para produção de alimentos.

Os critérios operacionais para processos de tratamento do lodo visando produção de biossólidos por “tratamento convencional” ou “tratamento avançado” não são especificados na *Sludge (Use in Agriculture) Regulations* (HMSO, 1989) e na *Safe Sludge Matrix* (ADAS, 2001). Entretanto, existem recomendações a esse respeito no *Code of Practice* (DoE, 1996).

Análise comparativa entre regulamentações

Resolução CONAMA 498/2020 e Resolução CONAMA 375/2006 – parâmetros microbiológicos

Em se tratando de biossólidos Classe A, de melhor qualidade, observam-se algumas diferenças entre as resoluções. Tanto a Resolução CONAMA 498/2020 quanto a Resolução CONAMA 375/2006 estabelecem concentração de bactérias indicadoras inferior a 10^3 NMP/gST (Tabela 5). Já a comprovação do atendimento relativo a organismos patogênicos (ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos) a partir de análises laboratoriais, anteriormente exigida na Resolução CONAMA 375/2006, não é mais exigida na Resolução CONAMA 498/2020 (Tabela 5). Entretanto, a normativa atual estabelece critérios de controle operacional de sistemas de tratamento de lodo para assegurar o atendimento a padrões microbiológicos quanto a patógenos. Adicionalmente, a Resolução CONAMA 498/2020 amplia a lista de PRAP em relação a Resolução CONAMA 375/2006, apresentando maior detalhamento quanto a aplicação dos PRAP e os requisitos de controle operacional (e.g., relação Tempo-Temperatura e pH-Temperatura).

Em se tratando de biossólidos Classe B, conforme a Resolução CONAMA 375/2006, estes deveriam apresentar concentração de coliformes termotolerantes inferior a 10^6 NMP/gST, menos que 10 ovos viáveis de helmintos/gST, e ser proveniente de um Processo de Redução Significativa de Patógenos (PRSP) (Brasil, 2006). Já a Resolução CONAMA 498/2020 (Brasil, 2020) estabelece que o limite máximo de 10^6 NMP/gST de *Escherichia coli* seja atendido, ou então que o biossólido seja proveniente de um dos PRSP estabelecidos (Tabela 5).

A Tabela 6 apresenta pontos relativos a usos e restrições de biossólidos. Para biossólidos Classe A, a Resolução CONAMA 375/2006 proibia a utilização em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, culturas inundadas, e culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (Brasil, 2006). Em áreas que porventura receberam biossólidos, novos cultivos apenas deveriam ocorrer após a última aplicação respeitados períodos mínimos de 24 meses para a implantação de pastagens e forrageiras, e de 48 meses para o cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis (Brasil, 2006). Já a Resolução CONAMA 498/2020 não apresenta restrições para biossólidos Classe A no que se refere ao tempo entre sua aplicação e o cultivo ou colheita para: i) produtos alimentícios que não têm contato com o solo; ii) produtos alimentícios que não são consumidos crus; e iii) produtos não alimentícios (Brasil, 2020). Também não é imposta restrição à aplicação para florestas

plantadas, recuperação de solos e áreas degradadas. Para alimentos consumidos crus cuja parte comestível tenha contato com o solo, pastagens e forrageiras, deve ser respeitado o intervalo de 1 mês entre a última aplicação e o início da colheita (Brasil, 2020).

Tabela 5. Caracterização microbiológica de biossólidos Classe A segundo a Resolução CONAMA 375/2006 e a Resolução CONAMA 498/2020.

| Biossólidos Classe A | | |
|--|--|--|
| Microrganismo | Resolução CONAMA 375/2006 | Resolução CONAMA 498/2020 |
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | $\leq 10^3$ NMP / gST | $\leq 10^3$ NMP / gST |
| Ovos viáveis de helmintos | ≤ 0.25 ovo / gST | NE |
| <i>Salmonella</i> | Ausência em 10 gST | NE |
| Vírus | ≤ 0.25 UFF ou UFP/gST | NE |
| Controle operacional | PRAP: NÃO PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo. | PRAP: PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo em termos de patógenos, mas não de indicadores. |
| Biossólidos Classe B | | |
| Microrganismo | Resolução CONAMA 375/2006 | Resolução CONAMA 498/2020 |
| <i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes | $\leq 10^6$ NMP / gST | $\leq 10^6$ NMP/gST |
| Ovos viáveis de helmintos | ≤ 10 ovos / gST | NE |
| Controle operacional | NPRSP: NÃO PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo. | PRSP: PODEM ser utilizados como indicador da qualidade do lodo em termos de indicadores. |

ST = sólidos totais; NMP = número mais provável; NE = não exigido; PRSP = processos de redução significativa de patógenos; PRAP = processos de redução adicional de patógenos. *Fonte: Adaptado de Brasil (2006) e Brasil (2020).*

Sobre as culturas aptas a receberem aplicação de biossólidos Classe B, a Resolução CONAMA 375/2006 determinava que os usos são limitados ao cultivo de café, culturas fibrosas ou oleaginosas, ou na silvicultura, desde que fossem incorporadas ao solo de maneira mecanizada e que o acesso ao público fosse restringido durante 12 meses após a aplicação (Brasil, 2006). Para culturas coletadas manualmente, a aplicação deveria acontecer no mínimo seis meses antes da época de colheita. Adicionalmente, a Resolução CONAMA 498/2020 determina que biossólidos Classe B podem ser aplicados, respeitando-se período mínimo de dois meses entre a última aplicação e início do pastejo de animais, e de quatro meses após a última aplicação e a colheita de forrageiras, de produtos não alimentícios e de produtos alimentícios que não sejam consumidos crus (Brasil, 2020). Não são impostas quaisquer restrições à utilização de biossólidos Classe B em florestas plantadas e recuperação de solos e áreas degradadas (Tabela 6).

Tabela 6. Restrições de aplicação de biossólidos Classe A segundo a Resolução CONAMA 375/2006 e a Resolução CONAMA 498/2020.

| Biossólidos Classe A | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cultura | Resolução CONAMA 375/2006 | Resolução CONAMA 498/2020 |
| Alimentícia – consumida crua | NP | 1 mês (Co) |
| Alimentícia – com contato com o solo | 48 meses (C) | 1 mês (Co) |
| Alimentícia – não consumida crua | SR | SR |
| Alimentícia – sem contato com o solo | SR | SR |
| Não alimentícia | SR | SR |
| Forageira | 24 meses (C) | 1 mês (Co) |
| Pastagem | 24 meses (C) | 1 mês (P) |
| Florestas plantadas | SR | SR |
| Recuperação de áreas degradadas | SR | SR |
| Biossólidos Classe B | | |
| Cultura | Resolução CONAMA 375/2006 | Resolução CONAMA 498/2020 |
| Alimentícia – consumida crua | NP | NP |
| Alimentícia – não consumida crua | NP | 4 meses (Co) |
| Não alimentícia | 6 meses (C*) | 4 meses (Co) |
| Forageira | NP | 4 meses (Co) |
| Pastagem | NP | 2 meses (P) |
| Florestas plantadas | NE | SR |
| Recuperação de áreas degradadas | NE | SR |

C = intervalo para cultivo; C*: somente cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos; Co = intervalo para colheita; P = intervalo para pastagem; NE = não especificado; NP = não permitido; SR = sem restrições, apenas devendo ser respeitadas as restrições locais. *Fonte: Adaptado de Brasil (2006) e Brasil (2020).*

Logo, tem-se que a Resolução CONAMA 498/2020 mostra-se mais flexível à aplicação agrícola de biossólidos, Classe A e Classe B, enquanto a Resolução CONAMA 375/2006 demonstrava ser por demais restritiva. Entretanto, tal fato não torna, necessariamente, a Resolução CONAMA 498/2020 menos segura em termos de saúde humana. Isto porque sua concepção foi, em princípio, fundamentada em conceitos como dupla barreira de proteção (padrões de qualidade de biossólidos e restrições de aplicação) e em metodologias científicas como a avaliação quantitativa de risco microbiológico (AQRM).

Vale salientar, entretanto, que a Resolução CONAMA 375/2006 não era totalmente proibitiva, já que existem diferentes exemplos de aplicação agrícola de biossólidos durante sua vigência (Bittencourt *et al.*, 2009; Oliveira, 2015; Fraga, 2016). Porém, apesar de a Resolução CONAMA 375/2006 ter representado um marco no que se refere a utilização de biossólidos no Brasil, é de se especular que as restrições anteriormente impostas podem ter desestimulado a prática de uso agrícola de biossólidos Classe B (Silva, 2018).

Em suma, a Resolução CONAMA 498/2020 trouxe, para biossólidos Classe A e B, uma perspectiva mais favorável à prática de uso agrícola em relação à CONAMA 375/2006, destacando-se: a possibilidade de se utilizar o controle operacional dos processos de tratamento de lodo para comprovação da qualidade microbiológica em termos de patógenos de biossólidos Classe A, e qualidade microbiológica geral (indicadores e patógenos) de biossólidos Classe B; e menores restrições em relação a culturas e tempo de aplicação de biossólidos antes do cultivo ou colheita.

Resolução CONAMA 498/2020 e Resolução CONAMA 375/2006 – químicos inorgânicos

Enquanto a Resolução CONAMA 375/2006 apresentava apenas um padrão para substâncias químicas inorgânicas, a Resolução CONAMA 498/2020 institui duas classes: Classe I, de melhor qualidade química (concentrações máximas muito similares às da Resolução CONAMA 375/2006); e Classe II, de pior qualidade química. Não há restrição para utilização dos biossólidos Classe I e II, desde que sejam atendidos os requisitos de taxa máxima anual e carga máxima acumulada.

As diretrizes para frequência de monitoramento de parâmetros químicos e microbiológicos do biossólido, bem como dos parâmetros de controle operacional dos processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores não foram alteradas entre as normativas. Entretanto, a Resolução CONAMA 375/2006 citava eventual aumento da frequência de monitoramento se necessário (maior rigor), a partir de decisão de órgãos competentes, quando devidamente justificada (Brasil, 2006). Já a Resolução CONAMA 498/2020 permite que o órgão autorize a redução desta frequência (maior permissividade) após dois anos de monitoramento, quando comprovada baixa variabilidade nos padrões químicos e microbiológicos ou dos parâmetros de controle operacional dos PRPA e PRPS (Brasil, 2020).

Resolução CONAMA 498/2020 e normas internacionais emblemáticas

A Resolução CONAMA 498/2020 (Brasil, 2020), assim como a Norma 503 dos Estados Unidos (USEPA, 1993) e a *Sludge (Use in Agriculture) Regulations* do Reino Unido (HMSO, 1989), estabelece duas classes distintas de biossólidos de acordo com seus padrões microbiológicos. Nas regulamentações dos EUA e Brasil, essas são definidas como Classe A, de melhor qualidade, e Classe B, de pior qualidade. No Reino Unido, os biossólidos são classificados com base no tipo de tratamento ao qual o lodo de esgoto é submetido: “tratamento avançado”, que produz biossólido de melhor qualidade; e “tratamento convencional”, que produz biossólido de pior qualidade (analogamente, biossólidos Classe A e Classe B, respectivamente). Para biossólidos de melhor qualidade microbiológica, o padrão de *E. coli* é o mesmo (10^3 NMP/gST) nas três regulamentações, enquanto para os de pior qualidade, os padrões de *E. coli* são de 10^6 NMP/gST para o Brasil, 2×10^6 NMP/gST para os EUA e 10^5 NMP/gST para o Reino Unido (Tabelas 2, 3 e 4).

A Norma 503 indica que os biossólidos de Classe A devem ser produzidos através de PRAP, e os padrões de coliformes termotolerantes ou os de *Salmonella* devem ser atendidos (USEPA, 1993). Adicionalmente, deve-se garantir níveis abaixo de 1 UFP/4gST de vírus entéricos e 1 ovo viável de helminto/4gST; ou pares de valores Tempo-Temperatura ou pH-Tempo ou tratamento equivalente. Em resumo, os padrões de coliformes termotolerantes podem ser considerados indicadores de ausência de *Salmonella*, entretanto não são indicadores confiáveis da ausência de vírus entéricos e ovos de helmintos (Magalhães, 2012; Bastos *et al.*, 2013). Já a regulamentação do Reino Unido, por sua vez, define que para a obtenção de biossólidos a partir de “tratamentos avançados” devem ser observadas: (i) concentração máxima de 10^3 *E. coli*/gST; e (ii) ausência de *Salmonella spp.*; e (iii) eficiência de remoção de $6.0 \log_{10}$ (HMSO, 1989). De acordo com Bastos *et al.* (2013), outros patógenos como ovos viáveis de helmintos e vírus são indiretamente controlados a partir da eficiência do tratamento em termos *E. coli* e/ou atendimento do controle operacional dos processos de tratamento. Assim, para biossólidos Classe A, a Resolução CONAMA n° 498/2020 (Brasil, 2020) estabelece critérios similares às normas estrangeiras: o controle de patógenos (e.g., vírus e helmintos) não é obrigatório, sendo realizado através do cumprimento do controle operacional dos PRAP.

Para obtenção de biossólidos de Classe B, a legislação dos EUA utiliza do monitoramento da qualidade microbiológica ou eficiência dos PRSP aplicados (USEPA, 1993; Bastos *et al.*, 2013). A observância dos procedimentos operacionais corretos dos PRSP garante eficiências de remoção de $2.0 \log_{10}$ para coliformes termotolerantes, $1.0 \log_{10}$ para vírus entéricos e $1.5 \log_{10}$ para *Salmonella* (USEPA, 1993). Os biossólidos obtidos por “tratamento convencional”, segundo o regulamento do Reino Unido, devem assegurar concentrações máximas de 10^5 *E. coli*/gST e eficiência de remoção mínima de $2.0 \log_{10}$ (HMSO, 1989; Bastos *et al.*, 2013). Similarmente à norma americana, a redução dos patógenos é verificada pela redução do indicador (*E. coli*) ou pelos requisitos operacionais do tratamento (USEPA, 1993). Assim, para biossólidos Classe B, a Resolução CONAMA n° 498/2020 (Brasil, 2020) também estabelece critérios similares às normas estrangeiras: o controle da redução dos patógenos pode ser verificado pelos requisitos operacionais do tratamento, não sendo necessário o monitoramento de indicadores.

Apesar de existirem semelhanças entre a Resolução CONAMA 375/2006 e a legislação dos EUA quanto a padrões microbiológicos, discrepâncias em termos de usos e restrições (legislação brasileira mais restritiva) podiam ser destacadas. Tal fato permitia críticas em relação ao que constituía “risco tolerável” no contexto brasileiro, o que indicava ausência da aplicação da abordagem de avaliação quantitativa de risco microbiológico (AQRM) em sua concepção (Bastos *et al.*, 2013). Já a Resolução CONAMA 498/2020, por sua vez, é mais próxima da regulamentação dos EUA, tanto do ponto de vista de padrões microbiológicos (e requisitos operacionais dos processos de tratamento) como nos aspectos de usos e restrições.

Em termos de padrões químicos, a regulamentação americana não estabelece classes de biossólidos, apenas define (i) concentrações médias mensais e (ii) concentrações máximas permitidas para diferentes elementos (USEPA, 1993). Já a Resolução CONAMA nº 498/2020 possui duas classes de biossólidos em termos de características químicas: Classe I e Classe II (Brasil, 2020). Os elementos (metais) abordados nas duas legislações são essencialmente os mesmos. Curiosamente, as concentrações de químicos estabelecidas para biossólidos Classe I e II da regulamentação brasileira são equivalentes aos valores médios mensais e aos valores máximos permitidos da regulamentação americana.

Resolução CONAMA 498/2020: avanços, desafios e perspectivas

As análises comparativas aqui realizadas entre a Resolução CONAMA 498/2020 e a Resolução 375/2006, bem como regulamentações internacionais (Norm 503 – USA; *Sludge Regulations* – UK), apresentam avanços importantes na legislação brasileira, com mudanças, em princípio, embasadas pela dupla barreira de proteção, seguindo a abordagem de avaliação quantitativa de risco microbiológico (AQRM). As principais alterações referem-se a certa “flexibilização” dos padrões microbiológicos, bem como usos e restrições de biossólidos Classe A e Classe B. Adicionalmente, cita-se a ampliação da abordagem e o detalhamento dos parâmetros operacionais de Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRSP; biossólidos Classe B) e Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP, biossólidos Classe A), e a possibilidade de se utilizar o controle operacional dos processos de tratamento para comprovação da qualidade microbiológica de biossólidos (em termos de patógenos para Classe A; em termos de indicadores para Classe B).

Apesar de se inferir que a CONAMA 498/2020 se baseou em ferramentas como a AQRM, a normativa não explicita as abordagens e metodologias utilizadas em sua concepção. Tal fato poderia ser apontado como um ponto de fragilidade da legislação. O detalhamento das abordagens consideradas poderia auxiliar a compreensão dos padrões químicos e microbiológicos, parâmetros de controle operacional dos sistemas de tratamento de lodo de esgoto (produção de biossólidos) e restrições de uso estabelecidos.

Abordagens como a dupla barreira de proteção e a AQRM são importantes para a formulação de normas e regulamentações, onde garantias de segurança são atingidas ao passo que requisitos operacionais e restrições são menores (desde que se atendam normas e requisitos de segurança). Além da AQRM, existem abordagens de avaliação de risco semiquantitativas, ou mesmo qualitativas. Estas se baseiam na elaboração de matrizes de ranqueamento de riscos, e auxiliam tomadas de decisão em diferentes cenários (WHO, 2016). Adicionalmente, múltiplas barreiras de proteção podem ser aplicadas. Além da qualidade do biossólido e de restrições de uso, questões como higienização de alimentos por consumidores e uso de

equipamentos de proteção individual (EPI) por trabalhadores poderiam ser consideradas de forma a reduzir riscos (e.g., público e ocupacional). Diferentes estudos propõem o uso de ferramentas que contemplam avaliação de risco semiquantitativa ou qualitativa (Zimmer-Faust *et al.*, 2020; Boles *et al.*, 2021; Damaceno *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2022;) e múltiplas barreiras de proteção (Plummer *et al.*, 2010; Rachmadi *et al.*, 2021; Terin *et al.*, 2022). Assim, acredita-se que as abordagens de avaliação (quantitativa, semiquantitativa ou qualitativa) de risco microbiológico e de dupla ou múltiplas barreiras de proteção devem ser ainda mais exploradas, tornando diretrizes de legislações mais seguras à saúde pública, servindo como subsídio para discussões e pesquisas bem fundamentadas para a definição de parâmetros de qualidade, valores máximos permitidos, bem como requisitos e restrições de uso de biossólidos, dentre outros, como medidas de proteção à saúde (WHO, 2006; BASTOS *et al.*, 2009; WHO, 2016).

Por fim, acredita-se que a atual Resolução CONAMA 498/2020 é mais adequada ao contexto brasileiro, tanto do ponto de vista da produção de biossólidos Classes A e B, como do aspecto de aplicação agrícola. Entretanto, existe um desafio cultural sobre a utilização agrícola de biossólidos por parte de agricultores e da população. Portanto, talvez sejam necessárias ações, ou mesmo políticas públicas, estudos, pesquisas, discussões e debates, para promover e disseminar informações sobre os benefícios agrícolas e ambientais em torno do uso agrícola de biossólidos, de forma segura para trabalhadores e consumidores (saúde pública).

Considerações finais

As principais conclusões do trabalho são apresentadas a seguir:

- A Resolução CONAMA 498/2020 é menos “restritiva” que a Resolução CONAMA 375/2006. Essa maior “flexibilidade” não torna a atual Resolução insegura do ponto de vista da proteção à saúde humana, essencialmente pela sua aparente fundamentação no conceito da AQRM.
- Apesar dos notórios avanços observados, futuras pesquisas são necessárias objetivando aprimoramentos da legislação (e.g., sistemas de tratamento de lodo de esgoto, critérios de qualidade química e microbiológica de biossólidos, usos e restrições), através de metodologias científicas que embasem processos de tomada de decisão.
- Desafios culturais quanto a utilização do biossólido devem ser trabalhados, a fim de que a população vislumbre os biossólidos como um produto rico em matéria orgânica e nutrientes, de elevado potencial agrônômico e que pode ser aplicado de maneira segura. Assim, é importante que as metodologias utilizadas para a elaboração de regulamentações (e.g., avaliação de risco e múltiplas barreiras de proteção) sejam explicitadas nos documentos.

Referências

- ADAS. Agricultural Development and Advisory Service (2001) *The sewage sludge matrix. Guidelines for the application of sewage sludge to agricultural land.*
- Amorim Junior, S.S., Mazucato, V.S.H., Machado, B.d.S., Guilherme, D.d.O., da Costa, R.B., Magalhães Filho, F.J.C. (2021) Agronomic potential of biosolids for a sustainable sanitation management in Brazil: nutrient recycling, pathogens and micropollutants. *Journal Of Cleaner Production*, **289**(2021), 125708. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125708>
- Andreoli, C.V., Sperling, M.V., Fernandes, F. (2007) *Sludge treatment and disposal*, IWA Publishing, Alliance House, 12, UK, London, 258 pp.
- Bastos, R.K., Bevilacqua, P.D., Mara, D.D., Barony, F.J.A (2013) Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. *Revista DAE*, **191**(1), 10-20. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.098>
- Bastos, R.K.X., Bevilacqua, P.D., Dias, G.M.F. (2009) Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. **(2)**1, 143-159. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2009.2.1.13111>
- Bittencourt, S., Andreoli, C.V., Mochida, G.A., de Souza, L.M.K.M. (2009) Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. **(2)**1, 1-11. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2009.2.1.13099>
- Boles, C., Zisook, R., Buerger, A. N., Hamaji, C., Mathis, C., Lauer, D., Brewster, R. K., Meachum, K. K., Nonnenmann, M., Unice, K. M. (2021). Semi-quantitative microbial risk assessment: a narrative review and proposed framework for health and safety practitioners. *Journal of Public Health and Emergency*, 1-16. <http://dx.doi.org/10.21037/jphe-22-1>
- Brasil (2006) *Resolução N° 375 de 29 de agosto de 2006*. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=497
- Brasil (2020). *Resolução N° 498 de 19 de agosto de 2020*. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797
- CEC, Council of the European Communities (1986). Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal*, 6 pp.
- Damaceno, M.G.S., Cruvinel, K.A.S., Santos, A.S.P. (2022). Semiquantitative microbiological risk assessment for water reuse in agriculture: a case study in Brazil. *Water Supply*, **22**(9), 7375-7386. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.285>
- DoE, Department of the Environment. (1996) *Code of practice for agricultural use of sewage sludge*. Ruislip, 20 pp.
- Fraga, L.P. (2016) *Efeitos da aplicação de biossólido e resíduos de poda na revegetação de área de empréstimo no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, 110 pp.
- Freddi, L.A. (2019). Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. *Revista Científica ANAP Brasil*, **12**(24), 50-60. <https://doi.org/10.17271/19843240122420191982>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). *Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação*. Acesso em 13 ago. 2021, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>.
- HMSO, Her Majesty Stationary Office. *Statutory Instrument No. 1263. The Sludge (Use in Agriculture) Regulation*. London, 1989. Acesso em 23 abr 2021, disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1989/41/contents>

- Lima, M.A.M., Santos, A.S.P., Rebelo, A., Lima, M. M., Vieira, J. M. P., (2022). Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment. *Water Cycle*, **3**, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2022.04.003>
- Magalhães, T.d.B. (2012) *Uso agrícola de biossólidos: análise crítica da Resolução CONAMA 375/2006 na perspectiva da metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 202 pp.
- Marques, F.P., Magri, M.E., Amoah, I.D., Stenström, T.A., Paulo, P.L., (2021). Development of a semi-quantitative approach for the assessment of microbial health risk associated with wastewater reuse: A case study at the household level. *Environmental Challenges*, **4**, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100182>
- Oliveira, D.N.S. (2015) *Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 60 pp.
- Pedroza, M. M., Vieira, G.E.G., de Sousa, J.F., Pickler, A.D. C., Leal, E.R.M., Milhomen, C.d.C. (2010). Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. *Revista Liberato*, **11**(16), 147-158.
- Plummer, R., Velaniškis, J., Grosbois, D., de Kreuzwiser, R.D., de Loë, R., (2010). The development of new environmental policies and processes in response to a crisis: the case of the multiple barrier approach for safe drinking water. *Environmental Science & Policy*, **13**(6), 353-458. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.05.004>
- Rachmadi, A.T., Azizkhan, Z.M., Hong, P.O., (2021). Enteric virus in reclaimed water from treatment plants with different multi-barrier strategies: Trade-off assessment in treatment extent and risks. *Science of The Total Environment*, **776**(1) 146039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146039>
- Silva, L.D.A.C. (2018) *Identificação e avaliação de áreas potenciais de uso agrícola do lodo de estações de tratamento de esgoto sanitário nas bacias dos rios velhas, Jequitai e Pacui*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Meio ambiente Saneamento e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 141 pp.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021) Esgotamento Sanitário no Brasil – 2021. Acesso em 13 jul. 2021, disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>.
- Terin, U.C., Freitas, B.L.S., Fava, N.M.N, Sabogal-Paz, L.P., (2022). Evaluation of a multi-barrier household system as an alternative to surface water treatment with microbiological risks. *Environmental Technology*, **43**(22), 3401-3413. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1921856>
- USEPA - United States Environmental Protection Agency (1993) The standards for the use or disposal of sewage sludge. Washington, DC: Federal Register, Code of Federal Regulations [CFR], Title 40, Part 503.
- WHO, World Health Organization (2006) *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta, and Greywater*, WHO, Geneva, Switzerland, 222 pp.
- WHO, World Health Organization (2016) *Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for water safety management*, WHO, Geneva, Switzerland, 187 pp.