

KARIN DA COSTA RIBEIRO FERRAZ

**USO AGRÍCOLA DE SORO DE LEITE: EFEITOS NO SOLO,
NA EMISSÃO DE CO₂, NA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E NA
PRODUÇÃO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Raphael B. Alves Fernandes

Coorientadores: Alisson Carraro Borges
Igor Rodrigues de Assis
Ivo Ribeiro da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

F368u Ferraz, Karin da Costa Ribeiro, 1992-
2021 Uso agrícola de soro de leite : efeitos no solo, na emissão de
CO₂, na biomassa microbiana do solo e na produção vegetal /
Karin da Costa Ribeiro Ferraz. – Viçosa, MG, 2021.
93 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Solos - Qualidade. 2. Águas Residuais. 3. Poliacrilamida.
4. Matéria orgânica do solo. 5. *Cynodon* spp. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.41

KARIN DA COSTA RIBEIRO FERRAZ

USO AGRÍCOLA DE SORO DE LEITE: EFEITOS NO SOLO,
NA EMISSÃO DE CO₂, NA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO E NA
PRODUÇÃO VEGETAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 05 de março de 2021

Assentimento:


Karin da Costa Ribeiro Ferraz
Autora


Raphael Bragança Alves Fernandes
Orientador

Aos meus pais Willian e Vicentina, sem os quais jamais teria tantas oportunidades e tão grande realização, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção e bençãos infinitas.

Aos meus pais, Willian e Vicentina pelo amor incondicional e toda dedicação a mim, sem medir esforços para conquista dos meus sonhos

À minha madrinha e irmã Sheila pelo amor e dedicação toda minha vida.

Ao Emerson pelo amor, paciência e compreensão todos os dias, por ser meu maior e melhor parceiro.

À Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, por toda estrutura e capacitação proporcionada.

Ao professor e amigo Raphael Fernandes, pela impecável orientação, excessiva paciência e amor incondicional em toda minha caminhada profissional e pessoal até aqui.

Aos professores Igor Rodrigues de Assis e Ivo Ribeiro da Silva, pela orientação, ensinamentos, paciência, cuidado, carinho e amizade de todos os dias.

Ao professor Alisson Carraro Borges, pelas contribuições e orientação.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Solos da UFV por todo zelo e dedicação em minha formação, em especial aos técnicos Claudio, Adriana e João Milagres e aos professores Victor Hugo e Júlio Neves.

Aos amigos e colegas dos Laboratório de Física do Solo, Recuperação Ambiental e Isótopos Estáveis. por todo o auxílio e os bons momentos compartilhados.

Ao professor Hudson Carvalho, Camila e toda equipe do Laboratório de Instrumentação Nuclear, CENA/Universidade de São Paulo pelos ensinamentos, contribuições e oportunidades.

Aos amigos, Laís Rodrigues, Aristides, Sandro, Rosemery, Heitor, Maisa, Augusto, Samuel, Yanara, Carlos Henriques, Amanda Abreu, Vanessa, Nayan, Rafael Teixeira, Ana Paula, e Fernanda Zeidan pelo companheirismo, parceria e amizade de sempre, mas principalmente pela compreensão de minhas ausências constantes.

Aos meus colaboradores Amanda, Gabriel, Lucas e Marcos, por toda ajuda nesse trabalho.

Ao Gustavo Mayrink, pela amizade, apoio, carinho, amor, paciência, cuidado, orientação e atenção sem limites, e sem o qual essa conquista não seria possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

KARIN DA COSTA RIBEIRO FERRAZ, filha de Willian Ribeiro e Vicentina Rodrigues da Costa Ribeiro, nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, em 17 de novembro de 1992.

Em março de 2013, iniciou sua graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa. Durante a graduação, foi estagiária dos Laboratórios de Melhoramento de Hortaliças, Cultura de Tecidos Vegetais e Proteção de Plantas na UFV e dos Laboratórios de Fertilidade e Física do Solo da Embrapa Milho e Sorgo. Foi bolsista de iniciação científica do Laboratório de Física do Solo. Graduou-se em julho de 2018, obtendo o título de Engenheira Agrônoma.

Em março de 2019, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado. Submeteu-se à defesa de dissertação em março de 2021.

RESUMO

FERRAZ, Karin da Costa Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2021. **Uso Agrícola de Soro de Leite: Efeitos no Solo, na Emissão de CO₂, na Biomassa Microbiana do Solo e na Produção Vegetal.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Igor Rodrigues de Assis, Ivo Ribeiro da Silva e Alisson Carraro Borges.

Um dos resíduos da produção de laticínios é o soro de leite, subproduto da separação de sólidos para a produção de queijos e afins. Quando não utilizado para outros fins na indústria, o soro de leite deve ter destinação ambientalmente adequada, e seu simples descarte em corpos d'água é proibido. As alternativas de tratamento deste efluente apresenta custos elevados e normalmente baixa eficiência, o que abre caminho para a busca de outras propostas. O reuso do soro de leite na fertirrigação do solo pode ser uma opção promissora do ponto de vista da nutrição vegetal e da qualidade do solo, tendo em vista sua carga orgânica e presença de nutrientes. Esta proposta também pode ser considerada ambientalmente adequada e economicamente viável. Entretanto por se tratar de um resíduo, estudos são requeridos para se avaliar as doses adequadas e os riscos associados, a fim de garantir uma boa resposta das culturas e uma adequação às normas ambientais. Como a presença de sódio é comum nos soros de leite da produção de queijos, efeitos negativos podem acontecer na qualidade física do solo. Para se tentar evitar esses efeitos, o uso de condicionadores agregantes pode ser avaliada. Uma substância que tem seu uso crescente com objetivo floculador é a poliacrilamida, designada pela sigla PAM. Embora todas as culturas possam receber o efluente, é interessante pensar naquelas de maior resistência e de sistema radicular vigoroso, como é o caso das gramíneas. Neste grupo, destacam-se as pastagens, cobertura que domina importante parte das terras no Brasil, mas em grande parte em situação de degradação. Esses ambientes demandam um bom manejo para se atingir altas produtividades, e o reuso de efluentes pode constituir em uma boa alternativa para a reposição de nutrientes no solo. O capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) é uma cultivar perene resistente, de capacidade elevada de rebrota e produção, e que pode apresentar excelente resposta com a adição do efluente. Diante de todo o exposto, o presente estudo objetivou avaliar o reuso agrícola de um efluente de soro de leite e seus efeitos sobre a produção vegetal, a qualidade

do solo, a emissão de CO₂ e a biomassa microbiana do solo. O presente estudo foi dividido em três capítulos que foram constituídos a partir de um mesmo experimento. O primeiro capítulo teve o objetivo de avaliar o efeito da adição de doses de soro de leite na presença e ausência de PAM sobre a qualidade física e química de solos. O segundo buscou-se avaliar o impacto da aplicação de soro de leite no solo sobre o fluxo de dióxido de carbono do solo e a dinâmica da biomassa microbiana do solo. E, no terceiro, o objetivo foi avaliar o desenvolvimento e os teores de nutrientes no capim Tifton 85 em resposta à aplicação de doses de soro de leite. O experimento foi montado em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Dois Latossolos Vermelho-Amarelos foram utilizados nos ensaios, ambos coletados na camada de 0 a 20 cm. O primeiro solo era de textura muito argilosa, e foi coletado em Viçosa – MG e, o segundo, de textura média, foi coletado em Três Marias, MG. Os solos foram dispostos em vasos e receberam adubação e correção e, após um período de incubação, foram plantadas mudas do Tifton 85. Os tratamentos foram formados pela combinação do uso ou não do PAM (um litro de solução 0,1 g/L por vaso) e cinco doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha). O PAM e as doses de soro foram aplicadas semanalmente. As plantas foram cultivadas por 120 dias, sendo submetidas a dois cortes intermediários aos 40 e 80 dias. No primeiro capítulo foi avaliado o efeito das doses de soro de leite e PAM na qualidade química e física do solo. Os resultados indicaram que o PAM pouco influencia as características químicas do solo. As doses de soro, por sua vez, afetaram a química e a física do solo, com destaque para a melhoria dos teores de nutrientes, sem que houvesse alteração do pH do solo, mesmo o efluente tendo natureza ácida. Na física do solo, a adição do efluente proporcionou aumento da dispersão de argila, fenômeno que foi atenuado com a aplicação combinada de PAM. O polímero também foi associado ao aumento da condutividade hidráulica do solo em meio saturado, apesar das altas concentrações de Na no soro. No segundo capítulo foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre o fluxo de dióxido de carbono e a dinâmica da biomassa microbiana do solo. Os resultados indicaram que a adição do soro de leite aumenta o fluxo de CO₂ do solo, sendo que esse fluxo é influenciado pela textura do solo. A aplicação do efluente aumenta a atividade biológica no solo, gerando ganhos de C e N na biomassa microbiana. Os dados sugerem que a aplicação do soro de leite no solo deve considerar o seu efeito na degradação da matéria orgânica nativa do

solo, o que pode ser um problema. No terceiro e último capítulo, foram analisados o efeito dos tratamentos nos teores de nutrientes nas folhas e raízes de Tifton 85 e produção de biomassa da forrageira. Os resultados indicam que a aplicação do efluente e do PAM não alteram a morfologia das raízes da gramínea, mas aumenta os teores de K nas raízes nos dois solos; de Ca no solo argiloso e de Na no solo arenoso. O uso de PAM não influenciou os teores de K, P, Ca, Mg e Na nas folhas, que somente são aumentados com o incremento das doses do efluente. A análise por fluorescência de raios-X indica acúmulo expressivo de K nas folhas, bem como de P e Na, além da redução do acúmulo de Ca e Si. A produção de Tifton 85 praticamente não é alterada com o uso da poliacrilamida, mas é crescente até um máximo coincidente com a dose de 200 m³/ha, situação que se correlaciona muito bem com o observado para os teores de N-total nas folhas. O uso do soro de leite pode ser considerado uma fonte interessante de nutrientes, com excelente potencial para a nutrição de Tifton 85, que tolerou doses altas do efluente, com incremento de nutrientes e de biomassa. A conclusão geral do estudo é pelo alto potencial do soro de leite como fonte de nutrientes para o solo, sendo que o uso do PAM é um excelente aliado para evitar problemas de ordem física, tendo em vista os altos teores de sódio do efluente. Mesmo assim, o uso do efluente no solo deve ser seguido de um programa de monitoramento da qualidade do solo, em especial, merecendo novos estudos sobre o efeito deste material de alta carga orgânica sobre a matéria orgânica nativa do solo, em função do fenômeno conhecido como efeito *priming*.

Palavras-chave: *Cynodon* spp.. Tifton 85. Dispersão de Argilas. PAM. Emissão de Gases Do Solo. Qualidade do Solo. Reuso de Efluentes. Matéria Orgânica do Solo. Manejo de Pastagem. Águas Residuárias.

ABSTRACT

FERRAZ, Karin da Costa Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2021. **Agricultural Use of Milk Whey: Effects on Soil, CO₂ Emission, Microbial Soil Biomass and Plant Production.** Advisor: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisors: Igor Rodrigues de Assis, Ivo Ribeiro da Silva and Alisson Carraro Borges.

One of the residues of dairy production is milk whey, a by-product obtained after the separation of solids for the production of cheeses and similar products. When not used for other purposes in industry, the milk whey must have an environmentally appropriate destination, and its simple disposal in bodies of water is prohibited. The alternatives for treating this effluent have high costs and usually low efficiency, which opens a window for new useful alternatives. The reuse of whey in soil fertigation can be a promising option for plant nutrition and soil quality because of its organic contents and presence of nutrients. These options can also be considered environmentally appropriate and economically viable. However, since it is a waste, studies must assess the appropriate effluent doses and the associated risks to guarantee a good response of the crops and respect the environmental rules. As sodium is common in milk whey from cheese production, negative effects on soil physical quality can be verified. Aiming to avoid these effects, the use of aggregating conditioners can be interesting, and substances recognized for their contribution to the soil flocculation, as the polyacrylamides designated by the acronym PAM, can be tested. Although theoretically, all crops can receive liquids effluents, it is interesting to look for those with robust and vigorous root systems, such as grasses. In this plant group, the pastures stand out, soil cover which dominates an important part of Brazilian lands but is, in a great part, in a degradation situation. These pastures require good management to achieve high productivity, and the reuse of effluents can be a good alternative for replacing nutrients in the soil. Tifton 85 grass (*Cynodon* spp.) is a resistant perennial cultivar with high regrowth and production capacity and which can present an excellent response with the effluent application. In this context, the present study aimed to evaluate the agricultural reuse of a milk whey effluent and its effects on plant production, soil quality, CO₂ emissions, and soil microbial biomass. The study was divided into three chapters that considered the same experiment. The first chapter

aimed to evaluate the effect of adding doses of milk whey in the presence and absence of PAM on soil physical and chemical quality. The second chapter evaluated the milk whey application's impacts on the flow of carbon dioxide in the soil and the soil microbial biomass dynamics. In the third chapter, the objective was to evaluate the development and the nutrients contents in Tifton 85 grass in response to the milk whey doses. The experiment was carried out in a greenhouse at the Soil Department of the Universidade Federal de Viçosa. Soil samples from 0 to 20 cm depth of two Red-Yellow Latosols were used in the experiments. The first soil from Viçosa - MG is a very clay texture, and the second one from Três Marias - MG is a medium texture soil. The soils were fertilized and cultivated with Tifton 85. The treatments were the combination of the presence and absence of PAM (one liter of 0.1 g /L solution per pot) and five doses of milk whey (0, 50, 100, 200, and 300 m³ / ha). PAM and milk whey doses were applied weekly. The plants were grown for 120 days, with two intermediate cuts at 40 and 80 days. The results of the first chapter indicated that the PAM showed little influence on soil chemical characteristics. On the other hand, milk whey doses affected soil chemistry and physics, improving nutrient contents without changing the soil pH, even though the effluent has acidic nature. In soil physical quality, the effluent application increased clay dispersion, a phenomenon that was attenuated with the combined application of PAM. The polymer was also associated with the soil hydraulic conductivity increasing despite the high concentrations of Na in the milk whey. The second chapter indicated that the milk whey addition increases the CO₂ flow from the soil, and the gas flow is affected by the soil texture. The effluent application increases soil biological activity, providing C and N gains in microbial biomass. The results suggest that the milk whey application should consider its effect on the soil's native organic matter degradation, which can be a problem. In the third chapter, the milk whey application combined with PAM does not alter the grassroots morphology but increases the contents of K in the roots in both soils, Ca in the clayey soil and Na in the sandy soil. PAM did not influence the contents of K, P, Ca, Mg and Na in the leaves. Otherwise, these contents increased with the increase of effluent doses. X-ray fluorescence analysis in Tifton 85 leaves indicates expressive accumulation of K, and also P and Na, and reduction in the accumulated Ca and Si. The plant production was practically unchanged with PAM use, but it is increased until the maximum in the 200 m³ / ha dose, a situation that correlates with that observed in

the total N contents in leaves. The use of milk whey can be considered an interesting source of nutrients, with excellent potential for the nutrition and biomass production of Tifton 85, which tolerated high doses of the affluent. The general conclusion indicated the high potential of milk whey as a source of plant nutrients, and the use of PAM can be an excellent ally to avoid soil physical problems because of the high contents of sodium in the effluent. Even so, the use of the effluent in the soil must be followed by a soil quality monitoring program, in particular, deserving further studies on the effect of this material with high organic content on the soil's native organic matter due to the known phenomenon as a priming effect.

Keywords: *Cynodon* Spp.. Tifton 85. Dispersion of Clays. PAM. Emission of Soil Gases. Soil Quality. Effluent Reuse. Soil Organic Matter. Pasture Management. Wastewater.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS	18
CAPÍTULO 1 - Poliacrilamida aniônica visando a melhora da qualidade física e química de solos com disposição de soro de leite	19
RESUMO.....	20
INTRODUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 2 - Fluxo de dióxido de carbono e dinâmica da biomassa microbiana em resposta à disposição de soro de leite no solo	40
RESUMO.....	41
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E METODOS	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59
CAPÍTULO 3 - Teores de nutrientes no capim Tifton 85 em resposta à disposição de soro de leite no solo	62
RESUMO.....	63
INTRODUÇÃO	65
MATERIAL E MÉTODOS	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS.....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

INTRODUÇÃO GERAL

A indústria de laticínios é uma das mais importantes e tradicionais atividades econômicas do Brasil. A produção de leite brasileira em 2017 alcançou 33,5 bilhões de litros, dos quais 11,5 bilhões de litros vieram dos estados que compõem a região Sudeste, sendo Minas Gerais o principal estado produtor por responder por 77,8% desta produção regional (ZOCCAL, 2019).

A grande produção de leite no país implica na geração de significativo volume de resíduos, que devem ter destinação adequada de acordo com as leis ambientais vigentes. Dentre os resíduos dos laticínios, o soro de leite se destaca por ser produzido em grande quantidade e apresentar potencial poluidor. Na produção de cada quilograma de queijo são gerados nove litros de soro (BALD et al., 2014), líquido que pode ser aproveitado como um subproduto, uma vez que é matéria prima para a produção de *whey protein* (STOPASSOLI, 2015) e bebidas lácteas (GUEDES et al., 2013), além de ser possível o seu uso na alimentação animal (REGHELIM; RIGHI, 2018). Entretanto, nem todas as unidades industriais conseguem fazer este reaproveitamento e o produto é armazenado para posterior descarte após tratamento (ANDRADE; MARTINS, 2002). A restrição legal para o lançamento do soro de leite em cursos d'água sem prévio tratamento deve-se a sua alta carga orgânica, que alcança valores de DBO de 30.000 a 60.000 mg/L (ANDRADE; MARTINS, 2002).

No Brasil, as principais técnicas convencionais adotadas no tratamento de efluentes como o soro de leite caracterizam por apresentar alta demanda de área e custo, além de baixa eficiência quando aplicadas como único sistema de tratamento. A lista de tecnologias disponíveis para o tratamento do soro de leite inclui lagoas de estabilização, biodigestores, filtros aeróbios, sistemas de lodos ativados, reatores UASB e sistemas alagados construídos ou *wetlands*. Uma alternativa interessante de tratamento, principalmente em condições de clima tropical, é a disposição superficial no solo na forma de irrigação e/ou fertirrigação. Esta alternativa alia a capacidade depuradora do sistema solo-planta com o reuso de água e dos nutrientes presente nos efluentes (DECEZARO, 2013). Desta forma, o efluente pode contribuir com a água destinada à produção vegetal e com a melhoria da qualidade química dos solos tropicais, que frequentemente apresentam baixa fertilidade natural.

A disposição de efluentes em solo deve ser acompanhada de critérios técnicos de seleção de áreas, definição de lâminas e frequência de aplicação, bem como e, principalmente, do monitoramento dessas áreas que irão receber essas águas residuárias. Para a averiguação da adequação de sua aplicação em solo, ensaios agrônômicos são fundamentais à confirmação dessa potencialidade de uso, que devem incluir a avaliação de plantas capazes de suportar a aplicação desses efluentes.

A disposição de efluentes em áreas de pastagem pode ser um ponto importante para a solução de um problema de ordem ambiental e, ao mesmo tempo, para a melhoria dos índices produtivos da atividade pecuária. Em função da crescente intensificação do uso de pastagens no país, da busca por maior produtividade e até do mal uso, os solos dessas áreas têm sido frequentemente degradados, principalmente pela negligência no manejo e na adubação. A compactação é a principal forma de degradação desses solos, com reflexos na sua estrutura, o que implica em perdas de espaço poroso, que comprometem o crescimento de raízes, fluxo de água, gases e nutrientes nos solos.

A recuperação da estrutura do solo pode ser conseguida pelo manejo adequado do sistema, principalmente através do aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Entretanto, outros produtos mais recentes têm sido difundidos como condicionadores visando incrementar a recuperação da qualidade física do solo e atuar diretamente na recomposição da estrutura perdida com a degradação. Dentre esses condicionadores de solo e de natureza flocculante destaca-se a poliacrilamida (PAM), um polímero aniônico que é comercializado para uso no tratamento de águas. Este produto pode ser um interessante aliado quando se aplica efluentes que possam conter expressivos teores de sódio, um elemento reconhecido por promover a dispersão de argilas e, desta forma, comprometer a qualidade física do solo.

Na seleção de plantas forrageiras para a utilização em áreas de aplicação de efluentes pelo método da disposição em solo, frequentemente tem se dado preferência às perenes, com alta capacidade de extração de nutrientes e elevada produção de matéria seca. Também são fatores considerados a possibilidade de cortes frequentes e sucessivos ao longo da maior parte do ano, a alta capacidade de cobertura do solo e a palatabilidade aos animais. Outras características ainda desejáveis são a adaptação às condições de clima e solo locais, baixa

susceptibilidade a pragas e doenças e tolerância à salinidade e toxicidade de íons. Nesse cenário, o capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) desponta como uma interessante alternativa por ser uma planta com metabolismo fotossintético C4, com elevada eficiência de utilização da radiação solar, ser perene e apresentar boa taxa de crescimento e elevado acúmulo de matéria seca.

Por outro lado, quando se promove a adição de resíduos com alta carga orgânica, pode haver incremento da emissão de gases do efeito estufa do solo, através do estímulo da biomassa microbiana do solo e decomposição da MOS em conjunto com o resíduo adicionado. Neste sentido, é interessante que a disposição de efluentes agroindustriais seja acompanhada do monitoramento do fluxo desses gases e da capacidade da microbiota do solo de utilizá-los.

Outra preocupação importante relacionada com o reuso de efluentes em solos é o potencial de lixiviação de contaminantes no perfil, podendo alcançar reservatórios de água subterrânea. Para efluentes agroindustriais, essa preocupação é maior com relação aos nutrientes nitrogênio (N) e fosforo (P), por conta do risco da eutrofização em corpos d'água. Obviamente, nenhum outro contaminante é bem-vindo nas águas subterrâneas, mas estes dois nutrientes em especial, bem como elementos potencialmente tóxicos, como os metais pesados, devem ser monitorados quando da disposição de grandes volumes de efluentes no solo.

Avaliações como as apresentadas neste estudo podem ser relevantes para contribuir com legislação que permita, valorize e incentive o reaproveitamento do soro de leite na fertirrigação de culturas. Esta possibilidade alia ganhos econômicos, ambientais e sociais, proporcionando uma solução para este passivo ambiental. O presente estudo pode contribuir, portanto, com subsídios para a definição de doses aplicáveis; potencialidade de reuso de nutrientes em fertirrigação; recuperação da qualidade em pastagens degradadas; e melhoria da qualidade química, física e biológica dos solos.

Diante de todo o exposto, este trabalho objetiva avaliar a qualidade do solo, a produção e acúmulo de nutrientes na forrageira Tifton 85, biomassa microbiana e emissão de gases do efeito estufa em resposta à aplicação de soro de leite de uma indústria de laticínios combinada ou não com a adição do PAM.

Para se atingir esses objetivos, a presente dissertação foi organizada em três capítulos, apresentados à continuação. O primeiro capítulo tem como objetivo

específico averiguar a qualidade física e química de solos após a aplicação continuada e semanal de soro de leite na presença e ausência de PAM. No segundo capítulo foi avaliado o impacto da aplicação de soro de leite no solo sobre o fluxo de dióxido de carbono do solo e a dinâmica da biomassa microbiana do solo. Já no terceiro capítulo, o objetivo foi avaliar a resposta do desenvolvimento e nutrição do Tifton 85 em resposta à aplicação de doses de soro de leite.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. L. P.; MARTINS, J. F. P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [S. l.], v.22, n.3, p.249–253, 2002. DOI: 10.1590/s0101-20612002000300009.
- BALD, J. A.; VINCENZI, A.; GENNARI, A.; LEHN, D. N.; SOUZA, C. F. V. Características Físico-Químicas De Soros De Queijo E Ricota Produzidos No Vale Do Taquari, Rs. *Revista Jovens Pesquisadores*, [S. l.], v.4, n.3, p.90–99, 2014. DOI: 10.17058/rjp.v4i3.4602.
- DECEZARO, S. T. Tratamento De Águas Residuárias De Bovinocultura De Leite No Brasil – Situação Atual E Possibilidades. *TCC-UFSM*, [S. l.], p.1–89, 2013.
- GUEDES, A. F. L. M.; MACHADO, E. C. L.; FONSECA, M. C.; ANDRADE, S. A. C.; STAMFORD, T. L. M. Aproveitamento de soro lácteo na formulação de bebidas com frutas e hort. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, [S. l.], v.65, n.4, p.1231–1238, 2013. DOI: 10.1590/S0102-09352013000400040.
- REGHELIM, M.; RIGHI, E.. Reaproveitamento de Resíduo: Alternativas para o Soro do Queijo Residue Reuse: Alternatives to Cheese Serum. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, [S. l.], p.1–8, 2018.
- STOPASSOLI, A. O Uso da Proteína do Soro de Leite como Suplemento Nutricional por Atletas. *Facider Revista Científica*, [S. l.], v. 8, p. 1–20, 2015.
- ZOCCAL, R. Anuário do Leite 2019: novos produtos e novas estratégias da cadeia do leite para ganhar competitividade e conquistar os clientes finais. *Anuario Leite*, [S. l.], n.35 art, p.53, 2019.

CAPÍTULO 1

Poliacrilamida aniônica visando a melhora da qualidade física e química de solos com disposição de soro de leite

RESUMO

O soro de leite é um resíduo da indústria de laticínios. Este efluente apresenta elevada carga orgânica, motivo pelo qual é proibido seu descarte em corpos d'água sem o devido tratamento. Alguns tratamentos são conhecidos, mas são opções que demandam alto custo de implantação e elevada área construída e, normalmente baixa eficiência, o que gera a demanda por novas alternativas. A avaliação do reaproveitamento agronômico de efluentes buscando alcançar uma solução que alie ganhos econômicos e ambientais é sempre interessante. No caso do soro de leite, vislumbram-se ganhos com o reaproveitamento do efluente no solo. Essa disposição do soro de leite como fertirrigação no solo apresenta o potencial de reduzir os custos de adubação, promover a irrigação e ainda auxiliar na recuperação de pastagens subutilizadas e ou degradadas. Como a presença de sódio é comum no soro de leite da produção de queijos, efeitos negativos são esperados nos aspectos físicos do solo, e para tentar diminuir esses efeitos, o uso de condicionadores agregantes podem ser importantes aliados. A poliacrilamida (PAM) é um desses condicionadores de estrutura do solo que tem sido avaliado nas últimas décadas com resultados promissores. Embora todas as culturas possam receber o efluente, é interessante pensar naquelas de maior resistência e de sistema radicular mais vigoroso, como é o caso das gramíneas usadas como forrageiras. O capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) tem se destacado por ser uma cultivar perene resistente, de capacidade elevada de rebrota e produção, e com alto potencial na produção animal. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de doses de soro de leite na presença e ausência de PAM sobre a qualidade física e química de solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com dois Latossolos de texturas contrastantes. Os solos foram dispostos em vasos e receberam adubação e correção antes do plantio e cultivo do Tifton 85. Os tratamentos foram formados pela combinação do uso ou não do PAM (um litro de solução 0,1g/L por vaso) e cinco doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha), ambos aplicados semanalmente. A gramínea foi cultivada por 120 dias, tendo recebido dois cortes aos 40 e 80 dias. Após a finalização do experimento, amostras de solos foram analisadas para a determinação de pH (H₂O), condutividade elétrica, teores de P, K e Na disponíveis, e trocáveis de Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. As análises físicas executadas foram o equivalente de umidade, argila

dispersa em água, curva de retenção de água, condutividade hidráulica do solo em meio saturado, densidade do solo e a porosidade total. Os resultados indicaram que o PAM pouco influencia as características químicas do solo. As doses de soro, por sua vez, afetaram a química e a física do solo, com destaque para a melhoria dos teores de nutrientes, sem que houvesse alteração do pH do solo, mesmo o efluente tendo natureza ácida. Na física do solo, a adição do efluente proporcionou aumento da dispersão de argila, fenômeno que foi atenuado com a aplicação combinada de PAM. O polímero também foi associado ao aumento da condutividade hidráulica do solo em meio saturado, apesar das altas concentrações de Na no soro.

Palavras-chaves: reúso de efluentes, poliacrilamida, dispersão de argilas, qualidade do solo, Tifton 85.

INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais é um grande e tradicional produtor de leite, respondendo por quase 78% da produção de leite da região sudeste em 2017 (ZOCCAL, 2019). Esse setor produtivo tem passado por uma importante mudança de tecnificação e modernização do sistema como um todo desde a propriedade rural até a indústria (PEROBELLI et al., 2018). No estado de Minas Gerais, a maior concentração é de pequenas indústrias, que pelo pequeno porte e o alto custo envolvido no tratamento dos efluentes gerados no beneficiamento, algumas vezes o descartam de forma indevida no meio ambiente. Este procedimento contrasta com o requerimento legal desses efluentes industriais serem tratados antes da disposição, conforme Lei Federal 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Para lançamento em corpos d'água, após o tratamento, o efluente deve ainda respeitar os limites estabelecidos na Resolução Conama 430/2011, que trata das condições e padrões de lançamento de efluentes no país (CONAMA, 2011).

Dentre os tratamentos mais utilizados para os efluentes das indústrias de laticínios destacam-se *wetlands*, lagoas de estabilização e reatores UASB, alternativas que demandam alto custo de implantação e área para sua construção (DUNNE et al., 2005; LUOSTARINEN e RINTALA, 2005; GOTTSCHALL et al., 2007; BOLAN et al., 2009; RICO et al., 2011; RUANE et al., 2011; COMINO et al., 2012;). Neste sentido, a disposição em solo por fertirrigação pode representar uma boa alternativa para o reaproveitamento desses efluentes, em especial do soro de leite, pela sua alta carga orgânica e grande quantidade produzida.

A produção de efluentes na indústria de laticínios é grande. Os registros de um laticínio de pequeno porte (< 8.000 L/dia de leite) da Zona da Mata de Minas Gerais revelam a geração de 3,5 L de efluente para cada litro de leite processado (SARAIVA et al., 2009). Dados da CETESB indicam a geração potencial de até seis litros de efluentes para cada litro de leite processado (MAGANHA, 2008). Esses valores indicam a magnitude dos efluentes produzidos no Brasil face aos 33,5 bilhões de litros processados anualmente (ZOCCAL, 2019). Desta forma é interessante a avaliação do reaproveitamento agrônômico desses efluentes, buscando-se alcançar uma solução que alie ganhos econômicos e ambientais. Esses ganhos são mais interessantes com o reaproveitamento do soro de leite,

pela quantidade gerada, alta carga orgânica e ausência de sanitizantes em sua composição.

A disposição final do soro de leite em solo apresenta o potencial de reduzir os custos de adubação e auxiliar na recuperação de solos como os de pastagens subutilizadas e ou degradadas, importante uso da terra em estados produtores de leite, como é o caso de Minas Gerais. Este reuso de efluente pode ser um importante aliado para a recuperação das pastagens deste estado, no qual estima-se que 75% estejam degradadas (INAES, 2015).

O potencial do soro de leite em melhorar a qualidade do solo foi observado por RIBEIRO (2018), que verificou melhoria da estrutura do solo, maior condutividade hidráulica não saturada e redução da resistência do solo à penetração até a dose aplicada de 100 m³/ha. O mesmo estudo revelou ganhos de produção de matéria seca da forragem utilizada. Disto resulta a necessidade de mais estudos para subsidiar eventuais normas e regras de disposição em solo na forma de fertirrigação do soro de leite, com base em critérios agronômicos e que considerem a capacidade depuradora dos solos, doses de aplicação e periodicidade, efeitos sobre a estrutura dos solos, potencial de salinização, dentre outras avaliações físicas e químicas dos solos, com vistas à manutenção e ou melhoria da qualidade dos solos.

Diante dos efeitos negativos potenciais de efluentes sobre a qualidade do solo, o uso de condicionadores pode ser uma alternativa interessante para minimizar impactos negativos da disposição dessas águas residuárias. Muitos desses produtos são utilizados na recuperação da estrutura de solos e, por isto, espera-se um efeito semelhante quando associado com efluentes.

Um dos condicionadores de estrutura do solo que tem sido avaliado nas últimas décadas com resultados promissores são as poliacrilamidas (LENTZ et al., 1992; LENTZ e SOJKA, 1994b; LENTZ e SOJKA, 1996; PIRES et al., 2015), normalmente designadas pela sigla PAM. Os resultados indicaram resultados positivos para a qualidade física de solos pela ação agregante do polímero, sem riscos de uso do produto, uma vez que os mesmos são usados no tratamento de águas. Esses flocculantes sintéticos conhecidos como PAM são polímeros de alto peso molecular, de estrutura composta por cadeias de unidades de ácido acrílico e seus derivados, e que são capazes de produzir a neutralidade de carga no sistema

por meio de pontes eletrostáticas com as partículas, favorecendo a floculação dos particulados (KISSA, 1999).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito combinado do PAM e do soro de leite na qualidade física e química de solos de textura contrastante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos e em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. As amostras foram provenientes da camada de 0 a 20 cm de um solo muito argiloso (78 % de argila) representativo da classe predominante na região de Viçosa-MG, e de um solo de textura média (classe Franco-Argilo-Arenosa, com 26 % de argila) proveniente da região de Três Marias -MG. As amostras dos dois Latossolos foram passadas por peneira de malha de 4 mm para posterior utilização no experimento

Previamente, os solos receberam adubação via solução nutritiva (adaptado de NOVAIS et al., 1991), seguido de 30 dias de incubação, período durante o qual foi efetuada correção dos teores de umidade dos solos até próximo de 70 % da capacidade de campo. A adubação foi aplicada visando alcançar 70% da saturação de bases.

Vasos de 8 dm³ com drenagem livre foram preenchidos com 6 dm³ de solo e, no momento do preenchimento, dois cilindros metálicos, de altura e diâmetro aproximados de 5 cm, foram posicionados dentro dos vasos, com sua parte superior posicionada 5 cm abaixo da superfície.

Na sequência, cada vaso recebeu cinco mudas de capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*), que foram irrigados duas vezes por semana até que atingissem 30 cm de altura. Neste momento todas as plantas foram cortadas a 10 cm da superfície do solo para a aplicação dos tratamentos.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, em cada um dos dois solos, com cinco repetições, em esquema fatorial (2 x 5), correspondendo à presença e ausência da poliacrilamida (PAM) e cinco doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha). Quando presentes nos tratamentos, PAM e soro de leite foram adicionados semanalmente. Ao todo, o experimento contou com 50 unidades experimentais por solo. A caracterização do soro utilizado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do soro de leite utilizado no experimento. Médias de quatro leituras executadas mensalmente no soro recolhido nos laticínios

Composição do soro de leite			
Sólidos totais (mg/L)	404,5 (376,4-445,7)	P (mg/L)	309,1 (193,48 – 853,57)
DBO (mg/L)	28.773 (27578 – 29702)	K (mg/L)	2.127,6 (1.489,1 – 2.673,2)
DQO (mg/L)	57.092 (54.722 – 58.936)	Ca (mg/L)	993,9 (806,2 – 1.176,75)
Óleos e graxas (%)	0 (0 – 0)	Mg (mg/L)	348,3 (151,78 – 1.026,1)
CE (mS/cm)	2.043 (1.906 – 2.189)	Na (mg/L)	1.131,8 (962,4 – 1.281,8)
pH	4,28 (4,22 – 4,35)	N (mg/L)	1.366,05 (1.137,5 – 1.623,6)

Concentração média e variação, mínima e máxima, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO); Óleos e graxas; Condutividade elétrica (CE); pH; e teores de P, K, Ca, Mg, Na e N.

A aplicação semanal de PAM nos tratamentos correspondentes (presença) foi de 1 L/vaso de solução com concentração de 0,1 g/L de PAM, promovida três dias após a aplicação do soro de leite. Vasos que não receberam PAM (ausência) receberam volume equivalente de água deionizada. Os tratamentos com as menores doses de soro de leite também receberam volume de água deionizada para compensar o líquido aplicado na maior dose (300 m³/ha).

O produto PAM foi adquirido comercialmente. O soro de leite utilizado no experimento foi proveniente da produção exclusiva de muçarela do Laticínios Funarbe, empresa localizada no Campus da UFV. O soro de leite era recolhido no mesmo dia da aplicação ou, no máximo, na tarde anterior do dia da aplicação, sendo sempre mantido em condição refrigerada até a aplicação no solo.

As plantas foram cultivadas durante 120 d, com umidade do solo mantida próxima a 60 % da capacidade de campo por meio de irrigações. A parte aérea da forrageira foi cortada a 10 cm de altura do solo a cada 40 d e, após três ciclos de corte, o experimento foi desmontado. Na desmontagem dos vasos, os dois cilindros foram cuidadosamente retirados do interior de cada unidade experimental. Uma subamostra do solo no final do experimento foi retirada para análises, após homogeneização do conteúdo dos vasos.

Nas amostras de solo dos vasos foi promovida a avaliação dos seguintes atributos químicos: pH (H₂O), condutividade elétrica, P e K disponíveis, e teores de Na, Al, Ca e Mg (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981). As análises físicas executadas nas

mesmas amostras foram: equivalente de umidade, argila dispersa em água (ADA) e curva de retenção de água no solo, utilizando os potenciais mátricos de -10, -30, -50, -100 e -1500 KPa (TEIXEIRA et al., 2017).

As amostras de solo do interior dos anéis foram submetidas às análises de: condutividade hidráulica do solo em meio saturado (CH) e densidade do solo (Ds). Na amostra deformada foi avaliada a densidade de partículas (Dp). Com os dados obtidos de Ds e Dp, foi calculada a porosidade total (PT), segundo a fórmula $PT=1-Ds/Dp$. Essas análises físicas seguiram as recomendações presentes em TEIXEIRA et al. (2017).

O objetivo inicial do trabalho incluía a análise química de todas as unidades experimentais, entretanto, por conta das limitações impostas pela pandemia de 2020, optou-se por analisar apenas uma amostra composta de cada tratamento. Os solos foram analisados de forma independente. Desta forma, as análises estatísticas das variáveis químicas dos solos foram apenas descritivas, com a apresentação dos resultados por gráficos. As análises de pH e condutividade elétrica puderam ser executadas em todas as amostras e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após verificação dos preceitos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente. As médias do fator qualitativo PAM foram comparadas pelo teste de Tukey à 10% de significância. As doses de soro de leite foram analisadas por regressão linear, e os parâmetros tiveram sua significância verificada pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Este mesmo procedimento foi adotado para os resultados das análises físicas.

O software R (versão 4.0.2, COREL TEAM, 2020) foi utilizado em todos os processamentos estatísticos com o pacote ExpDes.pt na versão 1.2.1 (FERREIRA et al., 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes tratamentos não proporcionaram alterações nos valores de pH dos solos. Os valores médios nos dois solos ao final do experimento foram de 6,5, muito acima do pH de 4,3 do soro utilizado (Tabela 1), indicando que o efluente de natureza ácida, decorrente do processo de beneficiamento da muçarela salgada, não promoveu a acidificação do solo previamente corrigido para o plantio. Alterações do pH do solo em função da aplicação de efluentes são relatadas frequentemente na literatura científica (BOEIRA et al., 2007; SOUZA et al. 2007; TRANNIN et al. 2008), contrastando os resultados aqui apresentados. Isto é interessante na aplicação de efluentes de natureza mais ácida, uma vez que a redução do pH pode ser bastante limitadora do desenvolvimento vegetal. O incremento de material orgânico ao solo pode influenciar positiva ou negativamente o pH dos solos, visto que esse efeito pode mudar de acordo com a sua fase de decomposição. Na degradação desses compostos orgânicos, que é naturalmente ácida, o pH do sistema pode ser reduzido e, por outro lado, em condições aeróbicas, a própria decomposição pode disponibilizar cátions de reação alcalina, que podem elevar o pH do solo.

A condutividade elétrica (CE) foi afetada pela adição das doses crescentes de soro de leite nos dois solos e de maneira semelhante, como pode se perceber pela declividade aproximada entre as curvas geradas (Figura 1). A adição do PAM não afetou os valores desta variável, dada sua natureza essencialmente orgânica. Os valores de CE do solo foram linearmente incrementados com o aumento da adição do efluente, coerente com a presença de íons na composição do soro (Tabela 1).

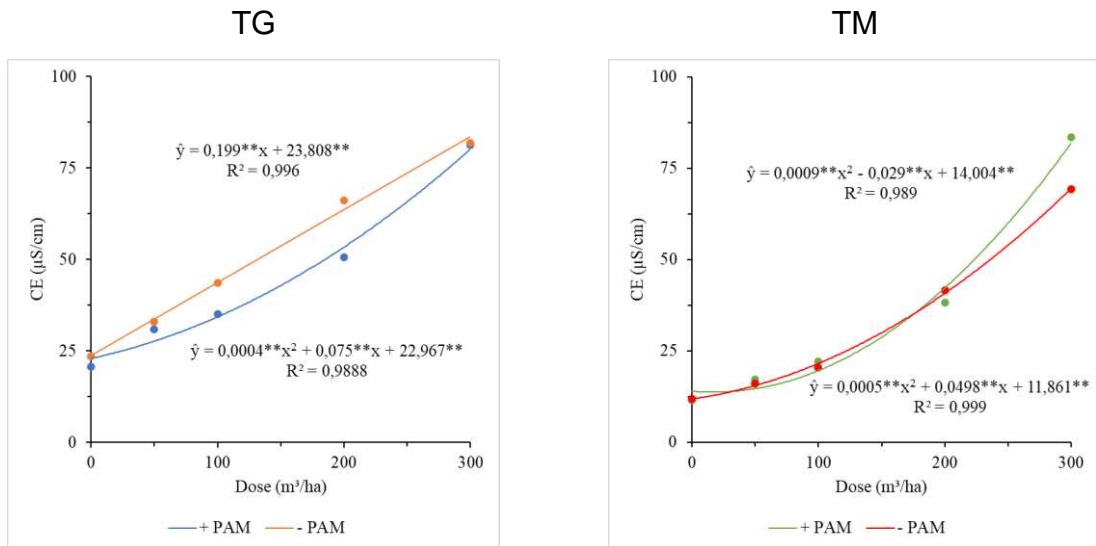
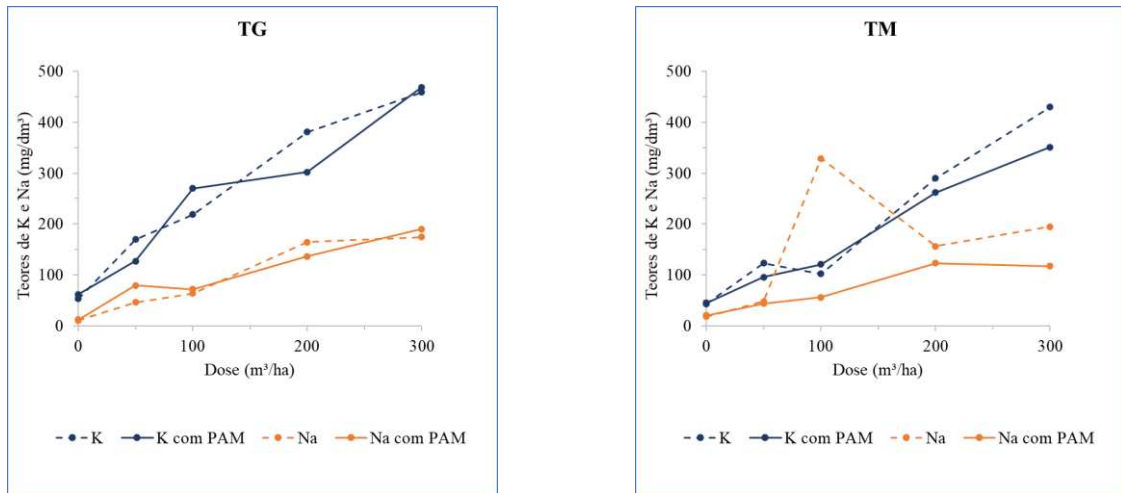


Figura 1 – Valores de condutividade elétrica (CE) dos solos argiloso (TG) e arenoso (TM) em resposta à aplicação semanal de soro e PAM, *** ($p < 0,01$), ** ($p < 0,05$), * ($p < 0,1$).

De uma forma geral, o aumento das doses de soro proporcionou incremento nos teores de K, Na, Ca, Mg e P nos solos (Figura 2), efeito não observado com a adição do PAM. A presença de expressivas concentrações desses elementos na composição do soro do leite justifica esses resultados (Tabela 1).

a



b

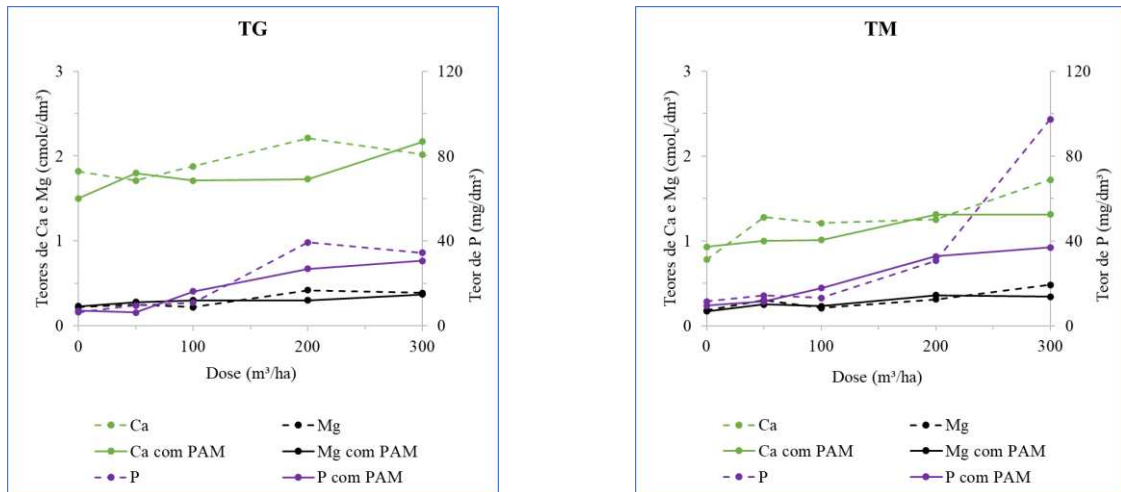


Figura 2: Caracterização química dos solos argiloso (TG) e arenoso (TM) em resposta à adição de doses crescentes de soro de leite na presença e ausência de poliacrilamida (PAM), *** ($p < 0,01$), ** ($p < 0,05$), * ($p < 0,1$).

O maior incremento de teores com a adição do soro foi sobre o K, seguido do Na (Figura 2a). A maior concentração de K no efluente (Tabela 1) e a maior solubilidade do Na podem explicar os resultados destes elementos. Incrementos dos teores de K em solo também foram observados por SILVA et al. (2008) ao aplicar doses crescentes de água residuária de um abatedouro de bovinos. No caso do Na, chama a atenção o incremento verificado na dose de 100 m³/ha no solo TM na ausência de PAM, não coerente com o comportamento das demais doses, o que foi atribuído a algum erro de homogeneização da amostra ou na análise.

Os teores de Ca e Mg tiveram incrementos mais modestos (Figura 2b), e quase nulos no caso do Mg, mesmo o soro de leite apresentando teores consideráveis desses (Tabela 1). Estudos com aplicação de águas residuárias em solos cultivados frequentemente são associados a ganhos de Ca e Mg. Entretanto, isto depende muito da natureza e composição do efluente aplicado. Em estudo com forrageira e milho, OLIVEIRA et al. (2004) observaram ganhos de teores desses elementos no solo com o uso de efluente de esgoto doméstico.

O incremento dos teores de P com a adição das doses de soro de leite também foi discreto (Figura 2b), mesmo com as concentrações do elemento no efluente (Tabela 1). Novamente um dado não esperado e discordante das demais doses foi verificado no solo arenoso (TM) na maior dose aplicada de soro. Incrementos nos teores de P foram observados por QUEIROZ et al. (2004) e OLIVEIRA et al. (2004) após a aplicação de efluente no solo, o que reforça novamente a importância da natureza e composição da água residuária nos efeitos esperados com a sua adição no solo. Uma possibilidade para a não acumulação de P no solo, elemento de conhecida baixa mobilidade, é sua movimentação no perfil na forma orgânica, uma vez que os vasos tinham drenagem livre.

Não foram detectados teores significativos de Al trocável nas amostras, o que foi atribuído ao valor final do pH superior a 5,5 em todas as unidades experimentais, e coerente com a correção efetuada no início do experimento.

A dispersão de argilas dos solos foi afetada pela interação entre as doses de efluente e presença do PAM. A variável argila dispersa em água (ADA), utilizada como indicadora da dispersão dos coloides, aumentou no solo argiloso (TG) com as doses de soro de leite, sendo este efeito atenuado com a aplicação de PAM (Figura 3a). No solo arenoso (TM), de forma geral, o efeito da aplicação do efluente foi pouco evidente, salvo pelo verificado na dose 300 m³/ha no tratamento sem

aplicação de PAM. Este último valor é por demais expressivo, tendo em vista que este solo apresenta 26 % de argila. O valor estimado alcançado na maior dose chega a 18 % de ADA, o que representa uma dispersão de quase 70 % das argilas deste solo, ou seja, grande parte de sua argila encontra-se desestabilizada. O uso do PAM nesta maior dose reduziu este valor estimado para próximo de 7 % de ADA, um ganho no índice de floculação de mais de 140 %. Este efeito agregante do solo do PAM é frequentemente observado na literatura, onde se considera que o PAM possivelmente altera o PCZ do solo, tendendo a igualá-lo ao pH atual do solo (PIRES et al., 2015).

A capacidade dos solos saturados de conduzir água foi aumentada linearmente com o incremento das doses de soro nos dois solos avaliados, característica que foi incrementada com o uso da poliacrilamida (Figura 3b). Resultado semelhante deste efeito positivo do PAM foi observado por VARALLO et al. (2010), que verificaram perdas de condutividade hidráulica do solo com a aplicação de efluente em solos, que foram amenizadas quando se utilizou o polímero.

O efeito foi maior no solo argiloso pelos ajustes obtidos, onde a contribuição do efluente e PAM foram mais efetivas. O ganho em condutividade hidráulica nos dois solos pode ser associado ao componente orgânico do soro e o efeito estruturante do PAM.

Os incrementos nos valores de condutividade hidráulica não podem ser relacionados às alterações da densidade do solo e, ou com ganhos de porosidade do solo. A densidade do solo, ao final do experimento, não foi afetada pelas doses de soro de leite e adição do PAM, tendo como valores médios 1,12 e 1,38 kg/dm³ para o solo argiloso (TG) e arenoso (TM), respectivamente. O mesmo aconteceu com a porosidade total, que manteve valores médios de 0,58 m³/m³ para o solo argiloso e 0,51 m³/m³ para o solo arenoso.

Ganhos de condutividade hidráulica saturada sem incremento de porosidade total frequentemente estão associados ao aumento de macroporosidade (MESQUITA e MORAES, 2004). É bem frequente a acomodação do material em experimentos em vasos, e os resultados parecem indicar que o efluente e também o PAM ajudam na estabilidade estrutural que permite maior condução da água, sem ganhos de porosidade total detectáveis pela análise que é comumente executada. O efeito do cultivo, em especial das raízes que se desenvolveram mais nas maiores

doses do efluente, também podem ter colaborado com ganhos de condutividade hidráulica, que de maneira similar não foram detectados pela análise da porosidade total.

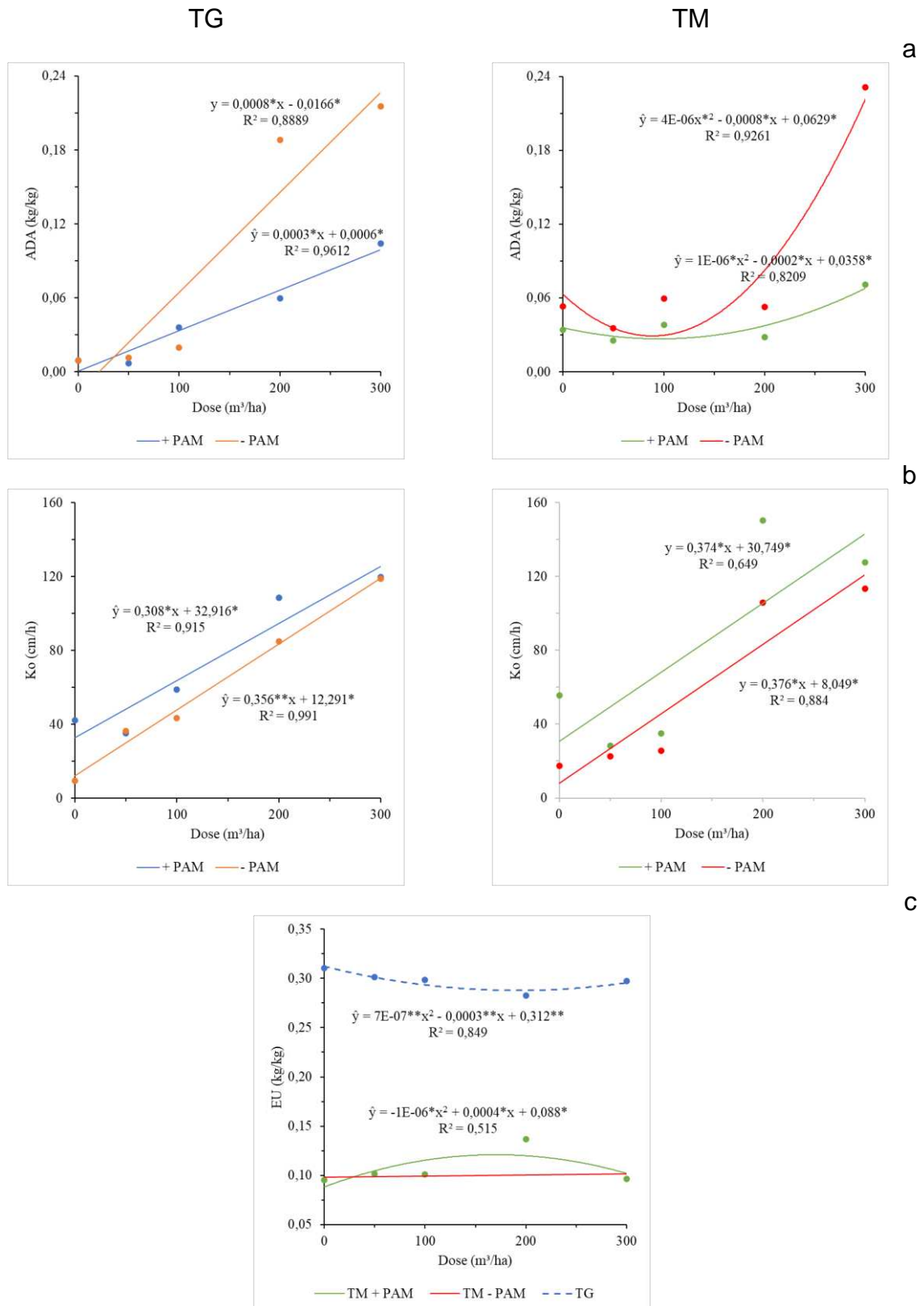


Figura 3: Valores de argila dispersa em água (ADA), condutividade hidráulica do solo em meio saturado (K_0) e equivalente de umidade (EU) dos solos argiloso (TG) e arenoso (TM) em resposta à adição de doses crescentes de soro de leite, na presença e ausência de poliacrilamida (PAM), *** ($p < 0,01$), ** ($p < 0,05$), * ($p < 0,1$).

A melhoria da condução de água no solo pode ser associada ao efeito positivo da alta carga orgânica do efluente e da maior estabilidade proporcionada pelo PAM, como também observado por PIRES et al. (2015). É interessante destacar que, mesmo apresentando altos teores de Na, a adição semanal do efluente não causou efeitos negativos sobre a estrutura que pudesse levar ao entupimento de poros ou o selamento dos mesmos, como também verificado por ERTHAL et al. (2010). Estes fenômenos são frequentemente observados quando efluentes mais sódicos são adicionados ao solo, prejudicando o crescimento das plantas e com impactos diretos e negativos na drenagem, retenção de água e aeração do solo. O uso de água de boa qualidade nas irrigações semanais obviamente contribuiu com a redução dos efeitos do Na, muito embora, pelos altos teores presentes no efluente, algum efeito negativo era esperado.

Não se verificou efeitos expressivos dos tratamentos sobre a retenção de água, como avaliada pelo equivalente de umidade (Figura 3c). No solo argiloso, o efeito foi apenas das doses, mas com pouca expressividade de ordem prática. No solo arenoso, na ausência de PAM não se verificou efeito de doses de efluentes, e na presença do polímero, o efeito das doses também foi pouco expressivo em termos práticos.

Por outro lado, quando se analisa a curva de retenção de água no solo, alguns efeitos dos tratamentos aparecem, mas mais evidentes no solo argiloso (TG) (Figura 4). No solo arenoso, de menor retenção, a capacidade de reter a água foi pouco alterada entre tratamentos, salvo na ausência de PAM e dose de 100 m³/ha e, na presença do polímero e na dose de 300 m³/ha. No solo argiloso, a presença de PAM deslocou a curva sempre para menores umidades retidas e, na ausência do polímero, o aumento da dose de efluente também teve o mesmo efeito. No caso do PAM, pode-se atribuir o efeito aos ganhos de condutividade hidráulica, que permitem a maior drenagem e assim, menor retenção de água no solo. Do ponto de vista do uso em solos, isto pode ser interessante pois não são perdas expressivas de retenção, e ao mesmo tempo, permite maior percolação de água no solo com impactos hidrológicos positivos.

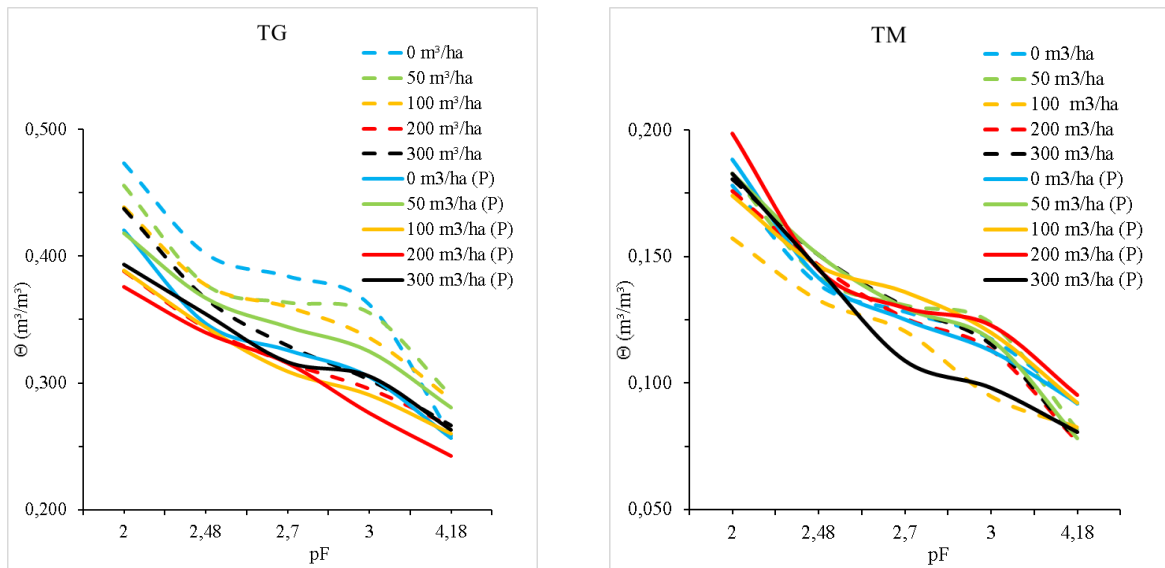


Figura 4: Curva de retenção de água nos solos argiloso (TG) e arenoso (TM) em resposta à adição de doses crescentes de soro de leite, na presença e ausência de poliacrilamida (PAM).

CONCLUSÃO

O efeito combinado do PAM e do efluente de soro de leite é mais efetivo na qualidade física do solo. Em termos de qualidade química, a adição do polímero afeta pouco as características do solo, enquanto o incremento das doses da efluente melhora os níveis de nutrientes sem alterar o pH do solo, mesmo sendo de natureza mais ácida.

A adição do efluente aumenta a dispersão de argilas no solo, efeito negativo que é atenuado através da associação com o PAM. O polímero favorece a condutividade hidráulica do solo em meio saturado, mesmo sendo o soro uma solução com expressivos teores de sódio.

REFERÊNCIAS

- BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.581-590, 2007.
- BOLAN, N. S.; LAURENSEN, S.; LUO, J.; SUKIAS, J. Integrated treatment of farm effluents in New Zealand's dairy operations. *Bioresource Technology*, [S. l.], p.5490–5497, 2009. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.03.004.
- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências., [S. l.], p. 1–13, 2010.
- COMINO, E.; RIGGIO, V. A.; ROSSO, M. Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresource Technology*, [S. l.], p.46–53, 2012. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.090.
- CONAMA. Resolução N° 430, De 13 De Maio De 2011. [S. l.], p. 8, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A. C. Análise química de solo (metodologia). Viçosa, UFV, 1981.
- DUNNE, E. J.; CULLETON, N.; O'DONOVAN, G.; HARRINGTON, R.; OLSEN, A. E. An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. *Ecological Engineering*, [S. l.], p.219–232, 2005. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2004.11.010.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O. G.; Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura, 2010.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1. 2021
- GOTTSCHALL, N.; BOUTIN, C.; CROLLA, A.; KINSLEY, C.; CHAMPAGNE, P. The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. *Ecological Engineering*, [S. l.], p.154–163, 2007. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.06.004.
- INAES - Instituto Ernesto de Salvo. Estado da arte das pastagens em Minas Gerais. 1.ed. Belo Horizonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento,

2015. 206p.

KISSA, E., Dispersions ã characterization, testing, and measurement. Surfactant Science Series, , p.282-344, 1999.

LENTZ, R.D., I. SHAINBERG, R.E. SOJKA AND D.L. CARTER. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. 1992

LENTZ, R.D. AND R.E. SOJKA. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. Soil Science. 1994B.

LENTZ, R.D., AND R.E. SOJKA. Polyacrylamide application to control furrow irrigation-induced erosionp. p. 419-430,1996.

LUOSTARINEN, S. A.; RINTALA, J. A. Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB-septic tanks at low temperatures. Water Research, [S. l.], p.436–448, 2005. DOI: 10.1016/j.watres.2004.10.006.

MAGANHA, M. F. B. Guia t3cnico ambiental da ind3ustria de produtos l3cteos. Revista de Economia e Sociologia Rural, [S. l.], p.257–290, 2008. DOI: 10.1590/S0103-20032008000200001.

MESQUITA, M. G.B.F.; MORAES, S. O.; A depend3ncia entre a condutividade hidr3ulica saturada e atributos f3sicos do solo. p. 963-969, 2004

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. AND BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Ara3jo, J.D. e Lourenço, S., Eds. M3todos de pesquisa em fertilidade do solo, EMBRAPA, Bras3lia, 189-198p 1991.

OLIVEIRA, R. A. DE REZENDE, L.S.; MARTINEZ, M.A.; MIRANDA, G.V. Influ3ncia de um pol3mero hidroabsorvente sobre a retenç3o de 3gua no solo. Revista Brasileira de Engenharia Agr3cola e Ambiental,p. 160-163, 2004.

PEROBELLI, F.; ARA3JO JUNIOR, I. F. De; CASTRO, L. S. As dimens3es espaciais da cadeia produtiva do leite em Minas Gerais. Nova Economia, [S. l.], p.297–337, 2018. DOI: 10.1590/0103-6351/4789.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; OLIVEIRA PROC3PIO, S.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; B3ER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras 3 cultura da soja em plantio direto. Ceres, p. 7-16, 2015.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020

RIBEIRO, K.C.. Avaliaç3o Da Qualidade Do Solo E De Tifton 85 Em Resposta 3 Aplicaç3o De Efluentes De L3ct3nios, TCC- Universidade Federal de Viçosa,2018.

RICO, C.; GARC3A, H.; RICO, J. L. Physical–anaerobic–chemical process for

treatment of dairy cattle manure. *Bioresource Technology*, [S. l.], p.2143–2150, 2011. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.10.068.

RUANE, E. M.; MURPHY, P. N. C.; HEALY, M. G.; FRENCH, P.; RODGERS, M. On-farm treatment of dairy soiled water using aerobic woodchip filters. *Water Research*, [S. l.], p.6668–6676, 2011. DOI: 10.1016/j.watres.2011.09.055.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, [S. l.], p.10–18, 2009.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FERNANDES, M. B.; OLIVEIRA, D. A. Composição do lixiviado em quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. *Revista Caatinga*, p.189-203, 2008.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007a.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; *Manual de métodos de análise de sol.*, 2017.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, p.223-230, 2008.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, p.1487-1492, 2004.

ZOCCAL, R. Anuário do Leite 2019: novos produtos e novas estratégias da cadeia do leite para ganhar competitividade e conquistar os clientes finais. *Anuario Leite*, [S. l.], p.53, 2019.

CAPÍTULO 2

Fluxo de CO₂ e dinâmica da biomassa microbiana em resposta à disposição de soro de leite no solo

RESUMO

Os efluentes são resíduos normalmente produzidos em agroindústrias e sua destinação final sempre é uma preocupação por conta de potenciais impactos ambientais. Neste contexto, a avaliação do efeito de aplicação dessas águas residuárias na qualidade do solo podem proporcionar subsídios técnicos relevantes para o seu melhor reuso, além de oferecer informações importantes para o programa de monitoramento que se segue à essa disposição. Efluentes como o soro de leite devem ter destinação final adequada e seu reuso na fertirrigação do solo pode ser uma opção interessante do ponto de vista da nutrição vegetal pela sua expressiva carga orgânica e presença de nutrientes. Entretanto, a adição de material orgânico no solo pode contribuir para o aumento dos gases do efeito estufa, e isto tem sido pouco considerado em muitos estudos de aplicação de efluentes no solo. Uma vez que o soro é produzido em grandes volumes na indústria de laticínios, é interessante a avaliação de culturas que sejam capazes de tolerar altas doses do efluente. Assim, o capim Tifton 85 pode ser uma interessante opção, dada sua resistência, perenidade e elevada capacidade de rebrota e produção. Dada a presença de sódio no efluente e o risco de dispersão de argilas, o uso de condicionadores que favorecem a floculação é interessante, e a poliacrilamida (PAM) é um produto que tem se destacado com esta finalidade ultimamente. Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar como o reuso agrícola do soro de leite afeta a emissão de dióxido de carbono (CO_2) e a dinâmica da biomassa microbiana do solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em experimento na presença e ausência de PAM e com a aplicação de doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m^3/ha) em dois solos de texturas contrastantes. O polímero e as doses de efluentes foram aplicadas semanalmente nos vasos que foram cultivados com o Tifton 85 por 120 dias. Por limitações operacionais, a avaliação de fluxo de CO_2 foi efetuada somente nas doses zero e 300 m^3/ha de efluente. Por sua vez, dois tratamentos adicionais foram acrescentados para o controle da resposta do soro de leite na ausência da poliacrilamida e da planta; e da resposta apenas do solo. A dinâmica da biomassa microbiana foi avaliada por meio da determinação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N) microbiano. Os resultados indicaram que a adição do soro de leite aumenta o fluxo de CO_2 do solo, sendo que esse fluxo é influenciado pela textura

do solo. A aplicação do efluente aumenta a atividade biológica no solo, gerando ganhos de C e N na biomassa microbiana. Os dados sugerem que a aplicação do soro de leite no solo deve considerar o seu efeito na degradação da matéria orgânica nativa do solo, o que pode ser um problema.

Palavras-chaves: reúso de efluentes, PAM, emissão de gases, Tifton 85

INTRODUÇÃO

O manejo do solo pode ampliar ou mitigar as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) na agricultura (JANZEN et al., 1998; BAYER et al., 2000). As mudanças climáticas são uma realidade e efeitos negativos podem afetar, num futuro próximo, a produtividade das culturas, e impactar a segurança alimentar global (IPCC, 2001). Em termos globais, a agricultura contribui com aproximadamente 20% das emissões de dióxido de carbono (CO_2), 50 % das emissões de óxido nitroso (N_2O) e 70 % das emissões de metano (CH_4) (IPCC, 2001). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de alimentos e tem na agricultura um relevante setor de geração de riqueza e renda. Neste contexto, o setor agrícola brasileiro tem o grande desafio de continuar produzindo e gerando divisas e, ao mesmo tempo, contribuir com os compromissos do país perante o Acordo de Paris e outros acordos internacionais, que estabelecem o propósito de redução das emissões dos GEEs.

Dentre os GEEs, o fluxo de CO_2 está diretamente ligado à produção vegetal, base da agricultura. O solo é o maior reservatório terrestre de carbono e este estoque de carbono orgânico (COS) é determinado pelo balanço anual dos aportes do C fotossintetizado (influxo) e das perdas (efluxo) pela oxidação do C orgânico a CO_2 pelos microrganismos heterotróficos (IPCC, 2001). Desta forma, a partir da variação dos estoques de COS pode-se avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo adotados no influxo ou efluxo líquido de C no sistema solo-planta-atmosfera, e vice-versa (JOHNSON, 1995).

Solos sob vegetação natural preservada apresentam estoques de COS mais estáveis, resultantes do equilíbrio estabelecido entre as entradas de carbono a partir da produção primária e os efluxos de CO_2 no sistema (COSTA et al., 2006). Quando o solo passa a ser cultivado, ocorrem alterações nesses fenômenos que refletem diretamente nos estoques de COS (ROBERTSON et al., 2000). Normalmente, o cultivo resulta na redução do conteúdo de carbono do solo, como resultado da exposição de compartimentos estáveis de carbono ao processo de oxidação biológica e conseqüente aumento dos efluxos de CO_2 (ROBERTSON et al., 2000). Nesse cenário, a quantidade líquida de CO_2 emitida em decorrência do uso agrícola pode ser determinada a partir da diferença entre o estoque de COS cultivado em relação ao solo sob vegetação natural, sendo o procedimento indicado

pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas para a realização de inventários das emissões de CO₂ na agricultura (IPCC, 2001).

Na avaliação *in situ* dos fluxos de GEEs no sistema solo-atmosfera, uma das alternativas metodológicas é a utilização de câmaras estáticas que capturaram os gases liberados pelo solo na atmosfera. O ar retido no interior da câmara é coletado sequencialmente em intervalos de tempo e os fluxos dos GEEs são quantificados a partir da variação da concentração de cada gás no tempo (HUTCHINSON e LIVINGSTON, 1993).

Além da produção vegetal *in loco*, a adição de resíduos é outro fator que afeta a dinâmica dos GEEs no solo. Neste particular, a qualidade bioquímica dos resíduos influencia sobremaneira os padrões de decomposição e liberação de N e C e a melhor compreensão desta composição pode permitir a calibração e alimentação de modelos que buscam estimar a dinâmica do C e do N no solo (THURIÉS et al., 2002). O N tem papel importante na humificação e na formação dos componentes mais estáveis da matéria orgânica do solo (MOS), entretanto, a maior parte dos estudos tem sido orientado na avaliação da adição de resíduos mais ricos em C (PINHEIRO, 2007).

Avaliações de parâmetros microbiológicos com rápida resposta sobre a qualidade do solo tem sido um ponto chave para se avaliar a segurança de aplicação de resíduos sobre o solo. A atividade microbiana do solo neste sentido tem sido utilizada para avaliar a qualidade do resíduo aplicado na agricultura (HERNÁNDEZ-ALLICA, 2006; ARMENTA et al., 2012; BOHM et al., 2014).

Os resíduos líquidos são produtos normalmente associados às agroindústrias e sua destinação final sempre é uma preocupação nesses empreendimentos. Neste contexto, estudos que busquem avaliar o efeito de sua aplicação nas características biológicas do solo podem gerar subsídios técnicos para o seu melhor reuso, além de oferecer informações relevantes para o monitoramento da qualidade do solo, efeitos sobre a matéria orgânica e o aporte de nutrientes no solo, além da resposta de culturas cultivadas e irrigadas com esses efluentes (PEREIRA et al., 2015).

Um exemplo de efluente com uso potencial na agricultura é o soro de leite. Este resíduo apresenta uma taxa de carga orgânica que pode atingir entre 27.000 e 60.000 mg/L de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (PRAZERES, CARVALHO e RIVAS, 2012). Outras características físico-químicas deste efluente, obtidas a partir de amostras de soro de queijo muçarela, oriundas de 24 municípios de

diferentes regiões do estado de Minas Gerais, são: pH ($6,19 \pm 0,26$), sólidos totais ($6,33 \pm 0,43$ g / 100 g), gorduras ($0,77 \pm 0,26$ g / 100 g), proteínas ($0,84 \pm 0,04$ g / 100 g), lactose ($4,42 \pm 0,68$ g / 100 g), cinzas ($0,47 \pm 0,04$ g / 100 g) e cloretos ($0,18 \pm 0,01$ g / 100 g) (TEIXEIRA e FONSECA, 2008). Esses dados sugerem o potencial do efluente leiteiro para uso agrônômico em solos como fonte de matéria orgânica e nutrientes.

O uso de outros efluentes provenientes de atividades agroindustriais na agricultura tem sido difundido em países como Portugal, Reino Unido, Islândia e Espanha (KELESSIDIS e STASINAKIS, 2012), além dos Estados Unidos (CNP, 2002) e China (LIU et al., 2017). Entretanto, no Brasil ainda são poucos os estudos e o incentivo de sua utilização. Em se tratando de uma fonte orgânica, a preocupação com a dinâmica da MOS e o potencial incremento das emissões de GEEs é compreensível, mas poucos são ainda os estudos em solos de clima tropical.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da disposição de soro de leite sobre a dinâmica da biomassa microbiana do solo e as flutuações do carbono orgânico do solo por meio de medições dos fluxos de CO₂.

MATERIAL E METODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. Dois solos foram utilizados no experimento, ambos provenientes da camada de 0 a 20 cm de Latossolos, sendo um argiloso e predominante na região de Viçosa-MG e outro, de textura média, proveniente da cidade de Três Marias, região do Alto Paranaíba, também em Minas Gerais.

As unidades experimentais foram formadas por vasos de 8 dm³ de capacidade e sem restrição à drenagem, que receberam TFSA dos solos descritos previamente. Antes de uma incubação inicial por 30 dias, os solos foram adubados via solução nutritiva padronizada (NOVAIS et al., 1991) e receberam calagem objetivando alcançar 70 % de saturação de bases. Na sequência promoveu-se o plantio, e cada vaso recebeu três mudas do capim Tifton 85. As plantas foram cultivadas com irrigação não limitante até que atingissem, pelo menos, 30 cm de altura. Após 30 dias de cultivo as plantas foram cortadas a 10 cm da altura do solo, momento então que os tratamentos foram aplicados.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial 2 x 5, correspondendo a presença e ausência de PAM e cinco doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha), contando com 100 unidades experimentais para cada solo, fator que foi analisado separadamente.

A aplicação das doses de soro de leite foi semanal. Também semanais foram as adições de 1 L por vaso da solução 0,1 g L⁻¹ de PAM, sempre aplicadas três dias depois da adição do soro de leite. As menores doses de aplicação do soro de leite e os vasos que não receberam a solução de PAM, receberam doses proporcionais de água destilada para compensar o volume líquido aplicado na dose de soro e na maior dose de PAM. A umidade do solo dos vasos foi controlada procurando manter 60 % da capacidade de campo durante todo o período do experimento.

O soro de leite utilizado foi obtido junto ao Laticínios Funarbe, localizado no Campus da UFV. O soro de leite foi recolhido na unidade de beneficiamento no mesmo dia da aplicação ou, no máximo, na tarde anterior do dia de aplicação, sendo sempre mantido em condição refrigerada até a aplicação no solo. A caracterização do soro é apresentada na Tabela 1.

O Tifton 85 foi cultivado por 120 d, momento em que as plantas colhidas. O solo dos vasos foi destorroado, passado em peneira de 2 mm, homogeneizado e, posteriormente, as amostras foram mantidas em geladeira a uma temperatura aproximada de 4 °C até análises de C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM).

O C da biomassa microbiana foi avaliado pelo método de Irradiação-Extração, conforme adaptação de ISLAM e WEIL (1998), com auxílio de um micro-ondas. As análises foram efetuadas em triplicata e os extratos utilizados na determinação do CBM conforme TEDESCO et al. (1995), considerando a correção pelo fator Kc de 0,33 (SPARLING e WEST, 1988). O mesmo extrato do método da irradiação-extração foi utilizado na determinação do NBM, conforme metodologia adaptada de BROOKES et al. (1985) e TEDESCO et al. (1985) e considerando o fator Kn de 0,54 (SPARLING e WEST, 1988).

Tratamentos adicionais foram acrescentados para o controle de resposta do soro de leite, todos sem a presença da poliácridamida. Os controles negativos (TG- e TM-) foram formados pelas unidades experimentais contendo apenas o solo, que foi mantido sob irrigação, mas sem a presença de plantas. Os controles positivos (TG+ e TM+) foram formados por unidades experimentais contendo apenas o solo, sem a presença de plantas, mas irrigados semanalmente com soro de leite na maior dose aplicada (300 m³/ha).

As avaliações dos fluxos de CO₂ foram efetuadas por meio de coleta de gases. No momento da montagem do experimento foram inseridos cilindros de PVC de aproximadamente 10 cm de altura e diâmetro, na superfície dos vasos com metade de sua altura inserida no solo (Figura 1). Especificamente para esta avaliação, foram selecionadas a maior e a menor dose dentro de cada solo (0 e 300 m³/ha). No momento da coleta dos gases, câmaras também de PVC eram instaladas sobre o cilindro para a contenção dos gases liberados pela atmosfera do solo. A câmara, de 706,5 cm³ de volume, possuía um septo central de borracha na sua parte superior. Pelo septo eram introduzidas duas seringas, para obtenção do volume mínimo necessário para detecção dos gases analisados, em sequência para a sucção dos gases acumulados. As seringas de 60 mL de capacidade foram introduzidas em intervalos de tempo de 0, 20, 40 e 60 minutos após o fechamento da câmara. Os gases coletados foram injetados no equipamento *Cavity Ring-Down Spectroscopy* (CRDS, marca Picarro) para a quantificação do CO₂.

Tabela 1 – Caracterização do soro de leite utilizado no experimento. Médias de

Composição do soro de leite			
Sólidos totais (mg/L)	404,5 (376,4-445,7)	P (mg/L)	309,1 (193,48 – 853,57)
DBO (mg/L)	28.773 (27578 – 29702)	K (mg/L)	2.127,6 (1.489,1 – 2.673,2)
DQO (mg/L)	57.092 (54.722 – 58.936)	Ca (mg/L)	993,9 (806,2 – 1.176,75)
Óleos e graxas (%)	0 (0 – 0)	Mg (mg/L)	348,3 (151,78 – 1.026,1)
CE (mS/cm)	2.043 (1.906 – 2.189)	Na (mg/L)	1.131,8 (962,4 – 1.281,8)
pH	4,28 (4,22 – 4,35)	N (mg/L)	1.366,05 (1.137,5 – 1.623,6)

Concentração média e variação, mínima e máxima, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO); Óleos e graxas; Condutividade elétrica (CE); pH; e teores de P, K, Ca, Mg, Na e N.



Figura 1: Detalhes das câmaras de coleta de CO₂ dispostas nos vasos no experimento de casa de vegetação.

Uma avaliação inicial foi realizada antes da primeira aplicação de soro de leite. As demais avaliações ocorreram logo após esta aplicação e depois de 1, 2, 4, 6 e 8 semanas. Logo após as coletas de gases de 4 e 8 semanas, o capim Tifton 85 foi cortado a 10 cm de altura da superfície.

Tratamentos adicionais foram usados para se estimar a respiração autotrófica e heterotrófica nas unidades experimentais. A respiração autotrófica foi considerada como sendo a respiração das plantas, enquanto a respiração heterotrófica, aquela dos microrganismos do solo. Para isto os seguintes tratamentos foram preparados: vasos com areia lavada (AL), areia lavada com a presença da planta avaliada (AL+P) e areia lavada com aplicação da dose de soro (AL+S) de 300 m³/ha. A respiração autotrófica foi estimada pela diferença (AL+P) –AL, e a respiração

heterotrófica pela diferença (AL+S) – AL. Esses tratamentos adicionais receberam irrigação constante, mesmo na ausência de plantas. A estimativa dessas diferenças que levaram à avaliação da respiração autotrófica e heterotrófica foram efetuadas de maneira apenas descritiva, por não permitir o particionamento efetivo da contribuição de cada componente do sistema na emissão total de gases.

Os solos foram analisados de forma independente. Os dados obtidos de C e N da biomassa microbiana foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após verificação dos preceitos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente. As médias do fator qualitativo PAM foram comparadas pelo teste de Tukey à 10 % de significância. As doses de soro de leite foram analisadas por regressão linear, e os parâmetros tiveram sua significância verificada pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. O software R, versão 4.0.2 (COREL TEAM, 2020) foi utilizado em todos os processamentos estatísticos com o pacote ExpDes.pt, versão 1.2.1 (FERREIRA et al., 2021). Os resultados de fluxo de CO₂ foram avaliados de forma descritiva a partir dos gráficos gerados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica do C e N da biomassa microbiana foi afetada de forma diferenciada pelos tratamentos. A interação dose de soro e PAM influenciou os teores de CBM no solo argiloso (TG) e os de NBM no solo arenoso (TM). Por sua vez, os teores de CBM em TM e de NBM em TG foram apenas afetados pelas doses do soro (Figura 2).

Desta forma, assume-se que o incremento das doses de soro aumentou a biomassa microbiana nos dois solos avaliados, refletindo em aumentos dos teores de CBM (Figura 2a). O PAM pouco influencia esta dinâmica, indicando apresentar efeito limitado quando aplicado em conjunto a doses iguais ou superiores a 300 m³/ha de soro de leite no solo arenoso. Esta imobilização de C na biomassa microbiana pode ser associada ao fato do efluente utilizado ser de natureza essencialmente orgânica e de elevada labilidade.

Tabela 2 – Comparação dos controles positivos e negativos com as unidades experimentais.

		CBM		NBM	
		C/ PL	S/PL	C/ PL	S/PL
		(+)	(-)	(+)	(-)
Solo TG	Dose 0	74,6 Ab	51,1 Ab	0,007 Ab	0,002 Bb
	Dose 300	526,3 Aa	530,2 Aa	102,91 Aa	68,08 Ba
Solo TM	Dose 0	55,0 Ab	47,1 Ab	0,01 Ab	0,014 Ab
	Dose 300	593,0 Aa	545,9 Aa	68,17 Aa	65,27 Aa

Controles positivos (+) e negativos (-). Letras minúscula idênticas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro do mesmo solo, não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

A comparação entre os controles negativos (TG- e TM-) e positivos (TG+ e TM+) realça os ganhos de biomassa microbiana de aproximadamente 1000% com a adição do soro no solo cultivado (Figura 2a). A contribuição das doses de soro no incremento dos teores de CBM foi maior do que aquela proporcionada pela presença da planta (Tabela 1). Provavelmente, o incremento de carbono por compostos orgânicos de alta labilidade do soro de leite mascarou o efeito daquele gerado pelos exsudados radiculares e advindos da morte das raízes. Esta hipótese

é reforçada ao se contrastar os controles positivos (TG+ e TM+) com as unidades experimentais com tratamento na sua maior dose (300 m³/ha) e presença de planta (Tabela 2). Esses tratamentos adicionais proporcionaram valores de CBM de 530,2 mg/kg (TG+) e 545,9 mg/kg (TM+), teores bem próximos dos alcançados na maior dose e na presença das plantas.

Quando se analisam os teores de NBM, nota-se incrementos dos teores desta variável com o aumento das doses de soro (Figura 2b). A adição de PAM pouco influenciou o NBM dos solos, e novamente e apenas com algum efeito limitado às maiores doses de soro aplicadas no solo argiloso. À carga orgânica expressiva do efluente é atribuído a este efeito, que não são verificadas quando se analisam os controles negativos (TG- e TM-). Diferentemente do caso do CBM, houve incremento de NBM com a presença de plantas, mas apenas no solo argiloso (TG). Esse fato pode estar associado as características desse solo, que podem ter favorecido a redução da disponibilidade do soro de leite para a proliferação e decomposição microbiana, e nesse caso a presença da planta pode estar promovendo uma maior disponibilidade deste resíduo através de processos rizosféricos, como por exemplo pela acidificação a partir dos exsudados radiculares. No solo arenoso, o tratamento adicional controle positivo (TM+), que considera apenas a contribuição do efluente, revelou teor de 65,3 mg/kg de NBM, valor muito próximo do alcançado na maior dose e presença de planta. Nesse solo, a matriz menos reativa faz com que o acesso ao substrato pela microbiota seja menos restrito, reduzindo o efeito da planta como promotora do crescimento microbiano. Por outro lado, no solo argiloso, este mesmo controle positivo (TG+) indicou 68,1 mg/kg de NBM, resultado abaixo daquele obtido no solo cultivado com o capim Tifton 85 na presença (112,4 mg/kg) e ausência (102,9 mg/kg) de PAM.

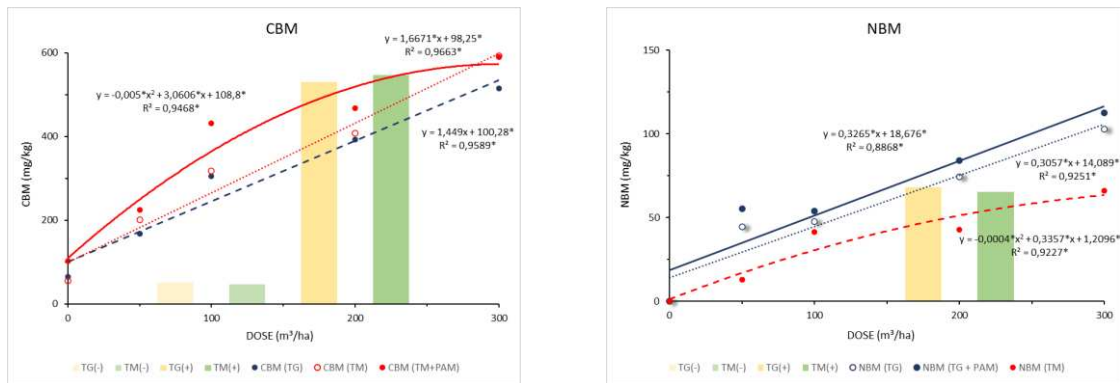


Figura 2: Carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana em solos argiloso (TG) e arenoso (TM) após 16 semanas de aplicação semanal de doses crescentes de soro de leite, na presença e ausência de PAM. Barras identificam tratamentos adicionais, sem cultivo e adição de soro ou PAM (TG- e TM-) e com solos com adição de 300 m³/ha de soro de leite e sem PAM (TG+ e TM+), *** (p<0,01), ** (p<0,05), * (p<0,1).

Quando se adicionam resíduos orgânicos em solos que contam com plantas como gramíneas, de sistema radicular abundante, espera-se estímulos para a biomassa microbiana, o que proporciona aumento populacional acelerado e consequentemente alta atividade (CATTELAN e VIDOR, 1990). A presença da planta favoreceu o crescimento da biomassa microbiana, o que pode estar associado ao fato de as raízes liberarem compostos de baixo peso molecular e moléculas simples com alto potencial energético, o que induz o aumento da atividade microbiana. Por outro lado, não se pode esquecer que a adição de soro de leite também proporciona tais compostos e alguns nutrientes em baixa disponibilidade no solo. Ambas essas adições levam ao *efeito priming*, termo usado para indicar a possibilidade de decomposição matéria orgânica original do solo quando se tem introdução no solo de resíduos ou outros compostos orgânicos que demandem energia e nutrientes para sua decomposição não são suficientemente aportados pelos materiais adicionados (KUZUYAKOV, 2010).

A biomassa microbiana representa o compartimento central do ciclo do C e N no solo, podendo funcionar como reserva destes elementos e até como catalisador para a decomposição da matéria orgânica do solo (SOUZA et al., 2010). Desta

forma, ganhos de biomassa microbiana são interessantes para a qualidade do solo e dos agroecossistemas. Esses ganhos de biomassa microbiana, em especial no que se refere ao N, são especialmente valiosos. Do N total de um solo, estima-se que apenas de 1 a 5 % esteja associado à biomassa microbiana (JENKINSON e LADD, 1981). Embora possa ser considerado pouco, o NBM é associado a reserva mais lábil e favorecendo os processos de ciclagem de outros nutrientes no solo, sendo considerado um relevante indicador de qualidade dos solos (JACKSON et al., 2003). Portanto, os incrementos de NBN obtidos com a adição de soro de leite são potencialmente interessantes para ganhos de qualidade e produtividade de solos de menor disponibilidade de N, como é o caso dos de clima tropical e mantidos sob pastagens.

A avaliação da emissão de gases indicou que a adição de 300 m³/ha de soro de leite incrementou em pelo menos dez vezes a respiração dos solos avaliados (Figura 3). Em se tratando de um efluente de grande carga orgânica, este resultado era esperado e se deve a grande quantidade de carbono de maior labilidade presente no soro de leite. Este elemento provavelmente foi utilizado pela microbiota como fonte de energia para seu crescimento, refletindo no aumento do fluxo de CO₂, assim como verificado por BROOKES (1995) e MARTINES et al. (2006), que observaram incrementos de fluxos de carbono liberado pela atividade microbiana do solo associada à mineralização de compostos orgânicos. Este aumento da emissão de CO₂ do solo pode ser atribuído às altas doses de soro aplicadas e à sua alta carga orgânica (Tabela 2), respiração radicular das plantas e à dinâmica da comunidade microbiana, não tendo sido influenciada pela temperatura do solo, que se manteve aproximadamente estável ao longo das semanas (Figura 3). Os resultados indicam que, em ambos os solos, a alta carga orgânica aplicada pode ter estimulado os microrganismos decompositores do solo a consumirem o carbono advindo do soro de leite. Este estímulo da degradação do material orgânico adicionado, em alguns casos, pode levar ao aumento da taxa de degradação da matéria orgânica nativa do solo, resultando em *efeito priming positivo*. Segundo KUZUYAKOV et al. (2000), as causas, mecanismos e fontes que geram o efeito *priming* não são totalmente conhecidas, porém o incremento de N, principalmente amoniacal, de fontes orgânicas facilmente biodegradáveis aceleram a mineralização da matéria orgânica nativa do solo em função da redução da sua relação C/N ou por cometabolismo. Sendo assim, o soro de leite aplicado apresenta

potencial de promover efeito *priming* positivo por ser uma fonte orgânica de aparente fácil decomposição e com alto teor de N-total (Tabela 1). Isso pode ser um potencial problema, tendo em vista que a matéria orgânica dos solos tropicais representa uma pequena fração dos solos (frequentemente de 1 a 5 %), e o soro aplicado por longos períodos e altas doses pode induzir a mineralização de frações da matéria orgânica já estabilizada nas interações organominerais, como por exemplo a matéria orgânica associada aos minerais (MAM).

Embora os valores máximos alcançados de fluxo de CO₂ tenham sido próximos nos dois solos, verificou-se uma diferença na taxa de incremento da emissão e no momento do patamar. O aumento do fluxo foi mais rápido no solo arenoso e atingiu o máximo entre a segunda e quarta semana do início da adição das doses de soro, enquanto no solo argiloso o incremento da emissão foi mais lento e o máximo somente apareceu depois de seis semanas de aplicação. O maior teor de argila e a presença de micro- e macrosítios dos agregados presentes no solo mais argiloso podem ter conferido maior proteção ao carbono adicionado via soro, dada a maior superfície específica das argilas e maior agregação deste solo. Embora esta maior proteção do carbono em solos mais argilosos contra a decomposição de carbono seja bem relatada na literatura (LADD et al., 1993; CHRISTENSEN, 1996, SOLLINS et al., 1996), os dados do presente estudo destacam que este efeito protetivo é muito rápido, já aparecendo na semana seguinte à aplicação do efluente de alta carga orgânica.

O incremento mais lento da curva de efluxo de CO₂ no solo argiloso pode demonstrar também a melhor adaptação dos microrganismos em consumir o soro de leite que era semanalmente adicionado (Figura 2). Esta adaptação mediante crescimento da biomassa microbiana foi capaz de ir consumindo o substrato adicionado sem alcançar um máximo rapidamente. A presença ou ausência de plantas nos vasos não afetou esta dinâmica do efluxo de CO₂ e as respostas foram basicamente associadas à adição das doses de soro. Apesar do maior efeito ser associado ao soro, existe um *gap* entre as curvas que pode ser relacionado à respiração radicular. Entretanto isto não pode ser confirmado, uma vez que seria necessário um contraste em cada ponto de coleta de gases para se descartar este efeito de plantas.

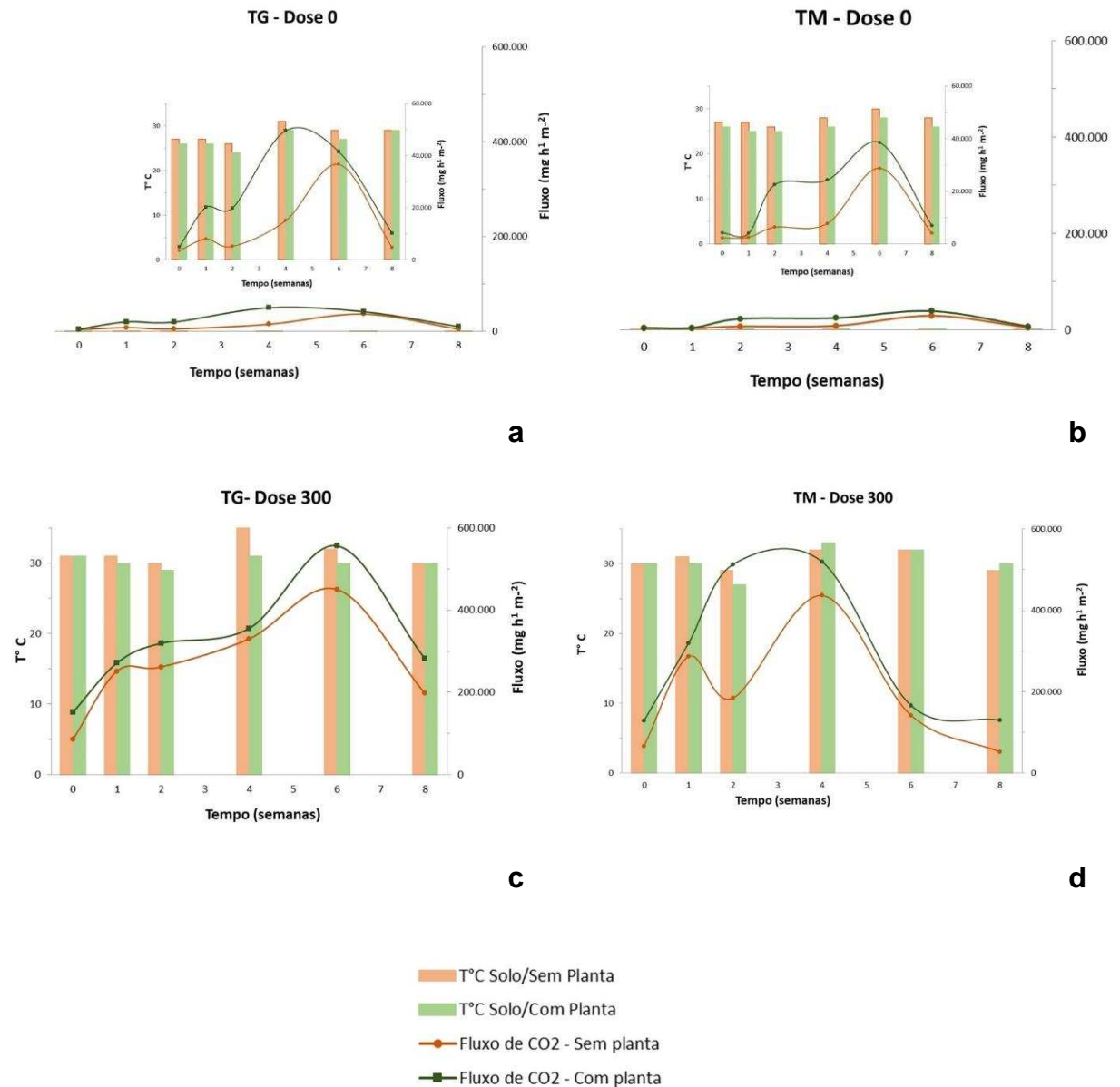


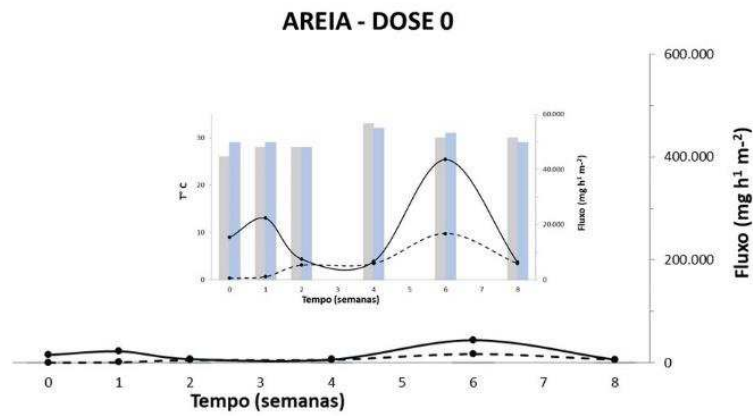
Figura 3: Fluxo de CO₂ e temperatura do solo em função do tempo e em resposta a adição semanal de 300 m³/ha de soro de leite em solo argiloso (TG) e arenoso (TM), cultivados na presença e ausência de plantas. No controle (Dose 0) os vasos receberam o mesmo volume de soro na forma de água.

A presença de plantas no solo arenoso acarretou o alcance do máximo de efluxo de CO₂ já na segunda semana de aplicação do soro de leite. Na ausência do vegetal, o patamar demorou ainda mais duas semanas para ser atingido. A presença de plantas pode ter favorecido, pela criação neste solo de textura mais grosseira, condições mais adequadas ao crescimento microbiano e melhora na agregação do solo pelos exsudados radiculares e aproximação física gerada pelas raízes, acarretando uma maior comunidade microbiana e conseqüentemente maior respiração.

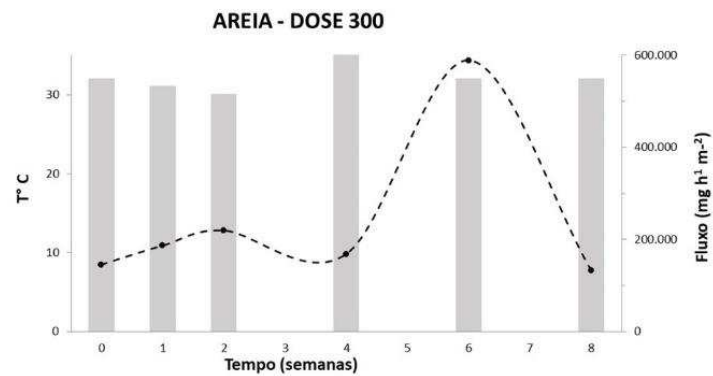
Depois de alcançado o máximo de efluxo de CO₂, as taxas de emissão foram reduzidas com o passar das semanas e a continuidade de aplicação das doses de soro de leite. O declínio pós máximo é brusco de uma semana para outra e reflete a resposta típica do crescimento microbiano.

Depois de praticamente seis semanas de aplicação do soro de leite, o efluxo de CO₂ no solo arenoso retornou à condição verificada na primeira avaliação e antes da adição do efluente orgânico. No solo argiloso este retorno à condição inicial já ficou para a oitava semana, indicando tendência de redução ainda se houvesse mais uma avaliação. O retorno à condição inicial de emissão de CO₂ nos dois solos, mesmo com a continuidade da aplicação do soro de leite, pode ser atribuído ao fato de a comunidade microbiana ter atingido uma condição em que os microrganismos restantes estão mais adaptados à alta disponibilidade do efluente. Desta forma, mesmo com mais fonte de energia no meio, não se verifica a explosão de crescimento microbiano, e sim uma estabilidade da atividade da comunidade microbiana.

Os resultados obtidos indicam o potencial de emissão de CO₂ com a adição do soro de leite no solo, advindo de sua decomposição, liberando dióxido de carbono na atmosfera quando se tem menor proteção do solo e/ou incorporação do material pela biomassa microbiana do solo. Na dose 0 m³/ha (Figura 4 a) podemos observar o incremento do fluxo dado unicamente pela respiração autotrófica das raízes das plantas em ciclos de crescimento, morte de raízes e novo crescimento de raízes, que coincide com os intervalos de poda das plantas.



a



b



Figura 4: Fluxo de CO₂ e temperatura em função do tempo e em resposta a adição semanal de 300 m³/ha de soro de leite em substrato de areia, cultivado na presença e ausência de plantas. No controle (Dose 0) os vasos receberam o mesmo volume de soro na forma de água.

CONCLUSÕES

A adição de soro de leite no solo aumenta o fluxo de CO₂ do solo, tanto causada por ação dos microrganismos - via heterotrófica, como pela própria ação das plantas – via autotrófica.

A textura afeta a taxa de emissão de CO₂ quando o efluente de alta carga orgânica é aplicado no solo. A aplicação de doses semanais de soro de leite incrementa a atividade biológica do solo, com ganhos de incremento em C e N na biomassa microbiana do solo.

REFERÊNCIAS

- ARMENTA, R.; VACA, R.; LUGO, J.; AGUILA, P. del. Microbiological and biochemical properties of an agricultural Mexican soil amended with sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.1646-1655, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500029>
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.599-607, 2000.
- BOHM, G. B.; BETEMPS, G. R.; BIERHALS, L. N.; SANCHES FILHO, P. J.; SCHWANZ, S. M. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto em Argissolo cultivado com soja. *Revista Thema*, p.12-23, 2014. <https://doi.org/10.15536/thema.11.2014.12-23.202>
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* p. 837-842, 1985.
- BROOKES, P.C., The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, p.269-279, 1995.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuacoes na biomassa, atividade e populacao microbiana do solo, em funcao de variacoes ambientais. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, p.133-142, 1990.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.) *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Press, 1996.
- CNP - CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA, Comitê de tóxicos e patógenos em bio sólidos aplicados ao solo, Conselho de Estudos Ambientais e Toxicologia. *Bio sólidos aplicados à terra: aprimorando padrões e práticas*. National Academies Press, EUA, 2002.
- COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Cienc. Rural*, p. 693-700, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000200056>.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. *ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues)*. R package version 1.2.1. 2021
- HERNÁNDEZ-ALLICA, J.; BECERRIL, J. M.; ZÁRATE, O.; GARBISU, C. Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. *Plant and Soil*, p. 147-158, 2006.
- HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: HARPER, L.A. et al. (ed). *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. p.63-78, 1993
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2001: the scientific basis*. United Kingdom. Cambridge University, 2001.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fert. Soils*, 1998.

- JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J.; STEENWERTH, K.L.; SCOW, K.M.; ROLSTON, D.E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma*, p.305-317, 2003.
- JANZEN, H.H. et al. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil & Tillage Research*, p.181- 195, 1998.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; Ladd J.N (eds). *Soil biochemistry*. Marcel Deker, . p.425-471, 1981.
- JOHNSON, M.G. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: LAL, R. et al. (eds). *Soil management and greenhouse effect*. *Advances in soil science*. Boca Raton: CRC, p.351-362, 1995.
- KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste management*, p. 1186-1195, 2012.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, p.1485-1498, 2000.
- KUZYAKOV, Y, Priming effects: Interactions between living and dead organic matter, *Soil Biology and Biochemistry*, 2010.
- LADD, J.N.; FOSTER, R.C.; SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*, Amsterdam, p.401-434, 1993.
- LIU, X.; LIU, W.; WANG, Q.; WU, L.; LUO, Y.; CHRISTIE, P. Soil properties and microbial ecology of a paddy field after repeated applications of domestic and industrial sewage sludges. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 8619-8628, 2017.
- MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2006
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. AND BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D. e Lourenço, S., Eds. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*, EMBRAPA, Brasília, p.189-198p, 1991
- PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management.*, p. 48-68, 2012.
- PEREIRA, E. G.; DIAS, A. DOS S.; PEREIRA, D. S.; SANTOS, J. S. Desenvolvimento inicial do rabanete submetido à adubação orgânica e microrganismos eficientes. *Anais IV SIMPA Simpósio de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa*, 2015.
- PINHEIRO, E. F. M., *Fracionamento Físico e Caracterização da Matéria Orgânica do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais*, 2007.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020

- ROBERTSON, G.P. et al. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*, p.1922-1925, 2000.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, Amsterdam, p.65-105, 1996.
- SOUZA, E.D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, p.79-88, Feb. 2010.
- SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labeled sells. *Soil Biol. Biochem.*, , 1988.
- TEDESCO, J. M.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1985.
- TEDESCO, M. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- TEIXEIRA, L.V.; FONSECA, L.M. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais, p.243-250, .2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000100033>.
- THURIÈS, L.; PANSU, M.; LARRÉ-LARROUY, M. C., FELLER, C., Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil, *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, p. 239-250, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00178-X).

CAPÍTULO 3

Teores de nutrientes no capim Tifton 85 em resposta à disposição de soro de leite no solo

RESUMO

O agronegócio nacional tem buscado o aumento da produtividade agrícola e a sustentabilidade e preservação ambiental. Isto é especialmente importante no caso de áreas subutilizadas ou degradadas, como é o caso de grande parte das pastagens brasileiras. A pecuária ocupa grande extensão de terras no país e o rebanho nacional é um dos maiores do mundo, mas em termos gerais, ainda é preocupante as baixas produtividades em muitas das áreas. Uma das razões para isto, além do manejo animal, é o baixo uso de insumos, e o reuso de efluentes pode ser um importante aliado na produção de forrageiras. Mas é interessante identificar forrageiras que possam tolerar altas doses de aplicação, em especial quando se pensa em efluentes com alto volume gerado, como é o caso do soro da indústria de laticínios. Neste cenário, o Tifton 85 é uma interessante opção, dada sua perenidade, rusticidade, produtividade e valor nutritivo. Como apresenta alta exigência em termos nutricionais, especialmente de N, pode ser um aliado no reuso agrícola do soro de leite. Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a produção e o acúmulo de nutrientes do capim Tifton 85 em resposta à aplicação de doses de soro de leite na presença e ausência de poliacrilamida (PAM). Este polímero agregante de solo foi avaliado tendo em vista os altos teores esperados de sódio no efluente e os consequentes riscos de dispersão de argilas com o seu uso. O experimento foi montado em casa de vegetação considerando a adição ou não de PAM e doses crescentes de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha) em dois solos de textura contrastante. Ambos os produtos foram aplicados semanalmente nos vasos, onde as plantas de Tifton 85 foram cultivadas por 120 dias. Depois da colheita das plantas, foram avaliados o acúmulo de nutrientes nas folhas e raízes e a produção de biomassa na parte aérea e no sistema radicular. O acúmulo de nutrientes foi avaliado por digestão total e com os equipamentos sonda EDS acoplada a microscopia eletrônica de varredura e fluorescência de raios X. Os resultados indicam que a aplicação do efluente e do PAM não alteram a morfologia das raízes da gramínea, mas aumenta os teores acumulados de K nas raízes, em ambos os solos; de Ca no solo argiloso e de Na no solo arenoso. O uso de PAM não influencia os teores acumulados de K, P, Ca, Mg e Na nas folhas, que somente são aumentados com o incremento das doses do efluente. A análise por fluorescência de raios X indica acúmulo expressivo de K nas folhas, bem como de

P e Na, além da redução do acúmulo de Ca e Si. A produção de Tifton 85 praticamente não é alterada com o uso da poliacrilamida, mas é crescente até um máximo coincidente com a dose de 200 m³/ha, situação que se correlaciona muito bem com o observado para os teores de N-total nas folhas. O uso do soro de leite pode ser considerado uma fonte interessante de nutrientes, com excelente potencial para a nutrição de Tifton 85, que tolerou doses altas do efluente, com incremento de nutrientes e de biomassa.

Palavras-chaves: reúso de efluentes, PAM, MEV-EDS, fluorescência de raios X, *Cynodon spp.*

INTRODUÇÃO

Uma preocupação atual do agronegócio é a busca por alternativas que associem o aumento da produtividade agrícola e a sustentabilidade e a preservação ambiental. O agronegócio é um setor de destaque na economia do Brasil ao responder por 21,6% do PIB nacional, dos quais 6,6 % são derivados da atividade pecuária (CEPEA, 2018). A pecuária ocupa grande extensão de terras no país, sendo a base para a produção de carne e leite. Dados recentes indicam que o rebanho bovino nacional é de aproximadamente 81 milhões de cabeças, que ocupam 71 milhões de hectares de pastagens (IBGE, 2017).

Dados do Censo Agropecuário evidenciam a transformação do setor da pecuária para modelos de produção mais tecnificados, com sistemas integrados e associados a técnicas de preservação ambiental e conservação dos solos e outros recursos naturais, bem como ao aumento de produtividade, ao bem-estar animal, e a tecnologias de manejo genético, nutricional e sanitário do rebanho (IBGE, 2017). Esta modernização da pecuária nacional traz consigo a necessidade do investimento no cultivo de forrageiras capazes de sustentar altas produtividades.

O Tifton 85 (*Cynodon spp.*) foi desenvolvido pela equipe do Professor Dr. Glenn Burton, no USDA da Universidade da Geórgia (EUA). O Tifton 85 é considerado o melhor híbrido F1 produzido no melhoramento genético a partir do cruzamento de uma matriz de origem sul-africana (PI290884) com o Tifton 68 (BURTON et al., 1993; VILELA e ALVIM, 2003). É considerada uma forrageira rústica, de hastes maiores e folhas mais largas, com boa produção de matéria seca, de fácil pegamento, de produção uniforme ao longo do ano, boa resistência ao calor e ao frio, e de caules subterrâneos, que proporcionam uma maior resistência a secas, geadas, fogos e pastejo intensivos (BURTON et al., 1993).

A produção de matéria seca do Tifton 85 supera 20 t/ha/ano de matéria seca, com bom valor nutritivo (11 a 13% de proteína bruta e 58 a 65% de digestibilidade), constituindo forrageira de alta produtividade e valor nutritivo, muito embora exigente em termos nutricionais, em especial de N (BURTON et al., 1993).

A dinâmica do N no ambiente é extremamente complexa. O nutriente apresenta alta mobilidade no solo e sofre transformações mediadas por microrganismos, que incluem perdas por volatilização e que afetam a sua eficiência (COSTA et al., 2006). Na produção de forragem de alta qualidade torna-se

necessário o investimento em adubações nitrogenadas parceladas, o que aumenta os custos de produção (SOLLENBERGER, 2008). Neste sentido, o reaproveitamento de efluentes ricos em N pode ser uma alternativa interessante para os agricultores por proporcionar ainda outros nutrientes e irrigação adicional, gerando ganhos econômicos, ambientais e de produção. Os ganhos com a irrigação de pastagens são evidentes, extrapolando a solução do problema da estacionalidade de produção que afeta o oferecimento de volumoso na seca, uma vez que a prática reduz o custo e o trabalho para alimentar o rebanho se comparado a outras alternativas de suplementação no outono-inverno, tais como a silagem e o feno (DOVRAT, 1993). Adicionalmente, a irrigação proporciona aumento esperado de 20 e 70% na produção de forragem na época seca (ROLIM, 1994).

Qualquer resíduo líquido lançado no meio ambiente e proveniente de atividades humanas, processos industriais e esgoto doméstico é definido como efluente pela legislação brasileira (CONAMA, 2011). Alguns desses efluentes podem ter valor agrônomo para disposição em solo, entretanto este potencial ainda não é valorizado e mesmo aceito no Brasil, diferentemente do observado em outros países. Os países com maior volume total de efluentes domésticos reutilizados são China, México e Estados Unidos, enquanto os maiores percentuais de reuso estão no Kuwait (91%), Israel (85%), Singapura (35%), Egito (32%), Austrália (15%), Estados Unidos e China (14%), Síria (12%), Espanha (11%) e México (4%) (GLOBAL WATER INTELLIGENCE, 2011).

Dentro de um contexto de reuso de efluentes, as águas residuárias da indústria de laticínios podem ser alternativas interessantes em regiões no entorno dessas unidades agroindustriais. Nestes empreendimentos são gerados volumes expressivos de efluentes, que chegam a atingir um quantitativo de 3,5 L (SARAIVA et al., 2009) a 6 L (MAGANHA, 2006) de água residuária para cada litro de leite processado. A composição desses efluentes varia com o processo e o produto fabricado, mas no geral, é comum o alto teor de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos e nutrientes (ANDRADE, 2011). Como apresentam elevada carga orgânica e, portanto, potencial poluidor para os recursos hídricos, normas exigem que devam ser tratados e adequadamente dispostos no meio ambiente. Embora não considerado nas normas ambientais, o reuso agrícola com disposição no solo na forma de fertirrigação constitui uma alternativa interessante. Esta prática tem

sido avaliada em diferentes partes do mundo com resultados promissores (DE MARCO et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2020).

O soro de leite é um dos efluentes da indústria de laticínios, sendo o principal resíduo da produção de queijos. Nele e nos demais efluentes desses empreendimentos, a presença de nutrientes, em especial de N e P, é característica marcante (MACHADO et al., 2002; CAMMAROTA e FREIRE, 2006), dada a presença no leite de aproximadamente 3% de proteínas e 1.000 mg L⁻¹ de fósforo (PEIRANO, 1995). Esses nutrientes são um risco para a qualidade das águas, pois são associados ao fenômeno da eutrofização, portanto, o reuso dos efluentes no solo pode ser adequada destinação porque eles são macronutrientes muito demandados pelas plantas cultivadas, em especial as de crescimento rápido, como é o caso das gramíneas.

A preocupação com os impactos ambientais da disposição de águas residuárias no solo tem limitado o uso de efluentes de potencial agrônomico no Brasil. Apenas uma única norma da ABNT (NBR 13969) trata claramente do assunto, ao definir critérios para o uso de efluentes provenientes de líquidos de tanque séptico em sistema de tratamento de esgotos domésticos, água residuária que apresenta risco de presença de microrganismos patogênicos. A norma admite o “reuso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação 10 dias antes da colheita” (ABNT, 1997). Para além desta previsão normativa, os órgãos ambientais estaduais têm autonomia para definir critérios para o reuso desses efluentes, e o que se verifica mesmo para efluentes com menor risco de patogenicidade, como é o caso do soro de leite, é a não previsão legal para o reuso. Diferentemente dos demais efluentes da indústria de laticínios, o soro da produção de queijo não contém gordura, sanitizantes ou outros produtos de limpeza, conferindo a ele apenas uma carga orgânica e presença de nutrientes, ambos interessantes para a qualidade dos solos e a produção vegetal.

Uma das preocupações no reuso de efluentes é a presença de cátions dispersantes e salinizantes de solos, como é o caso do sódio. Este elemento pode afetar a dinâmica de floculação dos coloides e causar a dispersão, fenômeno que pode desencadear a instabilidade dos agregados do solo. Efeitos do Na na dispersão de coloides afetando a qualidade do solo já foram identificados com o

uso de esgoto tratado em solo cultivado com Tifton 85 (SANTOS, 2004) e este é um risco potencial do uso do soro da produção de queijo.

Mais recentemente alguns produtos têm sido usados no enfrentamento dos problemas de dispersão de solos. Dentre eles, o uso do polímero poliacrilamida (PAM) tem ganhado destaque (PIRES et al., 2015). O PAM tem sido usado na prevenção da erosão em diversas condições de cultivo e campo (LENTZ et al., 1992; LENTZ E SOJKA, 1994b; LENTZ, 1996). Nos EUA, os PAMs são ainda usados no tratamento de água, processamento de alimentos e outras aplicações sensíveis, sendo que nenhum impacto negativo significativo foi documentado para espécies aquáticas, edáficas ou de cultivo, sendo os polímeros mais eficazes e ambientalmente mais seguros os de grandes moléculas carregadas negativamente (LENTZ et al., 1993). Ao uso do PAM são associados maior coesão do solo, fortalecendo os agregados e evitando o desprendimento de partículas (DE BOODT, 1990; BARVENIK, 1994, SOJKA E LENTZ, 1994b), sendo considerado, portanto, um agente floculante do solo.

Diante de todo o exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de aplicações sucessivas de soro da produção de queijo e do polímero PAM sobre a produção e o acúmulo de nutrientes do capim Tifton 85, como proposta de disposição final e reuso agrícola deste efluente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. Dois solos foram utilizados no estudo, ambos provenientes da camada de 0 a 20 cm de Latossolos, sendo um argiloso e predominante da região de Viçosa-MG, e outro, de textura média, proveniente de Três Marias, também em Minas Gerais.

As unidades experimentais foram formadas por vasos de 8 dm³ de capacidade, que receberam 6 dm³ de TFSA dos dois solos descritos. Na parte interna do fundo vaso e, em cima do orifício efetuado, foi disposta uma malha plástica para a retenção do solo.

Os solos foram previamente adubados e receberam calagem, objetivando alcançar 70 % de saturação de bases. Para tanto, a adubação foi efetuada via solução nutritiva padronizada (adaptado de NOVAIS et al., 1991) para todos os vasos, em aplicação única no início do experimento visando fornecimento inicial de nutrientes durante a incubação para as plantas. Depois de um tempo de 30 d de incubação, cada unidade experimental recebeu cinco mudas de capim Tifton 85. Após um período de cultivo inicial de 30 d, as plantas foram cortadas a 10 cm de altura da superfície do solo - altura de corte recomendada para a produção de feno (BURTON et al., 1993), e neste momento os tratamentos foram aplicados.

O experimento foi organizado em delineamento em blocos casualizados, segundo esquema fatorial 2 x 5, com cinco repetições, correspondendo à adição ou não de 1 L de solução 0,1 g L⁻¹ de PAM e a aplicações semanais de cinco doses de soro de leite (0, 50, 100, 200 e 300 m³/ha). A solução de PAM foi sempre aplicada 3 d após a aplicação das doses de soro de leite. Nas unidades que não receberam PAM, foi aplicado o mesmo volume de água destilada como compensação, procedimento também adotado nas menores doses de soro e destinado a compensar o volume adicionado na maior dose do efluente. A irrigação no restante da semana era efetuada, conforme a necessidade, e visando manter em torno de 60 % da capacidade de campo.

O soro de leite utilizado no estudo foi obtido junto ao Laticínios Funarbe, localizado no Campus da UFV. O soro de leite era recolhido na unidade de beneficiamento no mesmo dia da aplicação ou, no máximo, na tarde anterior do dia de aplicação, sendo sempre mantido em condição refrigerada até o momento de

ser adicionado ao solo. O laticínio encontra-se no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, MG, sendo considerada uma empresa de médio porte, por processar ao redor de 25.000 L dia⁻¹ de leite. O PAM foi adquirido no comércio.

Amostras do soro da produção de queijo *in natura* foram caracterizadas mensalmente para fins de avaliação dos teores de sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), teores de óleos e graxas (APHA, 2005), teores de Na, Ca, Mg, K e P após digestão em mistura de ácido nítrico e peróxido de hidrogênio (FREITAS et al., 2015), concentração de N pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1985), condutividade elétrica e pH. Esses teores não variaram muito e os valores médios são apresentados na Tabela 1.

As plantas foram cultivadas por 120 d. Aos 40, 80 e 120 d foram promovidos cortes da forrageira a 10 cm de altura do solo. Após o último corte, o solo, o material vegetal da superfície até 10 cm e as raízes foram também coletados. Em todos os cortes foi estimada a produção de matéria fresca e, após secagem, a matéria seca, com posterior análise do material vegetal após digestão nitroperclórica (AOAC, 2005) para fins de quantificação dos teores de P, K, Mg, Ca e Na, realizada em espectrofotômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado – ICP-OES, e digestão sulfúrica para o N e quantificação da concentração pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1985).

Tabela 1 – Caracterização do soro de leite utilizado no experimento. Médias de

Composição do soro de leite			
Sólidos totais (mg/L)	404,5 (376,4-445,7)	P (mg/L)	309,1 (193,48 – 853,57)
DBO (mg/L)	28.773 (27578 – 29702)	K (mg/L)	2.127,6 (1.489,1 – 2.673,2)
DQO (mg/L)	57.092 (54.722 – 58.936)	Ca (mg/L)	993,9 (806,2 – 1.176,75)
Óleos e graxas (%)	0 (0 – 0)	Mg (mg/L)	348,3 (151,78 – 1.026,1)
CE (mS/cm)	2.043 (1.906 – 2.189)	Na (mg/L)	1.131,8 (962,4 – 1.281,8)
pH	4,28 (4,22 – 4,35)	N (mg/L)	1.366,05 (1.137,5 – 1.623,6)

Concentração média e variação, mínima e máxima, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO); Óleos e graxas; Condutividade elétrica (CE); pH; e teores de P, K, Ca, Mg, Na e N.

Materiais de algumas unidades experimentais foram submetidos à avaliação da morfologia e distribuição espacial dos nutrientes nas folhas e raízes. Para isto foram selecionadas amostras de tecido fresco de folhas logo antes do último corte nos tratamentos 0, 200 e 300 m³/ha com e sem o uso do PAM. No caso das raízes, foram selecionados os tratamentos de 0 e 200 m³/ha após a desmontagem do experimento. Em todas essas análises foram consideradas amostras compostas. No caso da análise morfológica, amostras de partes de cinco folhas novas, aleatoriamente escolhidas no terço médio das plantas, foram imersas inicialmente em solução isotônica. Na sequência, em laboratório, foram preparadas lâminas semipermanentes com pedaços de 1 x 1 cm dessas folhas, que foram analisadas e fotografadas em microscópio polarizado. Para a análise espacial dos nutrientes, cinco folhas completas foram aleatoriamente colhidas e direcionadas para análise no Laboratório de Instrumentação Nuclear, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), na Universidade de São Paulo (USP). As amostras foram fixadas e avaliadas em espectrômetro de fluorescência de raios X (μ -XRF, Orbis PC, EDAX, USA), operado com 40 kV e 200 μ A, sendo as amostras lidas sem filtro e no vácuo, e com tempo de 20 s por ponto em cada linha de leitura. Leituras de P, K, Ca, Na e Si foram processadas no equipamento. O Mg não pode ser detectado devido ao limite de detecção do aparelho.

Para a análise de raízes, as amostras coletadas foram lavadas com água deionizada e com solução tampão 0,05 mol L⁻¹ de Na₂HPO₄, fixadas em solução 2,5 % de glutaraldeído, lavadas sucessivamente e novamente com o mesmo tampão, desidratadas com soluções em série de etanol (30%, 50% e 70%) e armazenadas até leitura em microscópio eletrônico de varredura acoplado em sonda EDS, no Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV. Antes da leitura, a amostra recebeu um polvilhamento de ouro. Nesta análise foi feita a leitura de P, K, Ca, Mg e C dadas em unidade de porcentagem, representando a proporção desses elementos no ponto de leitura da amostra.

Os solos foram analisados de forma independente. Os resultados de fluorescência de raios X foram submetidos apenas a análise descritiva dos gráficos gerados de intensidade de emissão dos elementos lidos. Para os resultados de EDS foi feito o teste de média. Os dados das demais análises foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após verificação dos preceitos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk,

respectivamente. As médias do fator qualitativo PAM foram comparadas pelo teste de Tukey à 10% de significância. As doses de soro de leite foram analisadas por regressão linear, e os parâmetros tiveram sua significância verificada pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. O software R (versão 4.0.2, COREL TEAM, 2020) foi utilizado em todos os processamentos estatísticos com o pacote ExpDes.pt na versão 1.2.1 (FERREIRA et al., 2021).

Os resultados das observações das amostras vegetais em microscópio de luz polarizada foram apresentados e suas informações discutidas considerando a análise de fluorescência de raios X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espectroscopia de fluorescência de raios X

A análise das folhas dos tratamentos selecionados indicou que para o sódio todos os resultados foram abaixo do limite de detecção do equipamento, indicando assim que sua concentração por unidade de área é baixa, e seus valores mais elevados nas análises de teores totais são relacionados a massa da amostra (Figura 1). Os elementos K (Figura 2) e P (Figura 3) tiveram suas concentrações elevadas com a dose de soro pelo menos ao dobro do limite de detecção quando comparadas ao controle, e a presença ou ausência de PAM não interferiu nos resultados, sendo que houve um incremento maior no solo de Três Marias para a dose de 300 m³/ha no elemento P, sendo a provável razão para os aumentos a sua presença em altos valores no soro (Tabela 2).

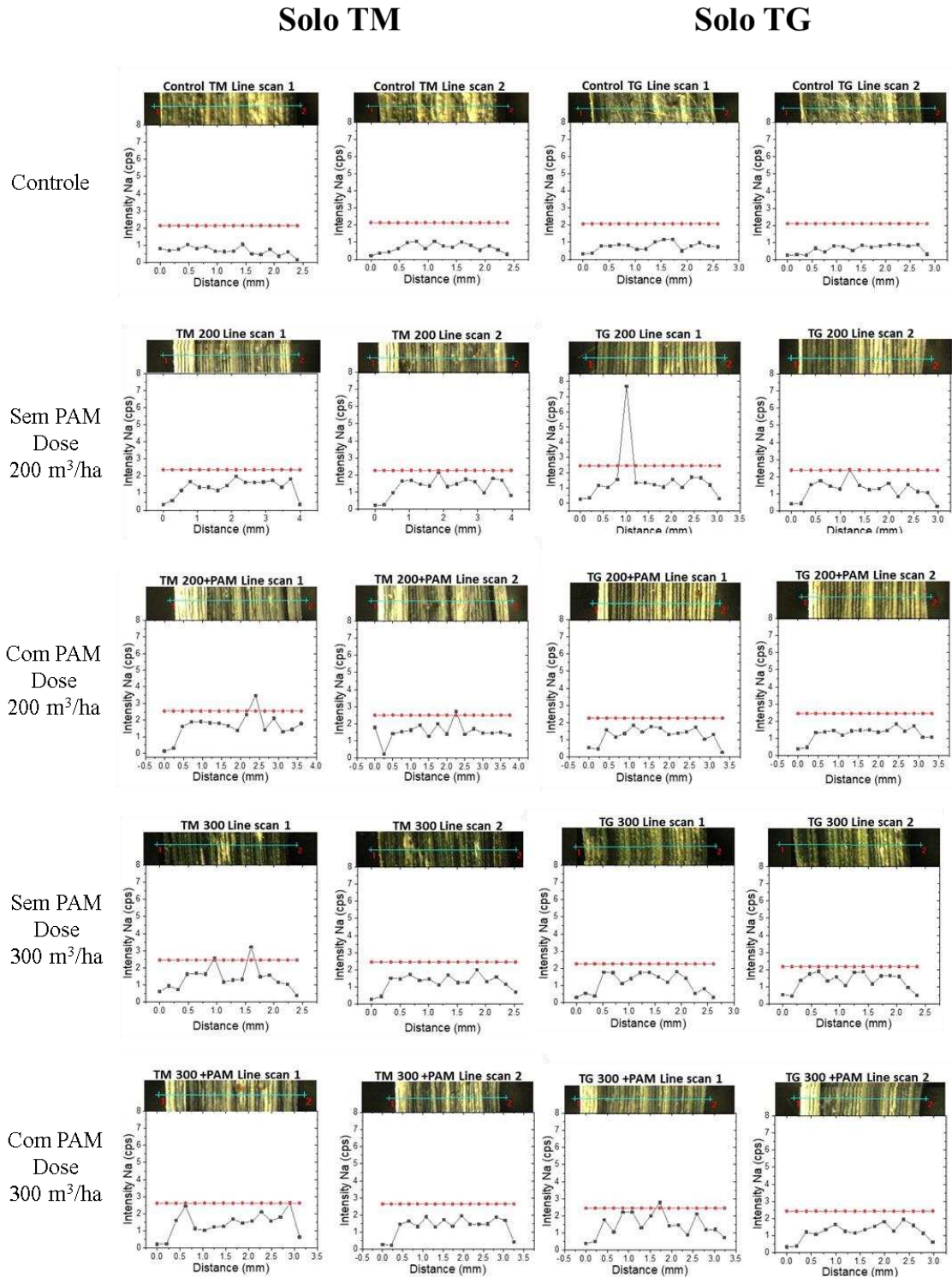


Figura 1: Resultado de análise de Na foliar em espectrômetro de fluorescência de raios X.

*A linha vermelha representa o limite de quantificação (ILOQ) do elemento e a linha preta representa a intensidade do elemento (os dados foram normalizados por Rh K).

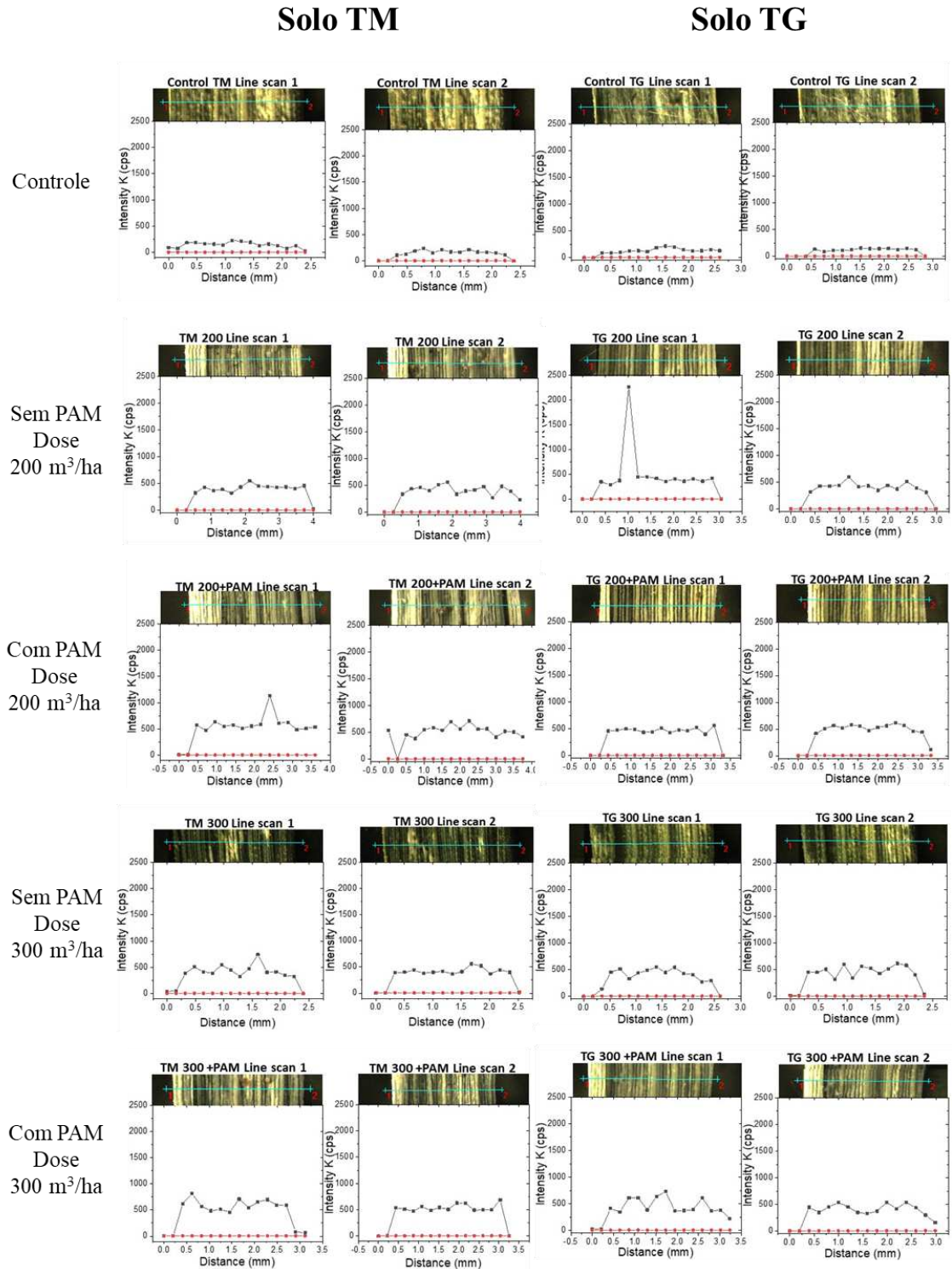


Figura 2: Resultado de análise de K foliar em espectrômetro de fluorescência de raios X.

*A linha vermelha representa o limite de quantificação do elemento e a linha preta representa a intensidade do elemento (os dados foram normalizados por Rh K).

O elemento Ca (Figura 4) teve sua concentração diminuída em aproximadamente a metade quando comparado ao controle nas doses mais elevadas. Esse fato pode ser explicado pelos altos teores de K terem limitado a absorção de Ca, ou seja, um efeito antagonista, como relatado por TAIZ e ZEIGER (2013).

Na análise, os resultados do silício tiveram suas concentrações diminuídas a pelo menos um terço da concentração quando comparado ao controle (Figura 5). O menor teor de silício pode ser relacionado à maior suscetibilidade das plantas ao ataque de pragas (EPSTEIN, 1999), esse efeito tem sido atribuído a proteção mecânica gerada pelos depósitos de Si na forma de sílica amorfa, como sugerido por JULIATTI e KORNDÖRFER (2003). Esse fato pode ter sido o motivo para a maior ocorrência do ataque de pulgões nas plantas nas maiores doses, situação observada a partir da 6 semana do experimento (Figura 6a).

Análise morfológica das folhas e raízes

As plantas apresentaram sintomas de toxidez nas folhas independentemente da presença ou ausência de PAM (Figura 7B). Até a dose de 100 m³/ha não se verificaram problemas, os quais começaram a aparecer na dose de 200 m³/há, próximo do final do experimento. Na maior dose, os sintomas apareceram com dois meses de cultivo e, em 15 dias, as plantas morreram. Os sintomas eram caracterizados pela presença da cor amarelada nas bordas das folhas.

No início dos sintomas da dose de 300, amostras de folhas foram levadas para análise em microscópio ótico e indicaram as alterações morfológicas visualizadas na Figura 6. A região entre as nervuras das folhas tornou-se inicialmente roxas (Figura 7b) e, ao final, foram ficando cada vez mais cloróticas até a morte da planta.

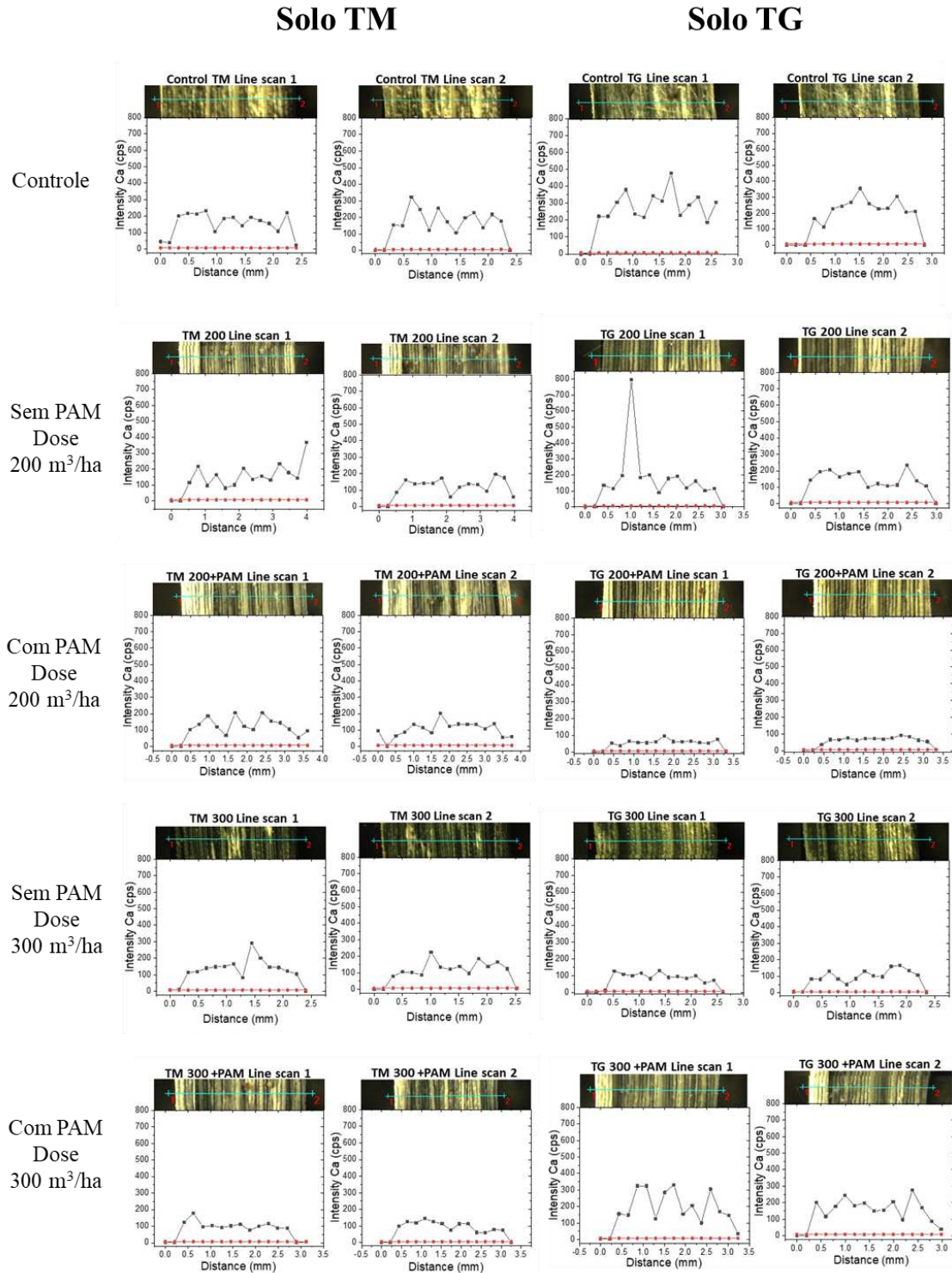


Figura 4: Resultado de análise de Ca foliar em espectrômetro de fluorescência de raios X.

*A linha vermelha representa o limite de quantificação do elemento e a linha preta representa a intensidade do elemento (os dados foram normalizados por Rh K).

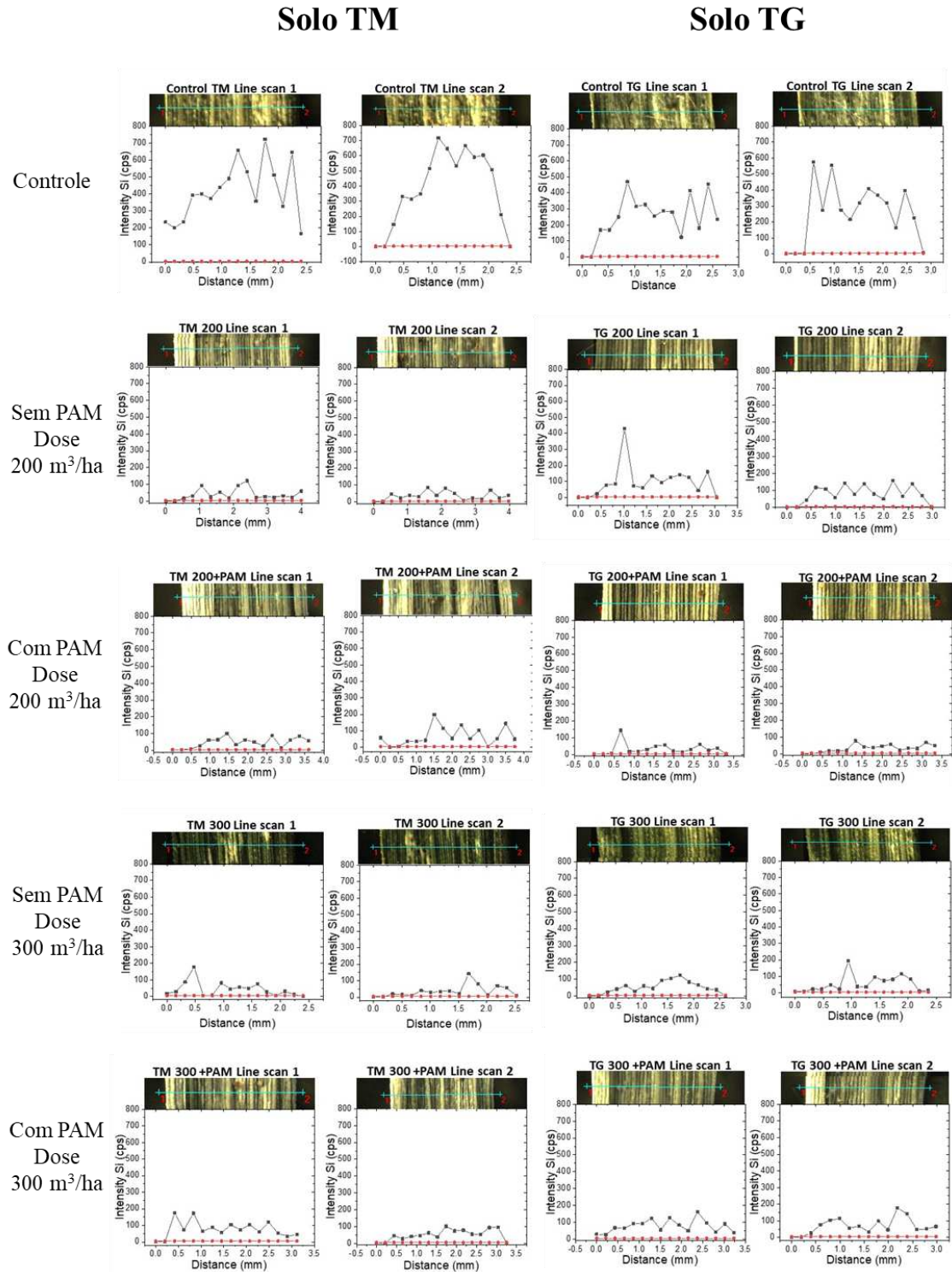


Figura 5: Resultado de análise de Si foliar em espectrômetro de fluorescência de raios X.

*A linha vermelha representa o limite de quantificação do elemento e a linha preta representa a intensidade do elemento (os dados foram normalizados por Rh K).

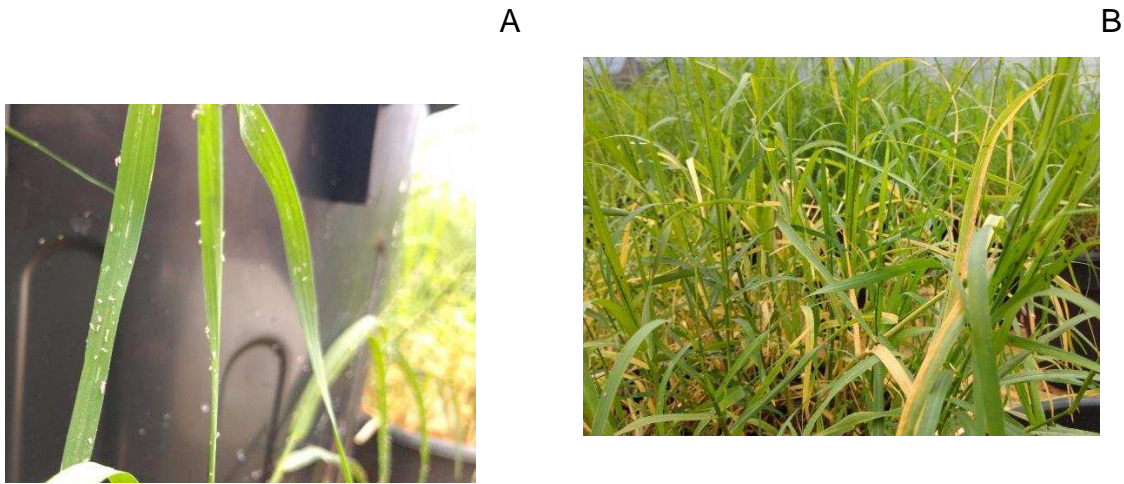


Figura 6 - Ataque de pulgões e moscas brancas nos tratamentos com as maiores doses de soro de leite (A) e de sintomas de toxidez nas folhas das plantas cultivadas (B).

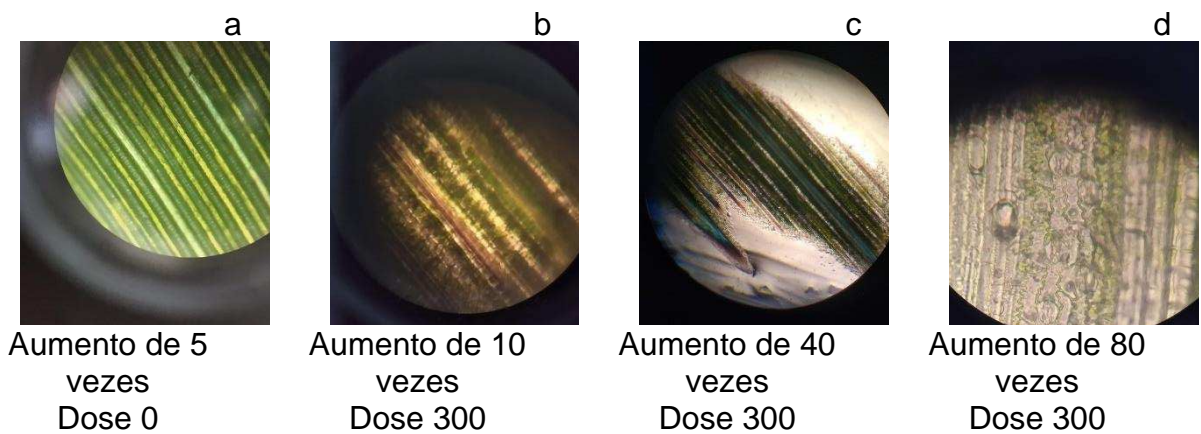


Figura 7 - Observação em aumentos crescentes da estrutura morfológica das folhas de Tifton 85 e suas alterações.

A toxidez visualizada pode ser atribuída ao excesso de K, como indicado previamente na avaliação da XRF (Figura 3). Toxidez por excesso de K não é comum em solos, e os sintomas visualizados podem ser relacionados principalmente ao desbalanço nutricional de K e Ca, tendo em vista que o excesso de K afeta diretamente a absorção de Ca pelas plantas devido ao desbalanço da lei dos mínimos, fato que pode ser observado pela menor concentração do Ca nas mesmas doses quando K estava em excesso. Considerando o excesso de K, aumentos de resolução no microscópio em cortes cada vez mais finos foram efetuados para análise no microscópio ótico. Esta análise posterior revelou que, em maior resolução, aparece a cor azulada (Figura 7c) e, aumentando-se ainda mais a magnificação, nota-se alterações morfológicas nos estômatos e paredes celulares tornando-se mais espessas (Figura 7d).

Análise MEV-EDS:

A análise efetuada com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) nas raízes não revelou alterações morfológicas expressivas no sistema radicular das plantas do Tifton 85 em função da aplicação do PAM e das doses de soro de leite. A morfologia externa da raiz não foi afetada, como indicado quando se compara, por exemplo, o tratamento controle e a segunda maior dose de soro aplicada em ambos os solos (Figura 8).

Nos tratamentos aplicados, os fatores doses e PAM não afetaram os teores mensurados por EDS de Na, Mg e P nas raízes do solo argiloso (TG), e de Mg nas raízes do solo arenoso (TM). Uma possível justificativa desta ausência de efeito foram os altos valores de coeficiente de variação observados, que variaram de 35,5 % no Na a 80,6 % no P, ambos avaliados no solo argiloso.

As leituras de N por EDS não foram consideradas por estarem bem próximas do limite de detecção do equipamento, muitas das vezes confundindo-se com ruído.

Efeitos dos tratamentos diagnosticados com a sonda EDS permitiram a divisão em dois grupos de resposta. Um primeiro grupo formado por elementos químicos que sofreram efeito apenas da adição da dose de 200 m³/ha de soro de leite (Tabela 2), e o segundo, que tiveram seus teores afetados pela interação entre os fatores doses e PAM (Tabela 3).

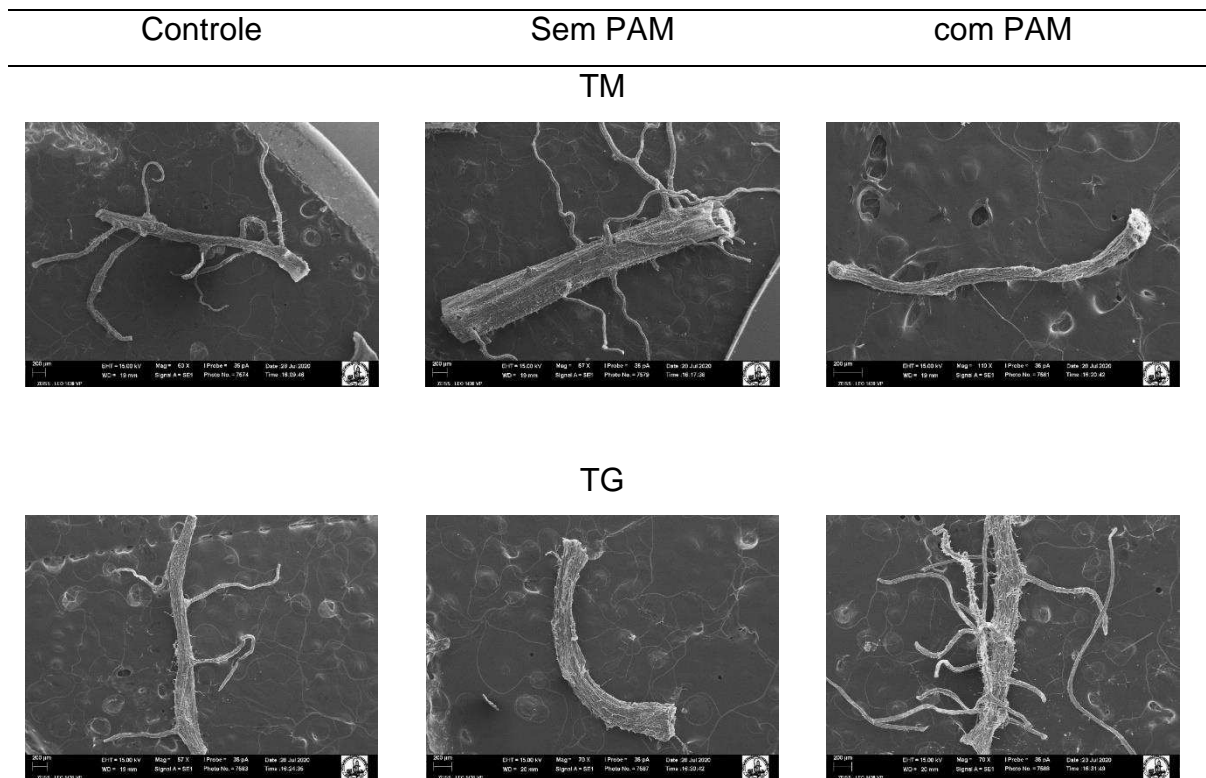


Figura 8 – Análise morfológica das raízes de Tifton 85 sob microscopia eletrônica de varredura e em resposta à aplicação de 200 m³/ha de soro de leite, na presença e ausência de poliacrilamida (PAM).

Tabela 2 – Teores de elementos químicos presentes nas raízes de Tifton 85 cultivados por 120 d na ausência (dose 0) e presença de soro de leite (D 200) de soro de leite aplicado semanalmente. Resultados obtidos com sonda EDS acoplada a equipamento MEV.

	SOLO TG		SOLO TM		
	K	Ca	C	Na	K
	----- % -----		----- % -----		
Dose 0	0,64 b	0,41 b	52,4 a	0,95 b	1,70 b
D 200	3,07 a	1,67 a	44,5 b	1,55 a	5,03 a
CV (%)	32,71	49,55	18,89	45,75	94,37

Letras minúscula idênticas nas colunas, dentro do mesmo solo, não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Teores de elementos químicos presentes nas raízes de Tifton 85 cultivados por 120 dias na ausência (dose 0) e presença de soro de leite (D 200) de soro de leite e na presença (c/PAM) ou ausência (S/PAM) de poliacrilamida (PAM), ambos produtos aplicados semanalmente. Resultados obtidos com sonda EDS acoplada a equipamento MEV.

	SOLO TG		SOLO TM	
	C		P	
	----- % -----		----- % -----	
	Dose 0	D 200	Dose 0	D 200
S/ Pam	37,0 b	46,1 a	0,87	0,79 b
C/ Pam	53,7 aA	39,4 bB	0,61 B	3,53 aA
CV	19.81 %		6.57 %	

Letras minúscula idênticas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro do mesmo solo, não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

O aumento da dose de soro foi capaz de incrementar os teores de K e Ca nas raízes do solo argiloso (TG), e de Na e K nas raízes do solo arenoso (TM). Efeito negativo desta mesma dose foi identificado para o C nas raízes do solo arenoso (TM).

Efeitos da interação dos fatores dose e PAM foram identificados para o C no solo argiloso (TG) e para o P no solo arenoso (TM) (Tabela 3). Na ausência de PAM, a adição de 200 m³/ha do efluente incrementa os teores de C nas raízes do solo argiloso, mas não afeta os teores de P nas raízes do solo arenoso. Na presença do polímero, a adição do efluente causa perda nos teores de C nas raízes do primeiro solo e ganhos nos teores de P do segundo.

Na literatura predominam estudos de acúmulo de nutrientes nas raízes com MEV-EDS mais vinculados a estudos de toxidez por Al ou por metais pesados. Nenhum dos estudos encontrados trata deste acúmulo de nutrientes que não influenciado ou associado a esses elementos tóxicos, o que dificulta qualquer tipo de comparação. Adicionalmente, também não foram encontrados trabalhos com a mesma técnica que tenha avaliado os efeitos do uso de efluentes sobre teores acumulados nas raízes de plantas.

Produção de biomassa

A produção de biomassa de raízes (MSR) do Tifton 85 foi afetada pela adição do PAM e doses de efluentes nos dois solos de forma isolada (Figura 9a e 9b). Entretanto, do ponto de vista prático, a análise dos gráficos sugere um pequeno efeito da poliacrilamida. A máxima resposta de produção de raízes foi próxima, 170,96 m³/ha para o solo TG, 177,86 m³/ha com PAM e 179,69 m³/ha sem PAM no solo TM, sendo reduzida com o incremento da adição do efluente, tendo seu máximo de produtividade em 643,76 g no solo TG, 595,38 g com PAM e 603,80 g sem PAM para o solo TM. Isso representa uma produtividade de até 214,6 t/ha de forragem.

A produção da parte aérea não foi afetada pelo uso do PAM no solo argiloso (Figura 9c). Novamente em ambos os casos, do ponto de vista prático, os resultados sugerem uma pequena influência do polímero no solo arenoso, onde o efeito foi diagnosticado.

O resultado de produção de biomassa total foi semelhante nos dois solos, indicando que a disponibilidade de água e nutrientes não limitou a produção vegetal (Figura 9d). A resposta da produção de biomassa seca total (MST) foi semelhante ao da parte aérea, com ausência de efeito do PAM no solo argiloso, mas mesmo no solo arenoso este efeito é de difícil visualização gráfica, apresentando, portanto, pouca importância prática.

O incremento na produção da matéria seca de forrageiras de alto potencial produtivo é muito associado à disponibilidade de K e N (CAIELLI et al., 1991; TAIZ e ZEIGER, 2013). Esta pode ser a razão dos efeitos positivos da adição do soro de leite sobre o capim Tifton 85. Entretanto, considera-se que o N pode ter sido mais determinante na produção de biomassa, uma vez que a resposta do acúmulo de biomassa é coerente com os teores do nutriente nas folhas (Figura 10f). Os teores foliares de K, por sua vez, foram sempre crescentes (Figura 10b).

Por fim, ao analisar a massa de matéria seca total (MST) (Figura 9d), ao fim do experimento, evidencia-se que o PAM tem efeito apenas ao solo arenoso (TM), porém com valores muito próximos ao do solo argiloso. Estes resultados eram esperados devido aos resultados de parte aérea e raiz.

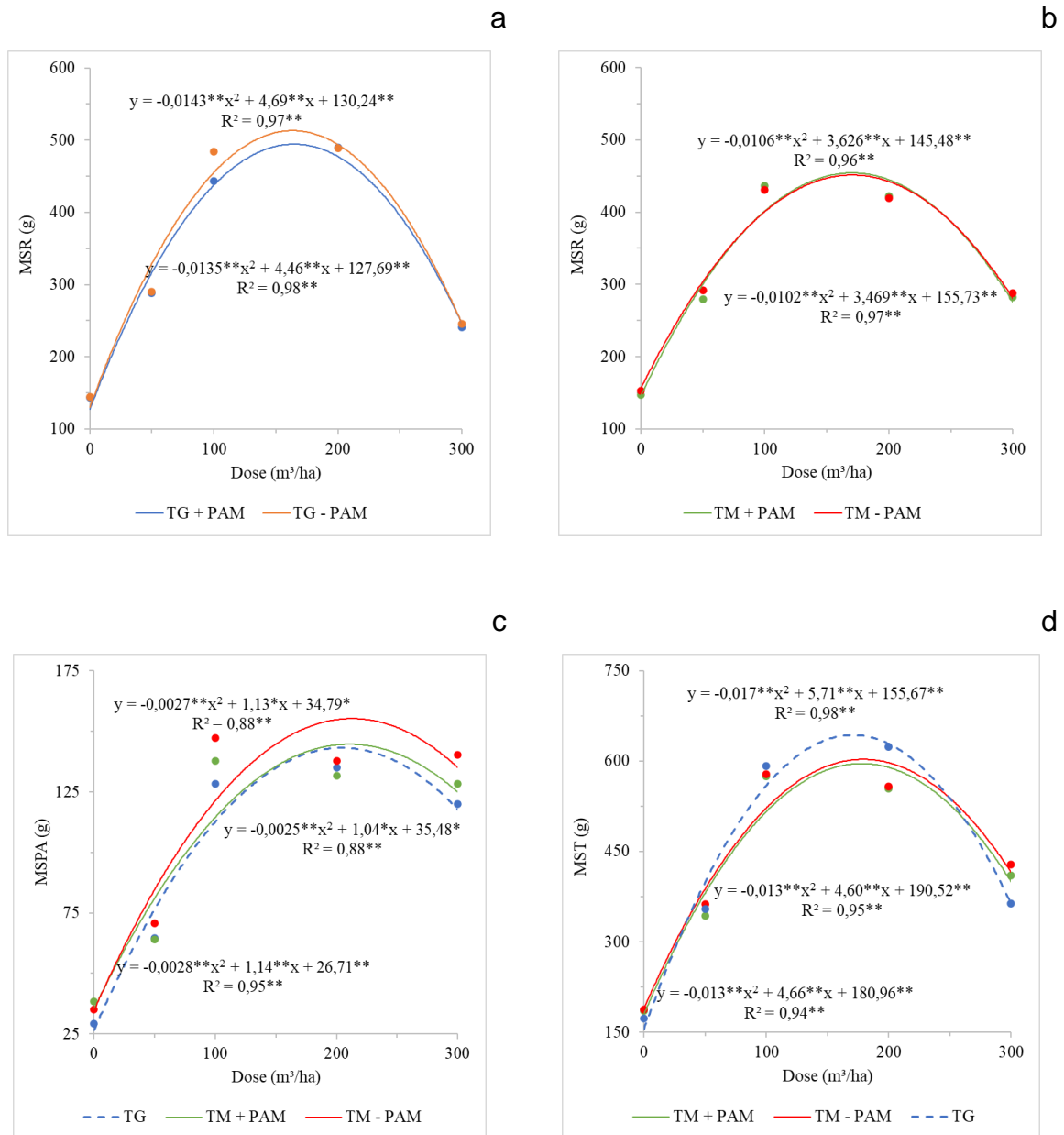


Figura 9: Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) e total (MST) de Tifton 85 após cultivo com aplicação de doses de soro de leite associado ou não com o uso de PAM, *** ($p < 0,01$), ** ($p < 0,05$), * ($p < 0,1$).

Teores de nutrientes:

A análise de teores totais na parte aérea das plantas de Tifton 85 coletadas em três ocasiões indicou efeitos principalmente das doses de soro, de forma diferenciada em função do elemento analisado.

Os teores de K (Figura 9b) e Na (Figura 9d) foram crescentes com o aumento da dose, coerente com os altos teores desses elementos na composição do soro de leite (Tabela 1). Incrementos nos teores de P foram verificados até a dose de 200m³/ha (Figura 9a). Para esses elementos (K, Na e P) a presença de PAM não afetou os resultados. No caso do K, este aumento corrobora o que foi visualizado na análise de fluorescência de Raios X, onde o elemento teve sua concentração aumentada na dose de 200 m³/ha (Figura 2). O sódio, por sua vez, na mesma análise não foi possível ser detectado (Figura 1).

Os nutrientes Mg (Figura 9c) e Ca (Figura 9e e 9f) tiveram seus teores no geral reduzidos com o aumento das doses do efluente, sem efeito significativo da presença de PAM. No caso do Ca, esta redução também corrobora o que foi identificado na análise de fluorescência de Raios X para a dose de 200 m³/ha (Figura 4). O efeito antagonista do aumento dos teores absorvidos de K sobre a redução da absorção de Ca podem explicar o ocorrido, como já discutido previamente, conforme indicação de TAIZ e ZEIGER (2013).

A absorção de N no tecido vegetal foi influenciada pela adição das doses de efluente de soro de leite (Figura 10g). No solo arenoso, a adição de PAM não afetou os resultados do N foliar ao final do experimento, e mesmo no solo argiloso, onde a interação dose e polímero foi significativa, não se identifica, de forma prática, efeito significativo do PAM. O comportamento geral foi um incremento crescente dos teores de N no tecido vegetal até a dose de 200 m³/ha, e uma redução subsequente.

A presença de N no efluente é a fonte dos ganhos de absorção, e é um interessante resultando tendo em vista ser este um nutriente limitante em muitos agroecossistemas e com produção de fertilizantes associada a grande requerimento de energia.

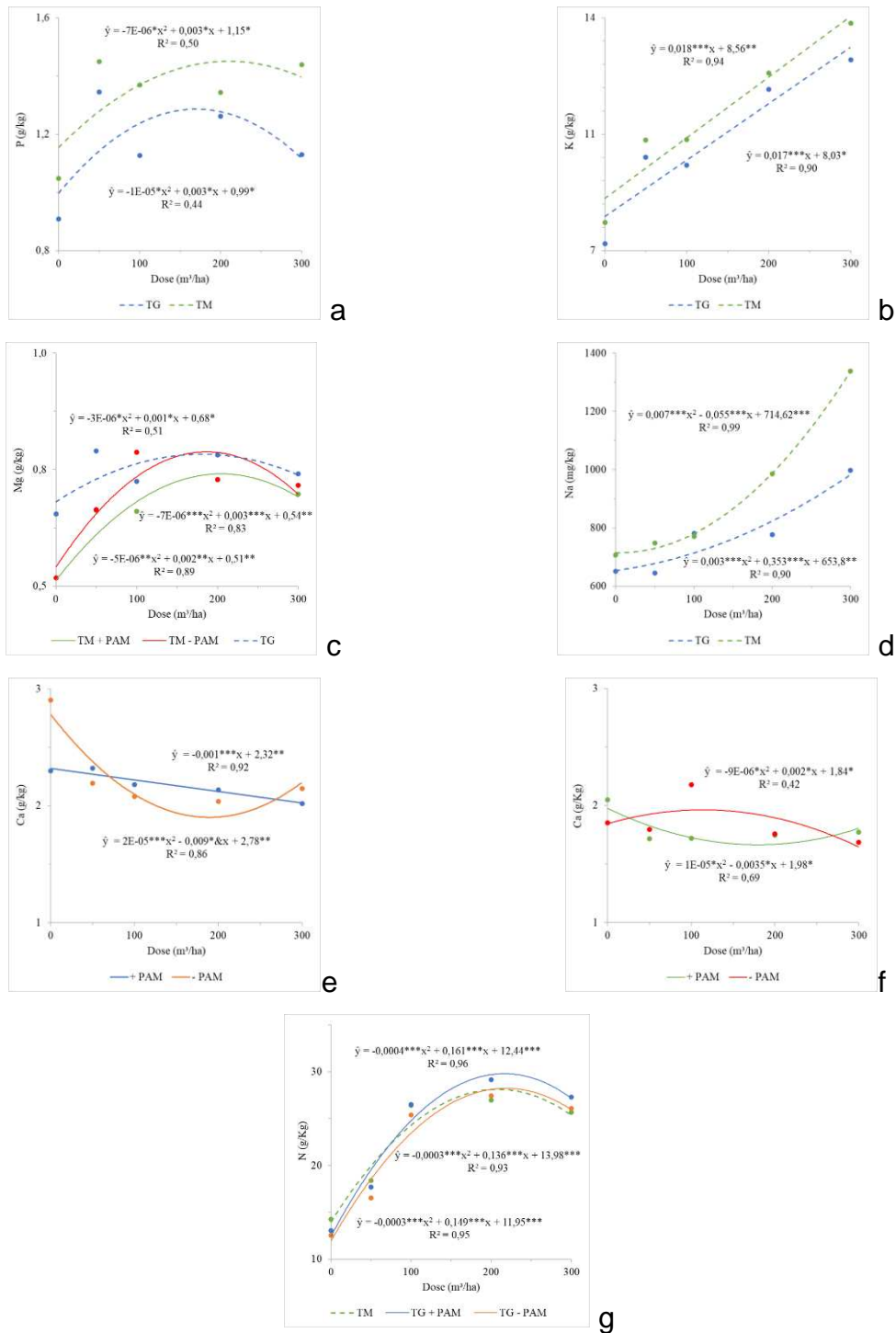


Figura 10 – Teores totais de P, K, Mg, Na, Ca e N acumulado após 120 d de aplicação de soro de leite associado ou não à PAM em solo cultivado com Tifton 85, *** ($p < 0,01$), ** ($p < 0,05$), * ($p < 0,1$).

CONCLUSÃO

O capim Tifton 85 tolera a aplicação semanal de altas doses de soro de leite, constituindo-se opção atrativa para o reuso do efluente com a prática da fertirrigação. O uso da poliacrilamida não influencia o acúmulo de nutrientes na gramínea.

A produção de matéria seca da forrageira é incrementada até a dose 170,96 m³/ha para o solo TG e 177,86 m³/ha com PAM e 179,69 m³/ha sem PAM no solo TM de soro de leite, com ganhos em produtividade e nutrientes na parte aérea que refletem em valor nutritivo na alimentação animal.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13969:1997

ANDRADE, L. H., Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso. 2011.

APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21.ed. Washington, p. 1268, 2005.

AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. Official methods of analysis., 2005.

BARVENIK, F.W. Polyacrylamide Characteristics related to soil applications. 1994

BURTON, G. W.; GATES, R. N.; HILL, G. M. Registration of Tifton 85 bermudagrass. Crop Science, Madison, p. 644-645, 1993.

CAIELLI, E. L., BONILHA NETO, L.M., LOURENÇO, A.J. Avaliação agronômica e qualitativa de pastos de capim-elefante Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) fertilizados com nitrogênio ou consorciados com leguminosas tropicais para produção de carne. 1991

CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. Bioresource Technology, p. 2195- 2210, 2006.

CONAMA. Resolução N° 430, De 13 De Maio De 2011. [S. l.], p. 8, 2011.

COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. Cienc. Rural, p. 693-700, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000200056>.

CEPEA - Centro De Estudos Avançados em Economia Aplicada. Metodologia - PIB do Agronegócio Brasileiro: Base e Evolução. Piracicaba, 2018.

DE BOODT, M.F., HATES, M.H.B., HERBILLON A. Soil Colloids and Their Associations in Aggregates., 1990

DE MARCO, E. Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios. 2020.

DOVRAT, A. Developments in Crop Science 24: Irrigated forage production. 1993.

EPSTEIN, E. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1999

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1. 2021

- FREITAS, S.C.; SANTOS, J.O.; SIMAS, E.S.; SILVA, T.S.; CONTE, C. Método de digestão por via úmida para determinação de microelementos e elementos traços por espectrometria de emissão óptica em vinhos. 2015.
- IBGE. Estatística da Produção Pecuária – Junho de 2017.
- JULIATTI, F. C., KORNDORFER, G. H. Uso do Silício no manejo integrado de doenças de plantas experiência brasileira. Fitopatologia brasileira. 2003.
- LENTZ, R.D., I. SHAINBERG, R.E. SOJKA AND D.L. CARTER. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. 1992
- LENTZ, R.D., R.E. SOJKA, AND D.L. CARTER. 1993. Influence of polymer charge type and density on polyacrylamide ameliorated irrigated furrow erosion. 1993.
- LENTZ, R.D. AND R.E. SOJKA. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. Soil Science. 1994B.
- LENTZ, R.D., AND R.E. SOJKA. Polyacrylamide application to control furrow irrigation-induced erosion p. 419-430, 1996.
- MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios, 2002.
- MAGANHA, M.F.B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos, 2006.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. AND BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D. e Lourenço, S., Eds. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo, p.189-198, 1991
- OLIVEIRA, M. A. de.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; OBEID, J. A.; CECON, P. R.; MORAES, S. A. de.; SILVEIRA, P. R. Rendimento e valor nutritivo do capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. Revista Brasileira de Zootecnia, p. 1949-1960, 2000.
- PEIRANO, M.M.F. Tratamento de efluentes em laticínios. Revista Leite e Derivados, 1995.
- PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; OLIVEIRA PROCÓPIO, S.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BÔER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. Ceres, p. 7-16, 2015.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020

- ROLIM, F.A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). Pastagens: fundamentos da exploração racional. p.533-566, 1994.
- SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, p.10-18, 2009.
- SANTOS, A. P. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85, 2004.
- SOLLENBERGER, L. E. Sustainable production systems for Cynodon species in the subtropics and tropics, p. 85-100, 2008.
- SOJKA, R.E., AND LENTZ, R.D. Polyacrylamide in furrow irrigation, an erosion control breakthrough. In Proceedings First European Conference & Trade Exposition on Erosion p.183-189. 1996.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal, 2013.
- TEDESCO, J. M.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais, 1985.
- TEIXEIRA, Paulo Tárco de Resende Teixeira. Aspectos ambientais e agronômicos da disposição de efluente de laticínios no solo, 2020
- VILELA, D.; ALVIM, M. J. Manejo de pastagem do gênero Cynodon: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil, 2003

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O soro de leite é um resíduo gerado na produção de laticínios sendo considerado um subproduto da produção de queijos e afins. Seu destino final deve ser ambientalmente adequado em consonância com as leis ambientais aplicáveis, sendo seu descarte em corpos d'água proibido. As alternativas de tratamento deste e outros efluentes são de elevado custo, baixa eficiência e grande demanda por área. Sendo assim, o reuso do soro de leite na fertirrigação do solo uma opção promissora do ponto de vista da nutrição vegetal e da qualidade do solo, que contém conhecida sua carga orgânica e presença de nutrientes. Porém como se trata de um resíduo, requer-se estudos que avaliem doses adequadas aliadas aos riscos associados, garantindo assim respostas positivas pela cultura utilizada e adequação às normas ambientais aplicáveis.

Pela presença de sódio ser comum em um efluente dessa natureza, alguns efeitos negativos podem acometer a qualidade física do solo. Por esse motivo, o uso de condicionadores agregantes precisa ser mais estudado. Uma substância que tem seu uso crescente com objetivo flocculante é a poliacrilamida, designada pela sigla PAM.

Ao se analisar áreas de possível aplicação destes resíduos, as pastagens brasileiras são uma das primeiras elencadas. Isso se deve pela sua importância no setor agropecuário e à sua situação de degradação extensiva no Brasil. Essas áreas necessitam de um acompanhamento, manejo adequado, plantas de bom potencial produtivo e resistência, além de investimentos de fertilização para que atinjam altas produtividades, sendo o reuso de efluentes uma boa alternativa para a reposição de nutrientes no solo.

A conclusão geral do estudo é pelo alto potencial do soro de leite como fonte de nutrientes para o solo e nutrição vegetal, sendo que o uso do PAM é um excelente aliado para evitar problemas de ordem física, tendo em vista os altos teores de sódio do efluente.

O Tifton 85 mostrou ser uma forrageira com tolerância às altas e frequentes aplicações do soro de leite e, conseqüente, alta produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes, constituindo-se como uma opção interessante para o reuso deste efluente.

O presente estudo sugere ainda a necessidade de novos estudos que tratem de temas observados nos resultados. O primeiro deles é sobre o efeito do uso do soro de leite e de outros efluentes de alta carga orgânica sobre a matéria orgânica nativa do solo, em função do fenômeno conhecido como efeito *priming*.

Um balanço de carbono também merece ser aprofundado em estudos com este tipo de efluente de alta carga orgânica. O aumento da emissão de CO₂ foi acompanhado de ganhos de biomassa microbiana, que tem papel fundamental na melhoria da qualidade do solo e no seu potencial de acumular ainda mais carbono. De todos os modos, esse é um *gap* ainda a ser mais bem discriminado.

Outra demanda levantada é o efeito de altas doses de soro de leite sobre o acúmulo de Si nas folhas das plantas e o eventual aumento da susceptibilidade ao ataque de pragas.

Adicionalmente é interessante a avaliação dos percolados no perfil do solo com a aplicação das altas doses do soro de leite, em especial no tocante à movimentação de N e P, elementos de reconhecida importância ambiental no processo da eutrofização de cursos de água. Dada a natureza orgânica do efluente, no caso especial do P, pode haver expressiva movimentação de fosfatos na forma orgânica.