

SANEAMENTO ECOLÓGICO E RECUPERAÇÃO DE RECURSOS: REVISÃO SISTÊMICA DAS METODOLOGIAS ANALÍTICAS APLICADAS ÀS ANÁLISES QUÍMICAS E À CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE SUBPRODUTOS DE BANHEIROS SECOS.

Tamires Radharani Panche Castilho dos Santos^{1*}

Leonardo Santos Andrade^{**}

Maria Elisa Magri²

Resumo: Neste trabalho adotou-se uma metodologia de estudo que segue o protocolo PRISMA (da sigla inglesa, *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), englobando a busca, seleção e análise de estudos em bases científicas. As principais técnicas analíticas identificadas incluem determinações de pH, alcalinidade, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), teor de sólidos totais, fixos e voláteis, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, teor de fosfato e potássio. A relevância ambiental desta pesquisa reside na revisão e estruturação de escopo de parâmetros essenciais e na importância da análise química como ferramenta de avaliação da qualidade dos subprodutos de banheiro seco, contribuindo com a garantia da segurança sanitária, compreensão dos processos de estabilização, potencial de recuperação de nutrientes, bem como uma estratégia na redução de impactos ambientais e no fortalecimento de práticas de economia circular em sistemas de saneamento ecológico.

Palavras-chave: Análise química; banheiro seco; saneamento ambiental; teores de nutrientes.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de Saneamento Ecológico, também denominados saneamento com foco na recuperação de recursos, como os banheiros secos, representam uma alternativa sustentável aos sistemas convencionais de esgotamento sanitário. Esses sistemas visam não apenas à redução da poluição dos corpos hídricos, por meio da não utilização de água para transporte de excretas, mas também à valorização dos resíduos humanos, possibilitando sua conversão em insumos agrícolas, como

¹Universidade Federal de Catalão (UFCAT), tamirescastilhos@gmail.com*, ls_andrade@ufcat.edu.br**.

²Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mariamagri@ufsc.br

biofertilizantes e condicionadores de solo (ESREY *et al.*, 1998, TONETTI *et al.*, 2018).

Dentre as tecnologias de saneamento ecológico, destacam-se os banheiros secos com separação na fonte, denominados vasos separadores de urina. Esses sistemas promovem a segregação de fezes e urina, o que facilita os processos de estabilização da matéria orgânica, contribui para a redução de patógenos e potencializa a recuperação de nutrientes essenciais do solo, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), para uso agrícola. A separação na fonte também reduz perdas por volatilização e diluição, aumentando a eficiência dos processos de tratamento e reaproveitamento (REBOUÇAS, 2010; JENKINS, 2011; SMITH, 2015).

Nesse contexto, a análise físico-química constitui uma ferramenta central para a avaliação ambiental desses sistemas, pois possibilita o monitoramento de indicadores de maturação e estabilidade dos compostos gerados. Parâmetros como pH, alcalinidade e condutividade elétrica refletem a dinâmica da decomposição da matéria orgânica, a liberação e mobilidade de íons e o grau de estabilização do material, sendo amplamente utilizados para avaliar a qualidade e segurança dos subprodutos oriundos de processos de compostagem (ALVES, 2009; MARQUES, 2010).

Entretanto, a segurança sanitária e o potencial de reuso dos subprodutos gerados dependem de um monitoramento e avaliação rigorosa de parâmetros físico-químicos e indicadores de estabilidade do composto. Parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são fundamentais para quantificar o potencial poluidor residual e a fração orgânica biodegradável, sendo essenciais para a prevenção de impactos ambientais, como a eutrofização de corpos d'água, em casos de disposição inadequada (TONETTI *et al.*, 2018).

A determinação de sólidos totais, fixos e voláteis, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, fosfato e potássio são análises que fornecem subsídios importantes para a caracterização do valor agrônomo dos subprodutos, permitindo avaliar sua viabilidade como fertilizantes ou condicionadores de solo. Essas análises alinham-se diretamente aos princípios da economia circular aplicada ao saneamento e agricultura, que busca o fechamento de ciclos de nutrientes e a redução da

dependência de fertilizantes minerais convencionais (ESREY *et al.*, 2001, SANTOS, 2021).

Estudos indicam que a variabilidade desses parâmetros é fortemente influenciada por fatores operacionais, como o tempo de retenção, a relação carbono/nitrogênio (C/N), as condições de aeração e a adição de materiais estruturantes, os quais afetam a taxa de decomposição, a higienização do material e a qualidade final do composto (JENKINS, 2011; MAGRI, 2013).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece diretrizes específicas para o reuso seguro de excretas humanas, enfatizando a necessidade de monitoramento contínuo e de múltiplas barreiras de controle para garantir a inativação de patógenos e a minimização de riscos à saúde pública e ao meio ambiente (WHO, 2006). Essas diretrizes reforçam a importância de avaliações integradas que considerem tanto aspectos sanitários quanto ambientais.

Apesar dos avanços nas pesquisas relacionadas ao Saneamento Ecológico, ainda persistem lacunas na padronização de protocolos analíticos específicos para a caracterização de subprodutos de banheiros secos. Essa ausência de padronização dificulta a comparação entre estudos, limita a replicabilidade dos resultados e compromete a escalabilidade e a adoção mais ampla dessas tecnologias em diferentes contextos socioambientais.

Diante desse cenário, este presente trabalho justifica-se pela necessidade de sistematizar e analisar os parâmetros físico-químicos utilizados e citados na literatura na caracterização de subprodutos de banheiros secos, visando garantir sua estabilidade, segurança sanitária e potencial de reuso agrícola, e ênfase, na recuperação de nutrientes (N, P, K), visando contribuir para o fortalecimento científico e técnico do Saneamento Ecológico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a caracterização físico-química dos subprodutos gerados por banheiros secos com separação na fonte (fezes compostadas e urina desviada), com ênfase na recuperação de

nutrientes (N,P,K) e na avaliação de parâmetros associados à estabilidade, segurança sanitária e potencial de reuso agrícola.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar os principais parâmetros físico-químicos utilizados na literatura para a avaliação de fezes compostadas e urina desviada provenientes de sistemas de banheiros secos;
- Sistematizar informações sobre o teor e a recuperação de nutrientes (N, P, K) presentes nos subprodutos, visando sua aplicação como fertilizantes ou condicionadores de solo;
- Contribuir para o fortalecimento do saneamento ecológico como estratégia de economia circular, por meio da consolidação de evidências científicas sobre a recuperação segura de nutrientes.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Saneamento Ecológico (EcoSan, derivado da abreviação em língua inglesa de *Ecological Sanitation*) é um sistema regenerativo e descentralizado de gestão, manejo, tratamento e destinação de águas residuais e excretas humanas, o que inclui o uso responsável de recursos, tanto no processo de construção como no funcionamento do sistema como um todo, de forma coesa, tendo como princípio de sustentabilidade, cuidado com as águas, e o enfoque na recuperação e ciclagem de nutrientes, retornando a terra (ESREY *et al.*, 1998; TONETTI *et al.*, 2018).

De acordo com Magri (2013) os conceitos de saneamento ecológico, dentre alguns aspectos, visam à conservação da água, reaproveitamento de nutrientes, aumento na produção de alimentos e a manutenção da saúde pública. E pode atuar complementarmente no controle da poluição dos corpos hídricos, na promoção de saúde e na disponibilização e reuso dos nutrientes que são ordinariamente desperdiçados nos esgotos. Sendo assim, oferece uma perspectiva de corresponsabilidade e uma abordagem cíclica de lidar com aquilo que atualmente é considerado resíduo, visto que considera e reconhece os excrementos humanos como fonte de recursos.

[...]O saneamento ecológico objetiva atender as necessidades socioeconômicas, reduzindo o consumo, poupando energia e recursos locais, recuperando nutrientes para produção de alimentos.. É uma linha de interação, que pode ser utilizada de forma descentralizada, para gerar autonomia, de acordo com o contexto social local (MACHADO, 2022, p. 60).

Nesse contexto, os banheiros secos destacam-se como tecnologias descentralizadas que eliminam o uso de água para transporte de excretas e reduzem significativamente a carga poluidora lançada nos corpos hídricos. Além disso, esses sistemas possibilitam a transformação de resíduos humanos em subprodutos com valor agrônomo, como compostos orgânicos e fertilizantes líquidos, contribuindo para a conservação de recursos naturais e a redução da dependência de insumos sintéticos (JENKINS, 2011; LOURO; VOLSCHAN JUNIOR; ÁVILA, 2012).

Entre as diferentes configurações de banheiros secos, os sistemas com separação na fonte, especialmente aqueles que utilizam vasos separadores de urina, apresentam vantagens técnicas e ambientais relevantes. A separação imediata de fezes e urina reduz a diluição dos nutrientes, facilita os processos de tratamento e estabilização e diminui a formação de odores e gases indesejáveis (SMITH, 2015).

A urina humana é responsável por cerca de 80% do nitrogênio, 50% do fósforo e 60% do potássio excretados pelo ser humano, apesar de representar apenas uma pequena fração do volume total das excretas. Sua separação permite a recuperação eficiente desses nutrientes, com menor risco sanitário quando comparada ao manejo conjunto com fezes, desde que sejam respeitados períodos adequados de armazenamento (WHO, 2006; MAGRI, 2013).

As fezes, por sua vez, apresentam maior carga orgânica e microbiológica, exigindo processos de tratamento mais rigorosos, como a compostagem, para garantir a estabilização da matéria orgânica e a inativação de patógenos. A adição de materiais estruturantes ricos em carbono, é uma prática comum que contribui para o equilíbrio da relação carbono/nitrogênio (C/N), melhora a aeração e favorece a degradação biológica (JENKINS, 2011; REBOUÇAS, 2011; AMATUZI, BOTECA, CELANTE, 2013;).

A estabilização dos subprodutos gerados em banheiros secos é um fator determinante para sua segurança sanitária e viabilidade de reuso. No caso das fezes compostadas, a compostagem promove a degradação da matéria orgânica facilmente biodegradável, reduz odores, estabiliza o material e contribui para a redução de patógenos por meio da ação conjunta do tempo, da temperatura e da atividade microbiana (REBOUÇAS, 2010; SMITH, 2015).

A maturação do composto pode ser avaliada por meio de diversos parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica, alcalinidade e teor de sólidos. Valores de pH próximos à neutralidade indicam maior estabilidade do material, enquanto a condutividade elétrica reflete a concentração de sais solúveis e a liberação de íons durante o processo de decomposição (ALVES, 2009).

No caso da urina desviada, o armazenamento promove a elevação do pH devido à hidrólise da uréia em amônia, processo que contribui para a inativação de microrganismos patogênicos. Entretanto, esse mesmo processo pode resultar em perdas de nitrogênio por volatilização, o que reforça a importância do controle das condições de armazenamento e do monitoramento do material (WHO, 2006; MAGRI, 2013).

Parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são amplamente utilizados para quantificar a carga orgânica biodegradável e total presente nos materiais tratados. Valores elevados de DBO e DQO indicam a presença de matéria orgânica ainda instável, o que pode resultar em consumo de oxigênio dissolvido em corpos hídricos e processos de eutrofização, caso haja lançamento ou lixiviação inadequada. Assim, esses parâmetros são essenciais para avaliar o grau de estabilização dos subprodutos e sua compatibilidade com o reuso agrícola ou ambiental (JENKINS, 2011).

A análise de sólidos totais, fixos e voláteis também fornece informações importantes sobre a composição do material e o avanço do processo de estabilização. A redução da fração de sólidos voláteis é frequentemente associada à degradação da matéria orgânica e à maturação do composto, sendo um indicador relevante em estudos de compostagem de excretas humanas (REBOUÇAS, 2010; MAGRI, 2013).

A recuperação de nutrientes a partir de subprodutos de banheiros secos representa uma das principais vantagens do saneamento ecológico. A determinação

de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, fósforo e potássio permite avaliar o valor fertilizante dos materiais tratados e seu potencial de substituição parcial ou total de fertilizantes minerais convencionais (SMITH, 2015).

Diversos estudos demonstram que a aplicação controlada de urina armazenada e fezes compostadas pode melhorar a fertilidade do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e contribuir para a melhoria da estrutura do solo, desde que sejam respeitados critérios técnicos e sanitários (WHO, 2006; FERREIRA, 2024).

Essa abordagem contribui diretamente para a redução da extração de recursos naturais não renováveis, como o fósforo mineral, cuja disponibilidade global é limitada, reforçando o papel do saneamento ecológico na transição para sistemas mais resilientes e sustentáveis (COPETTI, 2023).

A variabilidade dos parâmetros físico-químicos observados nos subprodutos de banheiros secos é fortemente influenciada por fatores operacionais. O tempo de retenção, a relação C/N, a aeração e a adição de materiais estruturantes desempenham papel fundamental na eficiência dos processos de estabilização e na qualidade final dos produtos obtidos (JENKINS, 2011; SÁ, 2011).

Sistemas mal manejados podem resultar em compostos instáveis, com elevados teores de matéria orgânica biodegradável e maior risco sanitário, enquanto sistemas bem dimensionados e operados tendem a produzir materiais mais seguros e com maior valor agrônomo (ALVES, 2009).

Apesar do crescente interesse científico pelo saneamento ecológico, ainda existem lacunas significativas na literatura, especialmente no que se refere à padronização de protocolos analíticos para a caracterização físico-química de subprodutos de banheiros secos. A diversidade de métodos, unidades e condições experimentais dificulta a comparação entre estudos e limita a consolidação de diretrizes técnicas mais robustas.

Nesse sentido, revisões sistemáticas da literatura desempenham um papel fundamental ao organizar, sintetizar e analisar criticamente as evidências e estudos disponíveis, contribuindo para a pesquisa científica e para a formulação de recomendações técnicas e analíticas mais consistentes para ampliação dessas tecnologias e sistemas de saneamento descentralizado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, foi realizada uma metodologia de revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com as diretrizes do protocolo PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), a pesquisa focou em identificar, selecionar e sistematizar estudos científicos relacionados à caracterização físico-química dos subprodutos gerados por banheiros secos (fezes compostadas e urina concentrada), com ênfase na recuperação de nutrientes.

A busca bibliográfica foi realizada em três bases de dados eletrônicas de relevância científica: *Scopus*, *SciELO* e *Google Scholar*. Na revisão foram analisados documentos publicados entre 2005 a 2025, limitado às 50 primeiras referências ordenadas por relevância. As palavras-chave utilizadas incluíram "banheiro seco", "saneamento ecológico", "recuperação de recursos em sistemas de saneamento" e "saneamento descentralizado".

Após a realização das pesquisas iniciais, foram identificados quais estudos seriam mencionados neste trabalho. Com isso, a seleção foi realizada com base na quantidade de estudos relevantes na comunidade acadêmica. Posteriormente, as pesquisas foram refinadas de forma a incluir descritores em língua inglesa (considerando a maior abrangência), combinados em blocos temáticos utilizando operadores booleanos. O Quadro 1 mostra a estratégia de pesquisa dos descritores:

Quadro 1 - Descritores selecionados

Bloco 1 - Sistema: ("dry toilet*" OR "composting toilet*" OR "urine diversion" OR "ecological sanitation" OR "source separation sanitation" OR "UDDT").
Bloco 2 - Subproduto: ("human feces" OR "faecal sludge" OR "composted feces" OR "urine" OR "struvite" OR "excreta").
Bloco 3 - Análise físico-química: ("physicochemical" OR "pH" OR "alkalinity" OR "BOD" OR "COD" OR "total solids" OR "volatile solids" OR "TOC" OR "total nitrogen" OR "phosphate" OR "potassium" OR "nutrient recovery").

Bloco 4 - Reuso e recuperação de recursos: ("fertilizer" OR "soil amendment" OR "nutrient recycling" OR "circular economy").

Fonte: elaborado pela autora (2026).

Foram definidos critérios de inclusão e exclusão previamente ao processo de seleção dos estudos, conforme preconizado pelo PRISMA 2020. Foram incluídos estudos que abordavam e que forneciam detalhes sobre os sistemas, abrangendo aspectos experimentais com dados físico-químicos, avaliação de estabilidade e recuperação de nutrientes. Ademais, foram considerados trabalhos que apresentavam estudos conceituais, ausência de dados analíticos, duplicatas, trabalhos sobre sistemas convencionais de saneamento foram excluídos pois não eram compatíveis com o tema.

RESULTADOS

A aplicação da estratégia de busca nas bases de dados ocorreu por ordem de relevância, considerando pesquisas na Scopus, SciELO e Google Scholar. Após a remoção de duplicatas, passou-se para a etapa de triagem por título. Nessa fase, foram excluídos muitos registros por não apresentarem relação direta com banheiros secos, saneamento ecológico ou caracterização físico-química de subprodutos, resultando em 50 selecionados para a leitura dos resumos.

A análise e leitura dos resumos levou à exclusão de 23 estudos, principalmente por tratarem de sistemas convencionais de saneamento, por não apresentarem dados analíticos ou por abordarem apenas aspectos conceituais e sociais. Dessa forma, 27 artigos foram avaliados na íntegra quanto à elegibilidade, após essa etapa, 12 estudos foram excluídos por ausência de dados quantitativos relevantes, metodologias incompatíveis com o escopo da pesquisa ou indisponibilidade do texto completo, com o refinamento das buscas e termos adicionais, foram identificados textos relevantes que incluíram artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso de graduação (TCC), teses, dissertações e manuais, totalizando 15 estudos incluídos na revisão sistemática.

Os estudos selecionados apresentaram ampla diversidade de contextos geográficos, e universitário com maior concentração em países no Sul do Brasil, especialmente na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) refletindo o interesse por soluções descentralizadas de saneamento no contexto acadêmico. A minoria dos trabalhos avaliou sistemas de banheiros secos com separação na fonte, especialmente vasos separadores de urina, destacando fragilidade de pesquisas envolvendo o potencial para recuperação de nutrientes e redução da poluição hídrica.

Os resultados da literatura analisada evidenciaram uma predominância de estudos direcionados à caracterização da urina em sistemas de banheiros secos, seguida por pesquisas envolvendo fezes compostadas e, em menor proporção, investigações que analisam conjuntamente ambos os subprodutos. Essa tendência reflete o crescente interesse na urina humana como fonte concentrada de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio, além de sua menor carga patogênica quando comparada às fezes, o que favorece estratégias de recuperação e reuso agrícola (LOURO; VOLSCHAN JUNIOR; ÁVILA, 2012; MAGRI, 2013).

Os parâmetros físico-químicos mais frequentemente avaliados nos estudos incluíram pH, nitrogênio total, fósforo e potássio, indicando que a maioria das pesquisas tem como foco principal a avaliação do potencial fertilizante e da estabilidade dos subprodutos. Em contrapartida, parâmetros como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais e sólidos voláteis foram menos recorrentes.

De forma consistente, os estudos relatam aumento dos valores de pH ao longo dos processos de compostagem das fezes e durante o armazenamento da urina, condição que contribui para a inativação de microrganismos patogênicos e para a higienização dos subprodutos. Esse comportamento é amplamente descrito na literatura como um fator-chave para a segurança sanitária do reuso agrícola, especialmente em contextos descentralizados de saneamento ecológico (SCHONNING e STENSTRON, 2004; ALVES, 2009).

No que se refere à composição nutricional, a urina destacou-se como a principal fonte de nitrogênio e fósforo, enquanto as fezes compostadas apresentaram maior contribuição relativa para o aporte de matéria orgânica, fundamentais para a melhoria da estrutura e da fertilidade do solo. Esses resultados

corroboram estudos que apontam a complementaridade entre os subprodutos, sugerindo que estratégias integradas de manejo podem maximizar a recuperação de nutrientes (SMITH, 2015; OTA, 2018).

A análise comparativa também evidenciou que fatores operacionais, como tempo de retenção, relação carbono/nitrogênio, adição de materiais estruturantes e condições de aeração, exercem influência significativa sobre os parâmetros físico-químicos e a qualidade final dos subprodutos (NIWAGABA, 2009; LEMOS 2010; MAGRI, 2015). Entretanto, observou-se elevada heterogeneidade metodológica entre os estudos, especialmente quanto aos métodos analíticos, às unidades de apresentação dos resultados e aos limites de detecção adotados. Essa variabilidade dificulta comparações diretas e reforça a necessidade de padronização de protocolos analíticos para fortalecer a confiabilidade e a aplicabilidade dos resultados na área de saneamento ecológico.

De modo geral, os resultados indicam que os subprodutos de banheiros secos apresentam elevado potencial para recuperação de nutrientes e reuso agrícola, desde que associados a processos adequados de estabilização, higienização e monitoramento químico e sanitário.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa evidenciou que os sistemas de saneamento ecológico, em especial os banheiros secos com separação na fonte, apresentam elevado potencial para a recuperação de recursos e para a redução dos impactos ambientais associados aos sistemas convencionais de saneamento. A revisão sistemática da literatura demonstrou que os subprodutos gerados, como fezes compostadas e urina desviada, podem ser reaproveitados com segurança e eficiência, desde que submetidos a processos adequados de estabilização e monitoramento.

Os dados obtidos reforçam a necessidade de ampliar e aprofundar as análises químicas ambientais como ferramentas centrais para o acompanhamento desses sistemas. A caracterização físico-química mostrou-se essencial para avaliar a estabilidade da matéria orgânica, a recuperação de nutrientes e a viabilidade de reuso agrícola dos subprodutos. Parâmetros como pH, sólidos, carbono orgânico

total e macronutrientes (N, P, K) são fundamentais para garantir a segurança ambiental e sanitária, bem como para orientar boas práticas operacionais.

Além disso, a revisão evidenciou a importância de uma avaliação mais aprofundada da recuperação de fósforo, incluindo a análise de sua forma química e biodisponibilidade, bem como comparações com fertilizantes fosfatados convencionais. Considerando que o fósforo é um recurso finito e estratégico, estudos comparativos são fundamentais para consolidar o uso de subprodutos de banheiros secos como alternativas viáveis e sustentáveis na agricultura.

Outro aspecto relevante identificado foi a necessidade de quantificação e monitoramento de compostos químicos presentes na urina, especialmente aqueles oriundos do uso de fármacos e produtos de cuidado pessoal. Mesmo após processos de armazenamento e tratamento, a presença desses compostos pode representar riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente, o que reforça a importância de análises químicas mais abrangentes e específicas para garantir a segurança do reuso.

Dessa forma, conclui-se que as análises químicas ambientais desempenham um papel fundamental no saneamento ecológico, atuando como instrumentos de monitoramento, controle de riscos e validação técnica dessas tecnologias. A ampliação e padronização dos protocolos analíticos são essenciais para fortalecer a confiabilidade científica, promover a proteção da saúde pública e ambiental e viabilizar a ampliação de soluções baseadas na recuperação de recursos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Tânia e João, por terem escrito as primeiras linhas da minha vida, agradeço todo o infinito amor e dedicação, por serem meus maiores professores, e sempre incentivaram meus sonhos, por me motivarem e apoiarem minhas escolhas e por muitas vezes acreditarem mais em mim do que eu mesma.

Agradeço ao professor orientador Dr. Leonardo Santos Andrade, que me acolheu com muito carinho quando lançado o desafio da pesquisa e incentivou muito as atividades durante a elaboração deste estudo.

Agradeço imensamente à professora coorientadora Dra. Maria Magri por todo o aprendizado, dedicação e confiança, e as valiosas sugestões para a construção deste trabalho.

A todo o corpo docente, e servidores da Universidade Federal de Catalão, sobretudo, aos professores que fizeram parte dessa pós-graduação a distância e que contribuíram e muito na minha formação, por proporcionarem um ensino de qualidade, público, em um ambiente virtual acolhedor e amigável.

REFERÊNCIAS

- ALVES, B. S. Q. **Banheiro Seco: Análise da eficiência de protótipos em funcionamento**. 2009, 179f. Monografia de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC, 2009.
- AMATUZI, B.; BOTEAGA, J. L.; CELANTE, L. S. **Implementação de banheiro seco como proposta de Saneamento Ecológico**. 2013, 61f. Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnologia em Gestão Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Medianeira, PR, 2013.
- COPETTI, A. D. **Precipitação da estruvita a partir da urina: Recuperação de fósforo e inativação de microrganismos patogênicos**. 2023, 55f. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC, 2023.
- ESREY, S. A.; ANDERSSON, I., HILLERS, A., SAWYER, R. **Closing the loop Ecological Sanitation for food security**. Water Resources nº18. Estocolmo, Suécia - SIDA: Swedish International Development Cooperation Agency, 2001.
- ESREY, S. A.; *et al.*,. **Ecological Sanitation**, 1ª ed. Estocolmo, Suécia: SIDA, 1998.
- FERREIRA, F. D. G. **Da privada à fertilização: Um olhar da Permacultura para o saneamento ecológico como fonte de produção de nutrientes para fins de fertilização**. 2024. 68f. Monografia, Curso de Especialização em

- Permacultura. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2024.
- JENKINS, J. **The Humanure Handbook: A guide to composting human manure**. 3. ed. Grove City: Joseph Jenkins Inc., 2011.
- LE MOS, S. S. **Estudo de Banheiro Seco e desenvolvimento de materiais de capacitação para sua implantação e aproveitamento dos subprodutos gerados**. 2010. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2010.
- LOURO, C. A. L.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; ÁVILA, G. M. Sustentabilidade Ambiental: Estudo sobre o aproveitamento de nutrientes da urina humana para fins agrícolas. **Revista Eletrônica Sistemas e Gestão**. v.7.n.3.p. 440-447, 2012.
- MACHADO, Gustavo C. X. M. P. **Somos Natureza: Soluções baseadas na Natureza para o desenvolvimento local**. Rio de Janeiro: Bambual, 2022.
- MAGRI, M. E. **Aplicação de processos de estabilização e higienização de fezes e urina humanas em Banheiros Secos Segregadores**. 2013. 195f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, SC, 2013.
- MAGRI, M. E.; FRANCISCO, J. G. Z.; SMITH, R. E.; VIEIRA, F. J.; BARARDI, C. R. M.; PHILIPPI, L. S. Avaliação de um modelo de banheiro seco separador e processos de tratamento de fezes e urina humanas. **Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES**, Rio de Janeiro: RJ, outubro, 2015.
- MARQUES, J. L. **Estudo de Caso: Diagnóstico do uso e manejo de sanitário compostável localizado em Ratones, Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC, 2010.
- NIWAGABA, C. B. **Treatment Technologies for Human Faeces and Urine**. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden, 2009.
- OTA, L. A. M. **Prospecções e aplicações para o saneamento seco no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade

- Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2018.
- REBOUÇAS, T. C. **Estabilização e higienização de fezes humanas através de compostagem em regime de batelada**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória: ES, 2010.
- REBOUÇAS, T. C.; LIMOEIRO, K. S.; FONTANA, G. H.; REBOUÇAS, C. C.; GONÇALVES, R. F. Estabilização de fezes humanas através de compostagem em regime de batelada. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación desarrollo y práctica**, vol. 4, n. 2, 57 – 67, dezembro, 2011.
- SÁ, M. C. **Avaliação da qualidade do composto e dos aspectos construtivos e operacionais de Banheiros Compostáveis**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Tecnologia. Limeira, SP: 2011.
- SANTOS, T. C. **Compostagem de fezes humanas provenientes de banheiro seco: Uma abordagem do saneamento ecológico**. 2021. 14f. Graduação em Ciências Biológicas. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Avaré, SP, 2021.
- SCHONNING, C.; STENSTROM, T. A. **Diretrizes para o uso seguro de urina e fezes nos sistemas de Saneamento Ecológico**. Instituto Ambiental de Estocolmo: EcoSanRes. Estocolmo, Suécia, 2004.
- SMITH, R. E. **Avaliação de um Banheiro Seco com vaso segregador em Florianópolis, SC**. 2015. 14f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, SC, 2015.
- TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo, 2018.
- WHO. World Health Organization. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater**. v.4. Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2006.

Disponível

em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78265/9241546859_eng.pdf>

Acesso em: 11.dez.2025.