

EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM SOLOS ARENOSOS SOBRE A MASSA SECA DE AZEVÉM

MARCELA ROCHA MARTINEZ¹; LORRAN DE LIMA TRECHA²; KAROLINE FARIAS KOLOSZUKI MACIEL³; LUANA CENTENO CECCONELLO⁴; IVAN DOS SANTOS PEREIRA⁵; ADILSON LUÍS BAMBERG⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – marcela.martinez@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – lorrantrecha@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – karolinefkmaciell@gmail.com

⁴Embrapa Clima Temperado – luananunescenteno@gmail.com

⁵EMATER/RS – ivanspereira@gmail.com

⁶Embrapa Clima Temperado – adilson.bamberg@embrapa.br

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos e água potável impõe desafios significativos para a gestão sustentável dos recursos naturais, como a água para consumo humano, exigem processos rigorosos de purificação, incluindo a adição de coagulantes, como o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), que promove a floculação de impurezas e resulta na formação de Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) (KLEEMANN et al., 2020). Os LETAs possuem argila, silte, matéria orgânica e uma quantidade razoável de nutrientes (WU et al., 2025). Embora não possam ser considerados como fertilizantes, quando aplicados em doses consideráveis ($>10 \text{ ton ha}^{-1}$) esses resíduos possuem propriedades condicionadoras do solo, podendo melhorar a retenção de água, aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) e melhorar a estrutura de solos frágeis, como os arenosos (ROCHA et al., 2021).

No entanto, para sua aplicação agrícola, é necessário um tratamento prévio, incluindo a correção do pH, para garantir que sua utilização não cause impactos negativos nos solos (MELO et al., 2025). A legislação ambiental tem avançado nesse sentido, sendo o Rio Grande do Sul o primeiro estado do Brasil a regulamentar a aplicação de LETAs em solos agrícolas. Esse avanço normativo permite que esses materiais, originalmente considerados resíduos, possam ser reaproveitados como insumos agrícolas, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica (RIO GRANDE DO SUL, 2022).

Os LETAs são compostos por sedimentos naturais oriundos de mananciais hídricos, sendo ricos em argilominerais e em elementos como óxidos de alumínio, ferro e manganês (MINTO et al. 2023). A solubilidade em água depende primariamente das condições do pH do meio, e a disponibilidade desses três elementos pode ser gerenciada por práticas agronômicas adequadas, como a correção alcalina (IPPOLITO et al., 2011). A reutilização de LETAs no setor agrícola também se alinha aos princípios da economia circular, reduzindo custos operacionais das companhias de saneamento e minimizando a sobrecarga dos aterros sanitários (Minto et al., 2023). Atualmente, o descarte desse material representa um passivo ambiental significativo. Apesar dos avanços recentes proporcionados por estudos como os de Kleemann et al. (2020) e Ribeiro et al. (2022), não há informações sobre a eficácia da aplicação de doses mais elevadas ($> 60 \text{ ton ha}^{-1}$) sobre o desempenho agronômico das culturas agrícolas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a produtividade de massa seca da parte aérea de azevém sob aplicação de doses crescentes de lodos de estações de água (LETAs), com pH corrigido e não corrigido, sobre um solo arenoso, de baixa fertilidade natural.

2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado, localizada em Capão do Leão, RS. O solo utilizado foi classificado como Neossolo Quartzarênico, de textura arenosa e baixa fertilidade, típico de regiões costeiras de deposição quartzosa, apresentando baixa capacidade de retenção de nutrientes e de água. Essas características tornam o solo apropriado para estudar o efeito de lodos de ETA (LETAs). Os LETAs foram obtidos de leitos de secagem da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), Rio Grande, RS. O lodo foi seco até atingir teor de umidade inferior a 20%, moído e peneirado a 0,3 mm para facilitar a incorporação, homogeneização, a aplicação uniforme nos baldes experimentais. Um lote representativo de LETA foi caracterizado quanto a pH, macro e micronutrientes, além de teores de metais pesados e íons metálicos disponíveis, para compará-los com a legislação vigente e assegurar que a sua aplicação mantenha a segurança ambiental.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com 2 Fatores de Tratamento: Fator 1: tipo de LETA (nível 1: corrigido e nível 2: não corrigido) a ser alocado na parcela; Fator 2: Dose de LETA, com quatro doses crescentes de LETAs (0; 30; 60 e 120 toneladas por hectare, em base seca), a ser alocado na subparcela. Cada tratamento teve quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Cada tratamento foi aplicado manualmente, incorporando-se a dose do lodo ao solo de forma homogênea em baldes de 10 L. A correção da acidez do solo foi realizada com calcário dolomítico, conforme necessidade determinada previamente, e a adubação complementar foi feita com cloreto de potássio (KCl) e superfosfato triplo (SFT) para elevar os teores trocáveis/disponíveis de P e K até o limite superior do nível “médio” de cada elemento (CQFS, 2016).

Sementes de Azevém (*Lolium multiflorum*) foram semeadas diretamente nos baldes na quantidade de 0,5 g por unidade experimental, sem desbaste posterior, mantendo a população de plantas intacta. Foram realizados quatro cortes da parte aérea, com intervalo de 28 dias entre cada corte, simulando o pastejo do gado, de modo que a altura das plantas foi mantida em 8 cm após cada corte. Após cada corte, foi aplicada ureia como fonte de nitrogênio (dose: 45 kg N ha⁻¹), para estimular a rebrota e a extração dos demais nutrientes do solo ao longo do ciclo experimental. A matéria seca da parte aérea foi determinada após cada corte, em estufa a 65°C ± 1°C por 72 h, até peso constante. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de comparações múltiplas de médias pelo Teste de Tukey, com nível de significância de 5% realizada por meio do *Software Winstat 1.0*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta a análise de variância (ANOVA) com as fontes de variação, os graus de liberdade (GL), a soma dos quadrados (SQ), o quadrado médio (QM), o valor da estatística F (F) e o valor-p (p), permitindo verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e suas interações com base na variabilidade explicada por cada fator em comparação com o erro experimental. Onde se observa que todos os fatores principais avaliados (TIPO DE LETA e DOSE), assim como sua interação (TIPO DE LETA × DOSE), foram significativos, além do efeito de bloco. Esse resultado indica que tanto o tipo de lodo aplicado quanto as doses influenciaram de forma significativa no acúmulo de massa seca da parte aérea de azevém, e que a resposta ao aumento das doses dependeu do TIPO DE LETA utilizado.

Tabela 1. Análise de variação (ANOVA) dos fatores de tratamento dose e tipo de LETA.

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
BLOCO	3	351,555	117,185	6,295	0,0032
TIPO DE LETA	1	342,762	342,762	18,414	0,00032
DOSE	3	623,187	207,729	11,160	0,00012
TIPO DE LETA.DOSE	3	185,966	61,988	3,330	0,039
RESIDUO	21	390,895	18,614		
TOTAL	31	1894,366			

Graus de liberdade (GL), a soma dos quadrados (SQ), o quadrado médio (QM), o valor da estatística F (F) e o valor-p (p).

O fator DOSE também foi significativo ($p < 0,001$), indicando que no aumento das doses promoveu ganhos de massa seca, mas a resposta foi diferente conforme o TIPO DE LETA utilizado. A interação TIPO DE LETA \times DOSE ($p = 0,039$) confirma esse padrão, demonstrando que as doses crescentes apresentam melhores resultados quando o resíduo passa pela etapa de correção.

Tabela 2. Valores médios da massa seca da parte aérea (g vaso^{-1}) de azevém cultivado em Neossolo Quartzarênico após a aplicação de LETAs com pH corrigido e não corrigido.

TIPO DE LETA	Massa seca de azevém (g vaso^{-1})	n. Obs	G1
COM PH CORRIGIDO	23,38	16	a
SEM PH CORRIGIDO	16,84	16	b

Conforme mostra a tabela 2, é evidente a importância da correção do PH dos LETAs como condição fundamental para o desenvolvimento da forrageira. O fator TIP_LETA apresentou efeito altamente significativo ($p < 0,001$), com médias superiores nos tratamentos com lodo corrigido em comparação aos não corrigidos. Essa diferença se refletiu diretamente na produtividade, uma vez que no uso de LETA corrigido resultou em maior acúmulo de biomassa, enquanto o LETA não corrigido apresentou valores consistentemente inferiores.

Tabela 3. Médias das variáveis avaliadas em diferentes doses, sob condições de pH corrigido e não corrigido.

Dose	Médias (pH corrigido)	nObs	G1	Médias (pH não corrigido)	nObs	G1
120	30,93	4	a	17,55	4	a
60	26,00	4	a	17,32	4	a
30	23,83	4	a	20,40	4	a
0	13,00	4	b	12,10	4	a

A Tabela 3 apresenta a diferença do desempenho do LETA corrigido e não corrigido nas diferentes doses aplicadas. No tratamento de LETA com corrigido, observa-se aumento crescente da massa seca acumulada de azevém à medida que as doses aumentam, partindo de 13 g na dose 0 (testemunha) para 23,38 g em 30 t ha^{-1} , alcançando 26 g em 60 t ha^{-1} e chegando a 30,92 g na dose de 120 t ha^{-1} . Essas respostas revelam um aumento positivo no aumento das doses, com diferenças significativas entre a testemunha e as doses aplicadas, confirmando o efeito benéfico da correção do pH. Já no não corrigido, a resposta às doses foi limitada, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. A produtividade variou de 12,1 g (testemunha) até 20,4 g (30t ha^{-1}), mas nas doses mais elevadas (60 e 120 t ha^{-1}) houve redução nos valores médios de massa seca de azevém,

permanecendo em torno de 17 g. Esse comportamento, provavelmente pode ser uma resposta de efeito fitotóxico dos teores disponíveis de elementos como alumínio, ferro e manganês. Assim, a comparação direta entre os dois tratamentos demonstra que o LETA só se torna um insumo eficiente após a neutralização da acidez, sendo essa etapa indispensável para garantir a produtividade e a segurança do uso agrícola.

4. CONCLUSÕES

O efeito positivo do LETA corrigido está associado à neutralização da acidez, no qual diminui a toxicidade de elementos e melhora a disponibilidade de nutrientes, favorecendo o acúmulo de biomassa pelo azevém. Enfatiza-se que a etapa de correção alcalina de LETAs é indispensável para reduzir riscos ambientais e garantir a produtividade da cultura, vislumbrando-se a possibilidade de aplicação de até 120 ton ha⁻¹ de LETA com pH corrigido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CQFS Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 2016. 375 p.

IPPOLITO, J. A.; BARBARICK, K. A.; ELLIOTT, H. A. Drinking water treatment residuals: a review of recent uses. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 1, p. 1–12, 2011

KLEEMANN, N.; TORRES, D.P.; RIBEIRO, A.S.; BAMBERG, A.L. Cold finger with semi closed reflux system for sample preparation aiming at Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, V and Zn determination in Drinking Water Treatment Sludge by MIP OES. **Analytica Chimica Acta**, v. 1096, p.9-17, 2020.

MELO, Raví Emanuel de; et al. Sewage Sludge Biochar Improves Water Use Efficiency and Bean Yield in a Small-Scale Field Experiment with Different Doses on Sandy Soil Under Semiarid Conditions. **Agriengineering**, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 227, 9 jul. 2025.

MINTO, A.; GILMOUR, D.; JORAT, M. E.; TIERNEY, I. Potential benefits and disbenefits of the application of water treatment residuals from drinking water treatment processes to land in Scotland: development of a decision support tool. **Sustainability**, v. 15, n. 12, p. 9268, 2023.

RIBEIRO, Pablo Lacerda et al. Water treatment residuals for ameliorating sandy soils: Implications in environmental, soil and plant growth parameters. **Geoderma**, v. 407, p. 115537, 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). **Resolução nº 461, de 19 de maio de 2022**. Define critérios e procedimentos para o uso de lodos gerados em estações de tratamento de água (LETAs) e seus produtos derivados em solos, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 15 jun. 2022.

ROCHA, Mateus do Carmo; DIAS, et al. Preliminary analysis of steelworks residues and their application in a sandy soil. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1-12, 3 maio 2021.

WU, Ting; et al. Soil organic carbon contents and their major influencing factors in mangrove tidal flats: a comparison between estuarine and non-estuarine areas. **Ecological Processes**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1, 7 fev. 2025.