



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

CONCEPÇÃO DE UM PRODUTO DE BIODSÓLIDO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA

Grasiele da Silva Gouveia

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Maria Magdalena Ribas Doll

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Resumo: No sistema de esgotamento sanitário usual do adensamento populacional urbano em cidades gera lodo de esgoto urbano nas estações de tratamento de esgoto, que depois de tratado recebe o nome de biossólido. O descarte deste material sólido pulverulento em aterros sanitários ou em solos agricultáveis como fertilizante é bastante discutido na comunidade técnica-científica. Para ser aplicado na agricultura é necessária uma fiscalização rigorosa por parte do gerador das áreas em que ele é aplicado. A aplicação do biossólido é feita de modo manual à lanço em pequenas áreas por pequenos produtores. Ou ainda, pode ser aplicado por máquinas calcareadeiras e, por ser um material em pó, pode facilmente ser dispersado pelo vento contribuindo para contaminação ambiental e de operadores. Este trabalho teve como objetivo conceber um produto granulado para promover a aplicação mecanizada, a segurança na aplicação por ser um material estruturado e não em pó a partir de materiais aglutinantes biodegradáveis. A pesquisa teve caráter exploratório, e a interpretação dos resultados foram qualitativos com comparações subjetivas pelos pesquisadores. Como resultados destacam-se que foi possível estabelecer uma metodologia contundente de produção do material e, o tratamento que mais apresentou melhor estruturação, moldagem e reprodutibilidade dos grânulos foi o amido de mandioca. Destaca-se que outras formulações e aglutinantes estão sendo avaliadas.

Palavras-chave: Biossólido, Desenvolvimento de Produto, Fertilizante, Sustentabilidade.

DESIGN OF A SEWAGE SLUDGE PRODUCT FOR AGRICULTURAL USE

Abstract: In the usual sanitary sewage system of urban population in cities, it generates urban sewage sludge in sewage treatment plants, which after treatment is called biosolid. The disposal of this powdery solid material in landfills or in arable soils as fertilizer is widely discussed in the technical-scientific community. To be applied in agriculture, a stringent inspection of the areas where it was applied is necessary by the generator. The biosolids application is done manually by laughing in the small areas by small producers. Or even, it can be applied by calcareous machines and, as it is a powdery material, it can be easily spread over area by the wind, contributing to environmental

contamination. This work aimed to design a granulated product to promote mechanized application, safety in application as it is a structured material and not powdered from biodegradable binder materials. The research had an exploratory character, and the interpretation of the results were qualitative with subjective comparisons by the researchers. As result, it was highlighted that it was possible to establish a methodology to produce the product. The treatment that presented the best structuring, molding and reproducibility of the granules was cassava starch. It is noteworthy that other formulations and binders are being evaluated.

Keywords: Biosolid, Product Development, Fertilizer, Sustainability

1. Introdução

O aumento da população de forma consistente, acarretou numa popularização do saneamento básico que se disseminou de modo rápido, se tornando um parâmetro decisivo para a qualidade de vida de uma população (DIAZ; NUNES, 2020).

Com a urbanização, houve um acúmulo de problemas nos centros urbanos, devido a demanda por infraestrutura e os serviços urbanos, sendo um problema a poluição de mananciais causada por despejo de esgoto urbano (BETTIOL e DE CAMARGO, 2006).

Por consequência do aumento da população, aumentou-se a produção de resíduos sólidos e líquidos, que são materiais oriundos dos sistemas de tratamento de água e de esgoto. Segundo (GODOY, 2013) um ser humano, gera aproximadamente 120 g de sólidos secos diários que são lançados nas redes de esgoto para tratamento.

As normativas influentes na legislação quanto o descarte correto do lodo, atuam sobre as estações de tratamento de esgoto (ETE), que são grandes geradoras de resíduos sólidos. A NBR 12209 estabelece as instruções e normativas para as ETE, a fim de padronizar e regulamentar processos de tratamentos, separação de sólidos por meios físicos, filtração biológica, lodos ativados e o próprio tratamento de lodo. (ABNT, 1992).

A destinação final do lodo em aterros sanitários ou em solos agrícolas precisa ser administrada controladamente no meio ambiente, pois mesmo que o lodo seja estabilizado e tratado nas ETE seu descarte precisa ser monitorado para não tornar um problema ambiental (ANDREOLI, 1999).

O descarte do lodo é pauta de várias pesquisas, a fim de encontrar um método de descarte mais sustentável. O comportamento do lodo quando utilizado na produção de cerâmicas vermelhas foi estudado por Oliveira (2022). Os resultados encontrados foram favoráveis para a reciclagem do lodo, porém em pequena quantidade para que não seja alterado as propriedades físicas/químicas da cerâmica.

Outro estudo realizado foi a utilização do lodo higienizado (caleado com adição de cal virgem para eliminar patogênicos) chamado de biossólido, para recuperação de solo no semiárido. Os autores concluíram que o biossólido melhorou as propriedades do solo e das plantas que apresentaram diâmetros maiores e caules mais grossos (SILVA *et al.*, 2021).

A abordagem do biossólido como regularizador de solo, é extremamente benéfica, pois além de conferir nutrientes ao solo, ele auxilia no desenvolvimento de características físico-químicas do material plantado auxiliando nas atividades de crescimento da planta (ANDREOLI, 1999). Porém, o emprego do biossólido como fertilizante segundo a Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) obriga que haja controle por meio de mapeamento e monitoramento das áreas de aplicação.

Pela referida resolução, o processo de gerenciamento do lodo, a higienização com cal virgem nas UGL (Unidades Gerenciadoras do Lodo), o transporte do biossólido para áreas

agrícolas e o controle dos seus efeitos por prazo indeterminado em solos são de responsabilidade do gerador. (ANDREOLI, 1999).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi conceber um produto ecológico e de aplicação mais segura a partir do bio sólido de uso agrícola, que denominaremos de *smart sludge* ou lodo inteligente.

A metodologia utilizada foi a realização de ensaios prévios de concepção para estabelecer um processo produtivo com moldes reprodutíveis com características desejáveis em fertilizantes granulados, tais como resistência, absorção de água e esfarelamento.

Este artigo está dividido em 4 seções. A primeira seção é responsável por contextualizar o tema geral trabalhado abordando a origem do produto, uma breve descrição sobre a problemática enfrentada pelas companhias de saneamento de destino do lodo e o objetivo desta pesquisa. A segunda seção, traz uma revisão teórica que identifica as origens históricas de saneamento e produção do lodo. Na terceira seção há a metodologia adotada, assim como o procedimento experimental no laboratório. A quarta seção é destinada a apresentação de resultados e discussões encontrados nesse trabalho.

2. Materiais e Métodos

Descrição do bio sólido de esgoto

O bio sólido foi coletado na UGL da ETE Olarias na cidade de Ponta Grossa gerenciada pela Companhia de Saneamento local, que cedeu um lote de aproximadamente 20 kg para os ensaios prévios de concepção do *smart sludge*.

O bio sólido era proveniente do tratamento de esgoto das ETE do município. Em geral, os sistemas que geram lodo são reatores anaeróbios, conhecidos como RALF (reator anaeróbio de leito fluidizado), lagoas de estabilização e sistemas físico-químicos como coagulação.

Para estabilizar e higienizar o lodo, o processo utilizado é a estabilização alcalina prolongada, que equivale à adição de óxido de cálcio (cal) com um misturador móvel, e armazenamento de pelo menos 30 dias. Este procedimento é usado para desinfetar o lodo pelo aumento de temperatura devido a caleação ser uma reação exotérmica. A Tabela 1 mostra a temperatura e o tempo necessários para destruir os microrganismos patogênicos comumente encontrados no lodo de esgoto (BOFF, 2021).

Tabela 1 - Temperatura e tempo de manutenção para a destruição de organismos patogênicos.

Organismo	Tempo (min.)	Temperatura (°C)
1. Salmonella typhosa	Instantâneo	55 a 60
	30	46
2. Salmonella spp.	15 a 30	60
	60	55
3. Shigella	60	55
4. Escherichia coli	5	70
	15 a 20	60
	60	55
5. Entamoeba histolytica (cistos)	Instantâneo	68

6. Taenia saginata	5	71
7. Trichinella spiralis (larvas)	Instantâneo	62 a 72
	60	50
8. Necator americanus	50	45
9. Brucella abortus	50	45
10. Estreptococos fecais	60	70
11. Coliformes fecais	60	70
12. Ascaris spp. (ovos)	60	55
	7	60

Fonte: Andreoli (1999)

Após o período de armazenamento, a UGL responsável realiza amostragem para caracterização de bioossólido dos parâmetros agrônômicos e patogênicos a fim de garantir que o produto seja seguro para uso no solo.

O bioossólido utilizado nesta pesquisa atendia os limites dos parâmetros agrícolas e dos agentes patogênicos, como menos de 1000 número mais provável (NMP) por grama de coliformes termotolerantes, menos de 0,25 ovos/g de ovos viáveis de helmintos e ausência de *Salmonella*.

Em laboratório, uma solução preparada de 0,4% (p/v) com 1 g de bioossólido e 250 mL de água destilada foi usada para análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que determina a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes desta solução, condutividade elétrica, turbidez e potencial de hidrogênio (pH) segundo metodologias de APHA (2012).

Preparo do bioossólido coletado

No laboratório, os 20 kg de bioossólidos coletados na ETE Ronda foram separados e uma parte de 2 kg foi selecionada para ensaio de granulometria conforme NBR 7181 (ABNT, 2016), sendo 1 kg *in natura* (granulometria natural coletada na UGL) e 1 kg após maceração (em granulometria de 0,59 mm) em almofariz e pistilo em movimentos circulares.

Para atingir tal granulometria, a massa de 1 kg de bioossólido foi peneirada em um conjunto de 10 peneiras ABNT dispostas em ordem crescente de diâmetro e o fundo sem malha. As peneiras possuíam diâmetros de 0,074 a 19,1 mm, como é possível observar na Figura 1. A peneira de 0,074 mm, era a peneira que possuía menor diâmetro de abertura, o material passante que possuía granulometria menor do que 0,074 mm e ficava retido no fundo.

Figura 1 – Conjunto de peneira utilizado para ensaio



Fonte: As autoras (2021).

Para que as partículas se rearranjassem e se depositassem por gravidade em cada peneira foi aplicada uma vibração no conjunto de peneiras. Dessa forma, foi possível determinar a curva granulométrica do material por quantidade de material retido com os dois diferentes estados do biossólido. Por cálculos, foi possível determinar o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc) em ambos os estados do biossólido (*in natura* e macerado).

Ensaio prévios

Como o objetivo dos ensaios prévios era obter moldagem de um produto granuloso de biossólido, não foi racionada a quantidade de material coagulante utilizado nem a quantidade de água. Os materiais testados estão apresentados na Tabela 2.

A massa de biossólido foi colocada em um béquer, depois eram acrescentados os aglutinantes por sua vez. Logo, foi acrescentado água em cima do amido, e misturado manualmente com auxílio de um bastão de vidro. Essa massa foi moldada em formato cilíndrico e colocada em um papel do tipo guardanapo, para absorver a quantidade de água que porventura estava em excesso.

Tabela 2 – Ensaio prévios com aglutinantes orgânicos biodegradáveis para moldagem de grânulos de biossólido.

Material aglutinante	Quantidade de biossólido macerado (g)	Quantidade de aglutinante (g)	Quantidade de água (mL)
Amido de mandioca	5,0		1,6 a 4,0
Farinha de trigo	5,0	0,5 a 2,0	Até a consistência desejada
Biomassa de banana verde	5,0 a 9,16	0,77 a 5,0	Até a consistência desejada
<i>Aloe vera</i>	5,5	2,0	1,5

A biomassa foi preparada com bananas verdes *Musa paradisiaca*, popularmente conhecida como banana nanica. As bananas foram cozidas e maceradas.

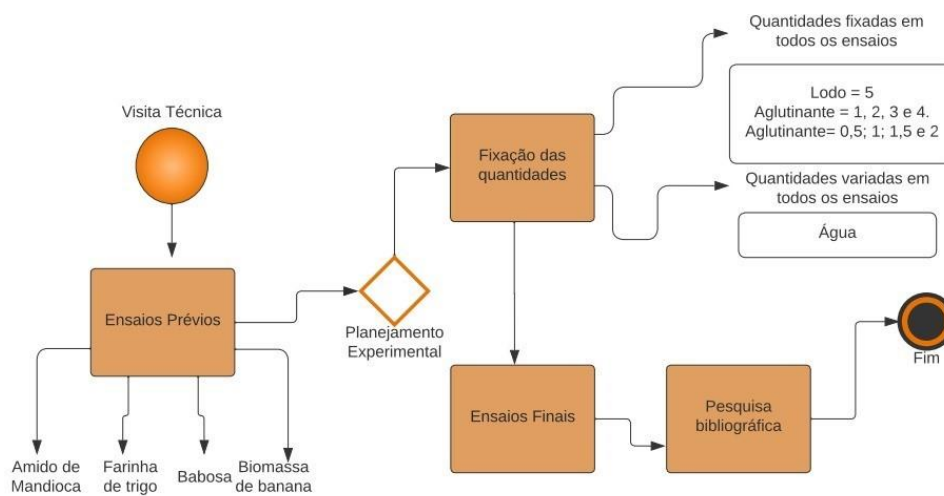
Os ensaios realizados com a *Aloe vera* (babosa), teve sua realização maneira seguinte, foi descascado a babosa e armazenado o gel interno das folhas sem as cascas verdes.

Procedimento experimental

Todas as atividades foram planejadas e estão apresentadas em um fluxograma (Figura 2), desde as fases iniciais com a visita técnica à UGL até os ensaios prévios em laboratório.

Foi determinada como padrão o tamanho de partícula do biossólido para cada coagulante. Em seguida, foram realizados testes preliminares com amido de tapioca, *Aloe vera* (babosa) e biomassa de banana verde.

Figura 2 – Fluxograma das etapas experimentais

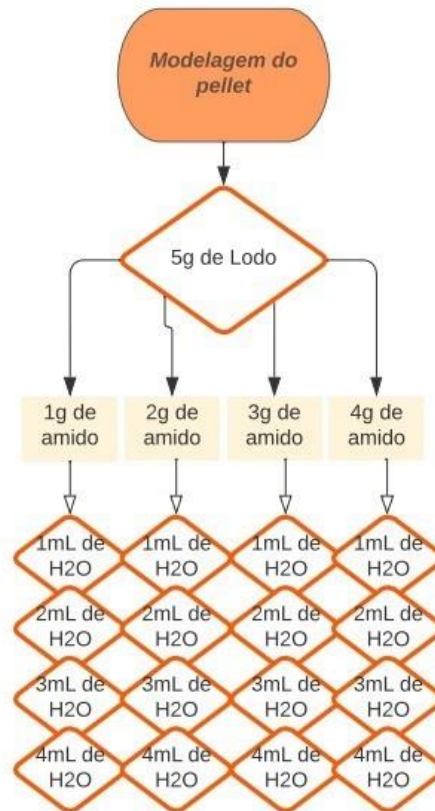


Fonte: As autoras (2021).

Os primeiros ensaios de moldagem dos grânulos ou *pellets* foram realizados com todos os aglutinantes com algumas variações nas formulações. Essas variações ocasionaram um número grande de ensaios, porque foram realizadas em *quintuplicata* para cada combinação, gerando um total de 80 ensaios para cada aglutinante (Figura 3).

Após a moldagem manual das formulações, os moldes eram armazenados em um lugar fresco e arejado para secagem em temperatura ambiente para verificar taticamente e visualmente a estrutura ao longo do tempo de secagem. Para se ensaiar moldagem com biossólido e amido de mandioca, precisou-se controlar a temperatura da água.

Figura 3 – Diagrama de realização de ensaio



Fonte: As autoras (2021)

3. Resultados

A análise de demanda química de oxigênio (DQO) da solução de 0,4% de biossólido filtrada foi de 0,028 mg/L, sendo considerado um valor baixo. A condutividade elétrica que consiste na capacidade de transportar corrente elétrica foi de 162,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a turbidez foi de 3,95 NTU. Já o pH foi de 8,40, que é um valor de uma solução com valor alto de alcalinidade, pois o biossólido é higienizado com cal virgem na Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), entretanto o valor está no limite permitido pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que é de 5,0 a 9,0 para lançamento de efluentes.

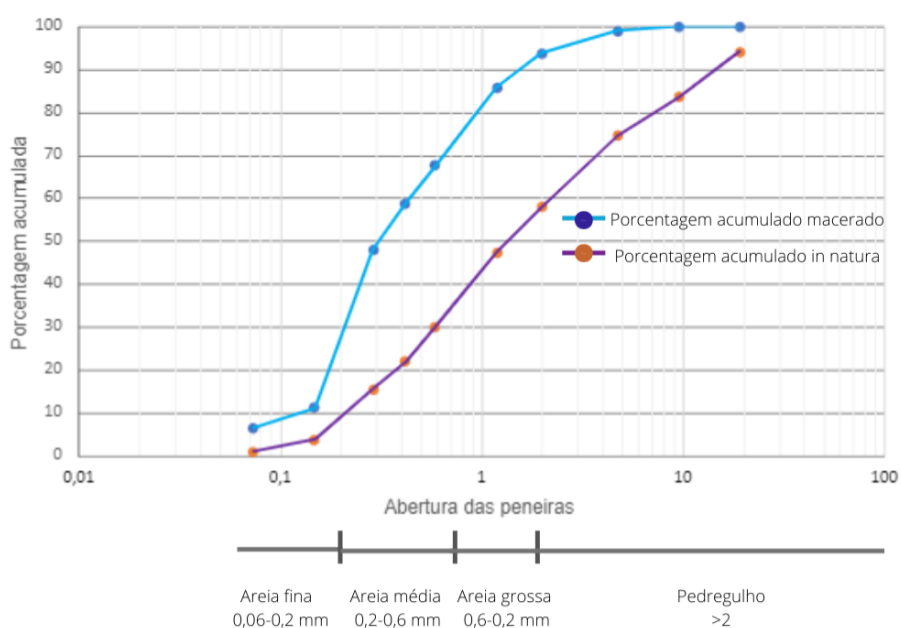
Quanto à granulometria do biossólido macerado, a peneira de 0,59 mm apresentou a menor diferença de média de granulometria, a maior quantidade de material retido e nesta granulometria se encontra o valor de mediana.

Por meio da curva granulométrica do biossólido natural e macerado, foi analisado o coeficiente de uniformidade (Cu). Segundo NBR 7181 (ABNT, 2016) um solo muito uniforme apresenta Cu inferior a 5, quando o solo apresenta Cu dentro do intervalo 5-15 ele é caracterizado como um solo com uniformidade média e quando Cu ultrapassa 15, trata-se de um solo desuniforme.

O biossólido natural apresentou coeficiente de uniformidade de 2,75, valor característico de solos muito uniformes e seu coeficiente de curvatura calculado foi de 0,72 que é semelhante a um solo mal graduado com bastante vazios. Já o biossólido macerado, gerou um material, com o coeficiente de uniformidade 10 esse valor é característico de um solo com uma uniformidade média com coeficiente de curvatura calculado de 0,82, este coeficiente é característico de um solo mal graduado com bastante vazios. No gráfico da Figura 4 é possível afirmar que o biossólido natural apresentou uma maior quantidade material de granulometria de pedregulho, já o biossólido macerado apresentou uma maior quantidade

de granulometria de areia média, e ambos apresentam quantidades semelhantes de areia fina.

Figura 4 - Curvas granulométricas nos dois estados.



Fonte: As autoras (2021).

Na Figura 5, é possível ver os ensaios realizados com o amido de mandioca, os ensaios que ficaram mais próximo do ideal foram os ensaios cujas formulações foram 5:1:4 e 5:3:4, de biosólido:aglutinante:água, respectivamente.

Figura 5– Moldes de diversas formulações e aglutinantes.



Fonte: As autoras (2022).

Durante a moldagem das formulações, observou-se que quando foi usado a farinha de trigo, a quantidade de água interferiu de maneira significativa na moldagem, porque o trigo absorve uma quantidade maior de água da mistura. Na Figura 5, é possível ver que os moldes feitos com a farinha de trigo, apresentaram um halo menor de liberação de água durante a secagem em temperatura ambiente. O uso de amido de mandioca propiciou um molde de consistência adequada de moldagem sem liberação de água em excesso, como pode-se observar que ocorreu com a biomassa de banana verde.

Para se ensaiar moldagem de biossólido e biomassa de banana, a água é um fator crucial, porque a biomassa já possui sua própria água. Assim a quantidade da água na mistura precisa ser mais controlada. A formulação com biomassa mais adequada para moldagem foi a 5:3:1,5 de biossólido:biomassa:água.

O aglutinante *Aloe vera* não apresentou moldagem da massa. Assim, optou-se por descartar os resultados com esse aglutinante. Além disso, o molde com este aglutinante foi friável, não apresentou nenhum tipo de resistência ao cisalhamento manual, se desestruturando ao toque mínimo após seco.

5. Conclusões

Todos os aglutinantes foram testados e os moldes resultantes observados úmidos e secos. O amido de mandioca apresentou um molde de consistência adequada e não friável após seco, o que é uma característica adequada quando se pensa em armazenamento em sacos, transporte e manuseio do produto comercial. A baixa friabilidade indica que sob pressão o molde formulado com amido de mandioca se mostrou muito resistente, além de que não liberou pó após seco, nem sobre a fricção dos dedos.

A *Aloe vera* não moldou. Os ensaios com a farinha de trigo não foram tão satisfatórios quanto a tapioca, devido a retenção de água do trigo e devido ao molde ficar muito resistente após seco. O ensaio de biomassa de banana, acabou não correspondendo às expectativas, em razão de que os ensaios prévios foram caracterizados com o a biomassa ainda no estado fresco. Outros ensaios foram realizados com a biomassa congelada, o que não foi um procedimento adequado, pois a água liberada da biomassa após seu descongelamento foi bastante variável.

Referências

ANDREOLI, C V. Companhia de Saneamento do Paraná (org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: Finep/Prosab, 1999. 98 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 7181: **Solo- Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Washintong DC: APHA; Water Environment Federation, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 9251: **Água - Determinação do pH - Método eletrométrico**. Rio de Janeiro, 1986.

BETTIOL, W; DE CAMARGO, O A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. Embrapa Meio Ambiente- Capítulo em livro científico (ALICE), 2006.

BOFF, L. K. C. **Projeto Agrônômico Nº:09/2021 UGL ETE RONDA**. Ponta Grossa: Sanepar, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de

efluentes. Resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008: 2. ed. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF. 2008.

FRAGOSO, L. D. V; GONÇALVES V. D. C. N. A.; PELEGRINA, O. J.; RISSATO, R. S. Luminol: Possíveis Interferentes no Estudo do Sangue Humano. **Revista Brasileira de Ciências Forenses, Direito Médico e Bioética**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 111-129, 2021.

OLIVEIRA, D. M. L. **Valorização de resíduos na indústria da cerâmica vermelha: Caracterização da plasticidade de tarugos com adição de lodo de esgoto através de ensaios de deformação e reologia**. 2022. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022.

SILVA, V. E. P. S. G. *et al.* **Influência do lodo de esgoto, como substrato, na recuperação de uma comunidade vegetal do semiárido**. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia, Ciências Agrícola, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, 2021.

VIEIRA P, B.; GODOY, J. M.; CLEMENTE DE ALMEIDA, M. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2006.