

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ISABELA SILVA KNEIPP DO VALLE

**IMPACTO DA DISPOSIÇÃO CONTINUADA DE EFLUENTES DA
BOVINOCULTURA DE LEITE SOBRE O NITROGÊNIO E O FÓSFORO NO SOLO**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024

ISABELA SILVA KNEIPP DO VALLE

**IMPACTO DA DISPOSIÇÃO CONTINUADA DE EFLUENTES DA
BOVINOCULTURA DE LEITE SOBRE O NITROGÊNIO E O FÓSFORO NO SOLO**

Relatório final, apresentado à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti

Coorientador: Alisson Carraro Borges

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024


ISABELA SILVA KNEIPP DO VALLE

**IMPACTO DA DISPOSIÇÃO CONTINUADA DE EFLUENTES DA
BOVINOCULTURA DE LEITE SOBRE O NITROGÊNIO E O FÓSFORO NO SOLO**


Relatório final, apresentado à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADA: 06 de setembro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ISABELA SILVA KNEIPP DO VALLE**
Data: 13/09/2024 19:36:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Isabela Silva Kneipp do Valle
Autora

Documento assinado digitalmente
 **REINALDO BERTOLA CANTARUTTI**
Data: 27/09/2024 11:19:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Reinaldo Bertola Cantarutti
Orientador

RESUMO

Isabela Silva Kneipp do Valle. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2024
Impacto da disposição continuada de efluentes da bovinocultura de leite sobre o nitrogênio e o fósforo no solo. Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.
Coorientador: Alisson Carraro Borges.

A adubação do cultivo de milho que é uma alternativa para disposição dos efluentes gerados na pecuária leiteira é adotada a cerca de 15 anos na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão de Gado de Leite da Universidade Federal de Viçosa. Este trabalho teve por objetivo geral obter informações que possam contribuir para aprimorar o manejo dos efluentes. Especificamente, objetivou avaliar o impacto da adubação continua com o efluente nas frações totais da matéria orgânica, fósforo e nitrogênio e nas frações disponíveis de fósforo e nitrogênio. Em quatro locais de cultivo de milho denominados. Capineira, Refúgio, Pedreira, Grama Seda e Alto e em um local utilizado como pasto, denominado Vale coletaram-se amostras de solo, compostas de 25 amostras simples, até um metro de profundidade em camadas de 20 cm. Nas amostras determinaram-se os teores de carbono orgânico e nitrogênio total e os teores de N-NH_4^+ e NO_3^- extraídos em $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$, os teores de P total, a capacidade de sorção de P após o equilíbrio do solo com solução contendo 125 mg L^{-1} de P e o P extraído em Mehlich-3. Os resultados indicam que a aplicação continuada de efluentes no cultivo de milho elevou os teores de matéria orgânica e de N total nos primeiros 20 cm do solo. Os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- aumentou em todo o perfil do solo até um metro de profundidade, evidenciando a lixiviação destas formas. Houve substancial aumento no total de P nos 20 cm superficiais, com evidências de possível lixiviação de formas inorgânicas de P até um metro de profundidade. Condicionou elevada disponibilidade de P nos 20 cm superficiais dos solos, sendo que na Capineira esta elevação estendeu-se até um metro de profundidade. Em termos gerais os resultados permitem inferir que há evidências de potencial contaminação do lençol freático com P e N. Para a mitigação destes efeitos recomenda-se aprimorar o manejo de efluentes, suprimindo sua aplicação na Capineira. A adubação fosfatada deverá ser reduzida e deve-se adotar criterioso monitoramento da fertilidade do solo com análise de solo, anualmente.

Palavras-chave: Águas residuárias. Fertirrigação. Adubação. Lixiviação. Mobilidade de fósforo.

ABSTRACT

Isabela Silva Kneipp do Valle. Federal University of Viçosa, September 2024. **Impact of continuous fertilization with dairy cattle residues on nitrogen and phosphorus in the soil.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-advisor: Alisson Carraro Borges.

The use of corn crop fertilization as an alternative for disposing of effluents generated in dairy farming has been adopted for around 15 years at the Teaching, Research, and Extension Unit for Dairy Cattle at the Federal University of Viçosa. This study aimed to obtain information that could contribute to improving effluent management. Specifically, it aimed to evaluate the impact of continuous fertilization with effluent on the total fractions of organic matter, phosphorus, and nitrogen, as well as the available fractions of phosphorus and nitrogen. In four corn crop locations, named Capineira, Refúgio, Pedreira, Grama Seda, and Alto, and one location used as pasture, named Vale, soil samples were collected, consisting of 25 simple samples, up to one meter deep, in 20 cm layers. The samples determined the contents of organic carbon and total nitrogen, as well as the contents of N-NH_4^+ and NO_3^- extracted in $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$, the total P content, the phosphorus sorption capacity after soil equilibrium with a solution containing 125 mg L^{-1} of P, and the P extracted in Mehlich-3. The results indicate that the continued application of effluents in corn crop fertilization increased the contents of organic matter and total N in the first 20 cm of soil. The contents of N-NH_4^+ and NO_3^- increased throughout the soil profile up to one meter deep, evidencing leaching of these forms. There was a substantial increase in total P in the 20 cm surface layer, with evidence of possible leaching of inorganic P forms up to one meter deep. This conditioned high P availability in the 20 cm surface layer of the soils, with the elevation extending up to one meter deep in Capineira. In general, the results allow us to infer that there is evidence of potential contamination of the groundwater with P and N. To mitigate these effects, it is recommended to improve effluent management, suppressing its application in Capineira. Phosphate fertilization should be reduced, and careful monitoring of soil fertility with annual soil analysis should be adopted.

Keywords: Wastewater. Fertigation. Fertilization. Leaching. Phosphorus mobility.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1	LOCAIS DE ESTUDO.....	8
2.2	AMOSTRAGEM DO SOLO	9
2.3	CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	9
2.4	CARACTERIAÇÃO DO NITROGÊNIO	10
2.4.1	NITROGÊNIO TOTAL	10
2.4.2	NITROGÊNIO INORGÂNICO	10
2.4.3	NITROGÊNIO ORGÂNICO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL	11
2.5	CARACTERIZAÇÃO DO FÓSFORO	11
2.5.1	FÓSFORO TOTAL	11
2.5.2	ÍNDICE DE CAPACIDADE DE SORÇÃO DE FÓSFORO.....	12
2.5.3	FÓSFORO DISPONÍVEL EM MEHLICH-3.....	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1	CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO	14
3.2	FÓSFORO NO SOLO.....	20
4	CONCLUSÕES	25
	REFERÊNCIAS.....	26
	APÊNDICES	28

1 INTRODUÇÃO

Com a intensificação da produção pecuária há implementação de sistemas de criação intensiva, caracterizados por uma elevada geração de resíduos. A bovinocultura de leite, em particular, é responsável por uma quantidade expressiva de efluente durante o manejo dos animais, que pode se tornar um problema econômico e ambiental se não forem gerenciados de forma apropriada (MATOS et al., 2017).

A aplicação de efluentes nos cultivos agrícolas tem sido uma opção viável para a destinação final desse efluente, visto que apresenta potencial para substituir, total ou parcialmente, os fertilizantes minerais, especialmente os nitrogenados e os fosfatados (BORTONI; SILVA; SOUSA, 2018).

O efluente proveniente do tratamento de esgoto industriais, domésticos e rurais, é composto por elementos essenciais como carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), além de possivelmente conter metaloides e metais pesados (ANDRADE et al., 2013). Embora a aplicação de efluente no solo para fins agrícolas possa apresentar efeitos benéficos, como o aumento da fertilidade mediante redução da acidez, fornecimento de nutrientes (N, Ca, P, S e Zn) e aumento da capacidade de troca catiônica efetiva, há um risco potencial de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (BORBA, 2021).

Dentre os nutrientes de interesse na avaliação dos impactos da adubação continuada com efluente da bovinocultura de leite nas condições do solo estão o P e o N. O P é, frequentemente, um fator limitante para a produtividade de culturas agrícolas nos solos brasileiros. Como um macronutriente, o P desempenha papéis críticos no metabolismo e desenvolvimento vegetal, incluindo a regulação do armazenamento e liberação de energia, além de ser um componente estrutural essencial do DNA e RNA, moléculas fundamentais para a transmissão de informações genéticas (PEREIRA BRAZ et al., 2002). No entanto, o P em suas formas orgânicas, como ocorre nos efluentes, é um importante fator de eutrofização de águas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O nitrogênio também é crucial, tanto em processos metabólicos diretos quanto indiretos, em todas as plantas, e é o nutriente demandado em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais cultivadas. A grande parte do N total do solo está na forma orgânicas estabilizadas, na matéria orgânica humificada, ou como constituinte das proteínas, aminoácidos livres e açúcares aminados, e em sua minoria na forma

inorgânica como amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), óxido nitroso (N_2O) e óxido nítrico (NO) (PINHEIRO et al., 2020).

A eutrofização de corpos d'água que decorre da elevação das concentrações nutrientes, sobretudo P e N, pode desencadear a proliferação de algas e macrófitas. Uma das consequências desse processo é a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido o que compromete a sobrevivência de várias espécies aquáticas, como os peixes, por exemplo. Além disso, o aumento da concentração de NO_3^- nas águas subterrâneas não se torna perceptível até atingir níveis críticos que comprometem a saúde humana (LEAL DE CARVALHO; ZABOT, 2012).

Nesses casos, o consumo excessivo e/ou prolongado de água contaminada com NO_3^- pode causar problemas de saúde, especialmente em crianças e mulheres grávidas, incluindo o desenvolvimento de substâncias cancerígenas no organismo, má formação do feto e alteração na pressão sanguínea (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). Já nos animais, em especial bovinos de leite, o consumo de água contaminada com NO_3^- causa desidratação e diarreia, levando a redução na produção de leite (SILVA; ROUSTON, 2013).

Na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite (UEPE-GL) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) os efluentes do manejo do rebanho é submetido a uma estação de tratamento de efluentes que, tem como um dos propósitos reduzir a carga de compostos orgânicos. No entanto, permanecem altas cargas de nutrientes, dentre eles o N e o P. A disposição principal do efluente desse sistema de tratamento é a adubação de áreas de cultivo de milho para silagem, tanto na época da safra como da safrinha, destinado a nutrição animal. Está prática na UEPE-GL remonta a 10 a 15 anos e é realizada sem um controle rigoroso sobre a taxa de aplicação anual. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo geral obter informações que possam contribuir para aprimorar o manejo da UEPE-GL, tendo, para tanto como objetivo específico avaliar o impacto da adubação continua com o efluente nas frações totais da matéria orgânica, P e N e nas frações disponíveis de P e N.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAIS DE ESTUDO

O estudo do solo foi realizado na UEPE-GL localizada na Universidade Federal de Viçosa, coordenada 20° 45'54"S e 45° 52'54"O, no município de Viçosa, estado de Minas Gerais.

Os locais estão identificados na Tabela 1, a qual contém os dados de área do terreno, a divisão em glebas, o desnível do terreno entre os pontos mais alto e mais baixo e informação sobre o aporte de efluente durante 10 a 15 anos. Os locais em sua maioria são utilizados para plantio de milho para silagem, com manejo convencional do solo, exceto o Vale que é utilizado como pasto.

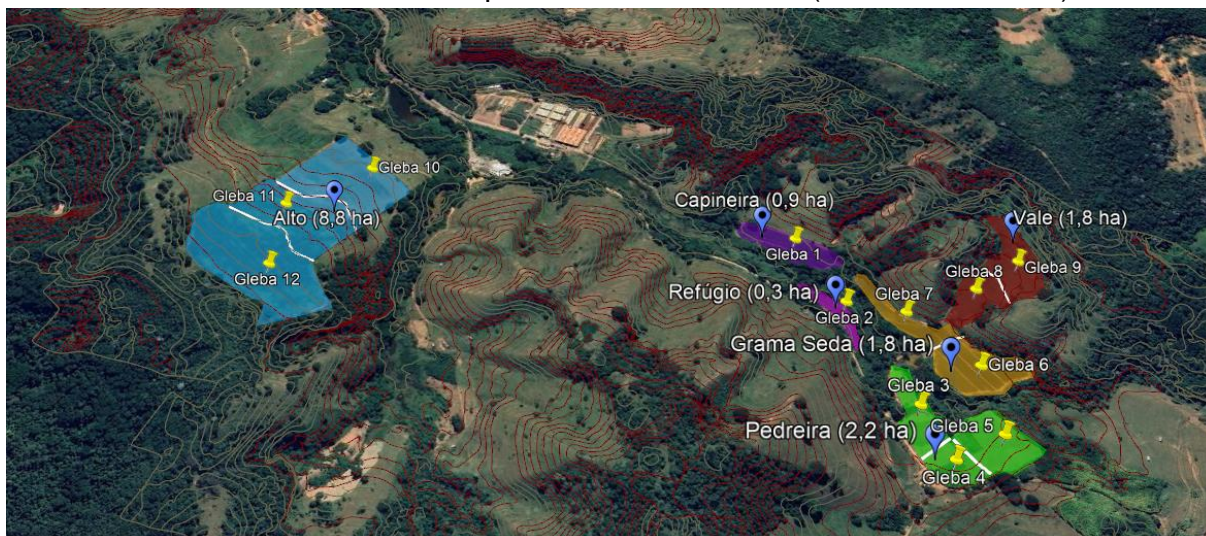
Tabela 1 - Locais avaliados na UEPE-GL, com as respectivas áreas, glebas, desnível entre o ponto mais alto e o mais e mais baixos e a aplicação de efluente por 10 a 15 anos

Local	Área	Glebas	Desnível	Efluente
	ha		m	
Alto	8,8	G-10, G-11, G-12	75	não
Capineira	0,9	G-1	5	sim
Refúgio	0,3	G-2	5	sim
Gramma Seda	1,8	G-6, G-7	5	sim
Vale	1,8	G-8, G-9	25	não
Pedreira	2,2	G-3, G-4, G-5	10	sim

Fonte: Autora.

A divisão das glebas foi delimitada de acordo com o relevo do terreno seguindo as curvas de nível, conforme destacadas pelas linhas vermelhas na Figura 1. Nos locais Alto e Vale o solo é um Cambissolo e nos demais prevalece Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico (SANTOS et al., 2018).

Figura 1 – Foto com indicação dos locais avaliados, com as respectivas glebas na UEPE-GL, evidenciando o relevo pelas curvas de níveis (linhas vermelhas)



Fonte: Google Earth Pro.

2.2 AMOSTRAGEM DO SOLO

As amostras de solo foram coletadas com o trado tipo holandês em 25 pontos distribuídos de maneira aleatória em cada gleba. Foram coletadas amostras em cinco profundidade: 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm, obtendo-se uma amostra composta por profundidade por gleba.

Após a coleta, os solos foram secos à sombra, e em seguida destorroados e peneirados em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), que foram armazenadas em embalagens plásticas para posterior análises laboratoriais.

2.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Para quantificar o carbono orgânico total (COt) as subamostras do solo foram maceradas e passadas por peneiras de XX mm. As subamostras foram tratadas com solução de HCl 1 mol L⁻¹, para eliminação de carbonatos e posteriormente foram secas em estufa com circulação de ar a 40 °C.

As determinações do COt foram realizadas pelo método de Pregl-Dumas utilizando um analisador elementar Perkin Elmer 2400 series ii (CHNS/O) (PATTERSON, 1973).

2.4 CARACTERIAÇÃO DO NITROGÊNIO

Determinou-se o N total, as frações inorgânicas de N (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) e o N orgânico potencialmente mineralizável.

2.4.1 NITROGÊNIO TOTAL

O nitrogênio total (Nt) foi determinado concomitante com a determinação do COt, pelo método de Pregl-Dumas utilizando um analisador elementar Perkin Elmer 2400 series ii (CHNS/O).

2.4.2 NITROGÊNIO INORGÂNICO

As formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram extraídas dos solos por meio de solução 1 mol L⁻¹ KCl, de acordo com Gianello & Bremner (1965). Para tanto, 5 g de TFSA foram transferidas para Erlenmeyer de 125 mL adicionando-se 50 mL de KCl 1 mol L⁻¹. Os Erlenmeyer foram agitados por 1 h a 200 oscilações por minuto e depois deixados em repouso por 16 h para sedimentação.

Após o tempo de repouso alíquotas 10 mL do sobrenadante foram transferidas para tubos de destilação para as dosagens de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Para isso os tubos foram acoplados a um destilador de nitrogênio amoniacal para dosagem do N pelo método de Kjeldahl, utilizando como alcalinizante 10 mL de solução de NaOH 40 g L⁻¹. A NH₃ volatilizada foi coletada em Erlenmeyer contendo 10 mL de solução indicadora mista (verde de bromocresol + vermelho de metila) de ácido bórico 20 g L⁻¹. A dosagem do N-NH₄⁺ foi por meio de titulação colorimétrica utilizando solução padrão de HCl. Os teores de N-NH₄⁺ foram expressos mg kg⁻¹.

Ao mesmo tubo do procedimento de dosagem de N-NH₄⁺ adicionou-se 0,2 g de liga Devarda, que para reduzir o NO₃⁻ a NH₄⁺ e procedeu-se a destilação e dosagem no N- NO₃⁻ como descrito anteriormente. Os teores de N- NO₃⁻ foram expressos em mg kg⁻¹.

2.4.3 NITROGÊNIO ORGÂNICO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL

O N orgânico potencialmente mineralizável (N-min) foi estimado pelo método da incubação anaeróbica de acordo com Waring & Bremner (1964). Para tanto, 5g de TFSA dos solos foram colocados em tubos de vidro com capacidade para 10 mL. Em seguida adicionaram-se 10 mL de água deionizada de forma gradativa, agitando para remoção de bolsões de ar nos microagregados. Ao completar o volume os tubos foram hermeticamente fechados com tampas plásticas e incubados em uma câmara BOD, a 40 °C, onde permaneceram por 7 d.

Ao final da incubação, agitaram-se os tubos manualmente por 15 segundos para ressuspender o solo sedimentado e os conteúdos foram integralmente transferidos para tubos de destilação, aos quais foram adicionados 10 mL da solução 4 mol L⁻¹ de KCl. Os tubos foram acoplados a um destilador de nitrogênio amoniacal para dosagem do N pelo método de Kjeldahl, utilizando como alcalinizante 10 mL de solução de NaOH 400 g L⁻¹. A NH₃ volatilizada foi coletada em Erlenmeyer contendo 10 mL de solução indicadora mista de ácido bórico 2 %. A dosagem do N-NH₄⁺ foi por meio de titulação colorimétrica utilizando solução padrão de HCl.

O N-min foi estimado pela diferença entre os teores de N-NH₄⁺ obtidos após a incubação e de amostras sem incubação, que foi a dosagem do N-NH₄⁺ descrita no item 2.4.1, sendo expressos mg kg⁻¹. A taxa de mineralização (*tx_Min*) foi expressa em mg kg⁻¹ d de N-NH₄⁺.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO FÓSFORO

Determinou-se o fósforo total (Pt), a capacidade de adsorção de P (P_{sor}) e o P disponível do extrator Mehlich-3, de acordo com Gatiboni (2021).

2.5.1 FÓSFORO TOTAL

Pesaram-se 0,100 g de TFSA macerada em um tubo de digestão de vidro de 50 mL, ao qual foi incorporado 2 mL de H₂SO₄ concentrado e 2 mL de H₂O₂ a 37%. Em seguida colocaram-se os tubos em um bloco de digestão que foi aquecido gradativamente até 350 °C, permanecendo à esta temperatura por cerca 120 min para a completa digestão do solo.

Após o resfriamento o extrato foi filtrado e completou-se o volume com água destilada até 50 mL. A dosagem do P foi por espectrofotometria de absorção molecular, por meio do método do complexo fosfomolibdato de acordo Braga & Defelipo (1974). Os teores foram expressos como mg kg⁻¹.

2.5.2 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE SORÇÃO DE FÓSFORO

Pesaram-se 0,500 g de TFSA macerada que foram adicionadas a tubos de centrífuga de 15 mL, acrescentando-se, na sequência 10 mL de uma solução com 125 mg L⁻¹ de P.

Em seguida, os tubos foram agitados em um agitador de revolução a 30 rpm durante 60 minutos. Na sequência os tubos foram centrifugados durante 15 minutos a 3600 g e o coletou-se o sobrenadante para análise, que caracterizou o teor de P na solução de equilíbrio. A dosagem do P foi por espectrofotometria de absorção molecular, por meio do método do complexo fosfomolibdato de acordo Braga & Defelipo (1974). A capacidade de sorção de P (P_{sor}) foi expressa em termos relativos à concentração inicial de P, por meio da Equação 1:

$$P_{sor} = \frac{125 - P_{equ}}{125} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

125: concentração de P (mg L⁻¹) na solução adicionada;

Pequ: concentração de P (mg L⁻¹) na solução de equilíbrio.

2.5.3 FÓSFORO DISPONÍVEL EM MEHLICH-3

A extração de P em Mehlich-3 (PM-3) teve início com a adição de 10 mL de uma solução extratora Mehlich-3 ao tubo da centrífuga contendo 0,500 g de amostra de solo. Os tubos foram agitados em um agitador de revolução a 30 rpm durante 5 minutos e posteriormente foram centrifugados durante 15 minutos a 3600 g. No extrato dosou-se o P por espectrofotometria de absorção molecular, por meio do método do complexo fosfomolibdato de acordo Braga & Defelipo (1974). Os teores de P disponíveis foram expressos em mg kg⁻¹.

Estimaram-se as disponibilidades relativas de P (dP_{rel}) média dos locais, para as diferentes profundidades, considerando o nível crítico para teores de P em Mehlich-3 de acordo com o valor de fósforo remanescente (P_{rem}), segundo Reis (2020), conforme a Equação 2:

$$dP_{rel} = \frac{PM3}{NC} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

PM3: é o teor de P ($mg\ kg^{-1}$) extraído em Mehlich-3;

NC: nível crítico de P ($mg\ kg^{-1}$) para Mehlich-3, em função do P_{rem} (REIS et al., 2020).

Para a interpretação do dP_{rel} (%) adotou-se o seguinte critério:

$\leq 50\ %$	muito baixo
50,1 – 72,5 %	baixo
72,6 – 100%	médio
100,1 – 150 %	bom
$> 150\ %$	muito bom

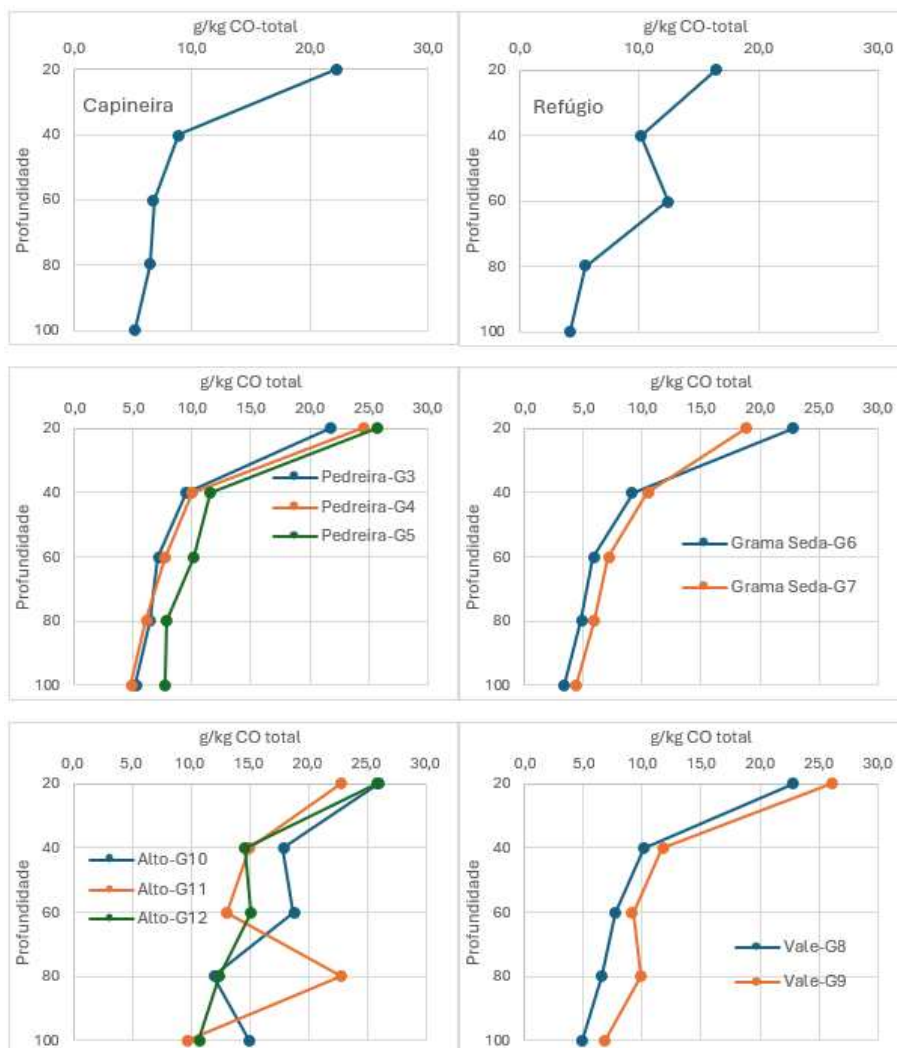
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já indicado na Tabela 1 apenas os locais Vale e Alto não receberam aplicações de efluentes. Nos demais locais houve aplicações de efluentes ao longo de 10 a 15 anos no cultivo de milho para silagem, nos períodos de safra e safrinha. As aplicações dos efluentes foi por escoamento por gravidade do ponto mais alto para o mais baixo, nas entrelinhas do milho.

3.1 CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO

Os teores de CO_t na camada de 0 – 20 cm (Figura 2), em termos gerais, variaram entre 16 e 26 g kg^{-1} , correspondem à classe de teores médios (11,7 – 23,2 g kg^{-1}) de acordo com as classes de diagnóstico propostas por Alvarez (1999). Nas camadas inferiores os teores de CO_t variam entre as classes muito baixa (< 4,0 g kg^{-1}) e baixa (4,1 – 11,6 g kg^{-1}).

Figura 2 – Teor de carbono orgânico total (CO_t) expresso em $g\ kg^{-1}$ por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado



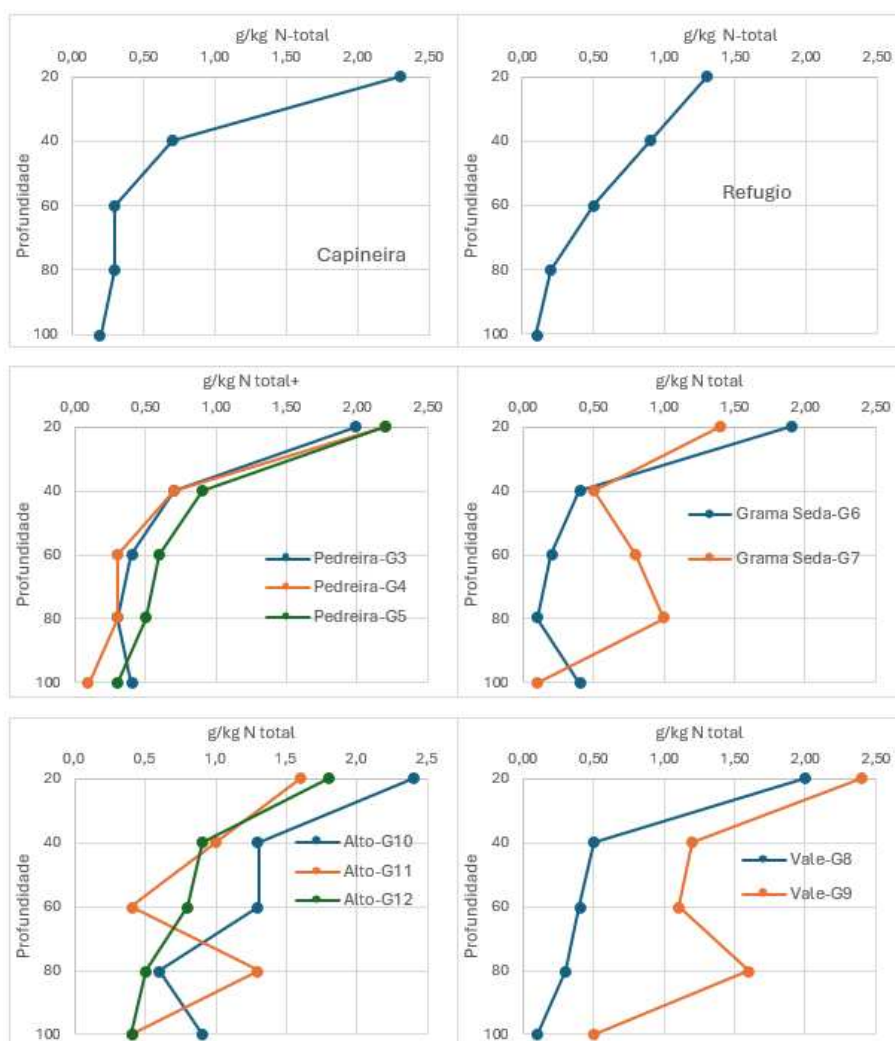
Fonte: Autora.

A distribuição vertical dos teores de CO_t no solo (Figura 2) não apresenta um padrão de variação que evidencie a movimentação de material orgânico com a profundidade. Conforme o esperado os maiores teores de CO_t estão presentes na camada superficial do solo. A gleba G5 da Pedreira e G6 da Grama Seda são as mais elevadas, sendo onde iniciou o escoamento do efluente, o que justifica os maiores teores de CO_t na camada de 0-20 cm. A G5 da Pedreira, no entanto, apresentou maiores teores de CO_t até um metro de profundidade.

Os teores de N_t também foram mais elevados na camada de 0 – 20 cm, decaindo com a profundidade em todas os locais (Figura 3). No Vale a gleba G9 apresentou maiores teores, tanto de N_t como de CO_t (Figura 2) do que a G8, em todas as camadas do solo, o que se justifica por estar na posição mais baixa do terreno, com desnível

de 25 m (Tabela 1). Por não ter recebido aplicação de efluentes a evidência de acúmulo de matéria orgânica na parte mais baixa do terreno, decorre do processo de pedogênese do solo. Corroborando com esta pressuposição, a mesma tendência foi observada na gleba G10 do Alto, que está em cota inferior às glebas G11 e G12 e com um desnível mais acentuado, de 75 m.

Figura 3 – Teor de nitrogênio total (N_t) expresso em $g\ kg^{-1}$ por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado



Fonte: Autora.

A correlação significativa (Tabela 2) entre os teores de CO_t e N_t na maioria dos locais indica que os teores de N estão relacionados à distribuição da matéria orgânica com a profundidade, confirmando o estudo realizado por Cerri (2023) no qual afirma que 98% do N_t do solo é de natureza orgânica. Esta correlação não foi significativa

apenas para a gleba G7 da Grama Seda, o que se deve, no entanto, aos elevados teores de N_t nas camadas de 20 – 40 e 60 - 80 cm.

A relação C/N entre 10 e 12, que prevalecem na camada de 0 – 20 cm (Figura 3) na maioria dos locais caracteriza a predominância de matéria orgânica em avançado estado de humificação. Em todos os locais a relação C/N eleva-se a valores maiores que 12 com a profundidade (Figura 3). A relação C/N maior que 12 sugere que a matéria orgânica ainda está em processo de humificação ou que o solo recebeu um aporte significativo de material orgânico (CERRI et al., 2023). Exsudatos radiculares e o próprio material orgânico das raízes senescentes são outros fatores que contribuem para a elevação da relação C/N.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação entre as variáveis dos teores de CO_t , N_t , $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ e a tx_Min

Área	CO_t vs			N_t vs		$N-NH_4^+$ vs	
	N_t	tx_Min	$N-NH_4^+$	tx_Min	$N-NH_4^+$	tx_Min	NO_3^-
R (%)							
Capineira	0,998	0,974	-0,291	0,978	-0,268	-0,088	0,994
Refúgio	0,896	0,876	-0,198	0,999	-0,434	-0,454	1,000
Pedreira-G3	0,996	0,960	-0,058	0,963	-0,079	-0,237	0,998
Pedreira-G4	0,997	0,864	0,244	0,842	0,280	0,125	0,997
Pedreira-G5	0,994	0,841	0,255	0,859	0,207	-0,279	0,993
Grama Seda-G6	0,996	0,830	-0,274	0,779	-0,237	-0,408	0,999
Grama Seda-G7	0,723	0,914	0,788	0,384	0,964	0,484	0,986
Vale-G8	0,995	0,956	0,608	0,926	0,528	0,784	0,996
Vale-G9	0,901	0,946	-0,512	0,817	-0,383	-0,593	0,994
Alto-G10	-0,595	0,878	0,752	-0,784	0,032	0,391	1,000
Alto-G11	-0,816	0,644	-0,065	-0,841	0,526	-0,779	0,993
Alto-G12	-0,851	0,854	0,542	-0,964	-0,642	0,700	0,991

R (%) \geq 0,950 corresponde a 5 % de probabilidade; R (%) \geq 0,990 corresponde a 1 % de probabilidade.

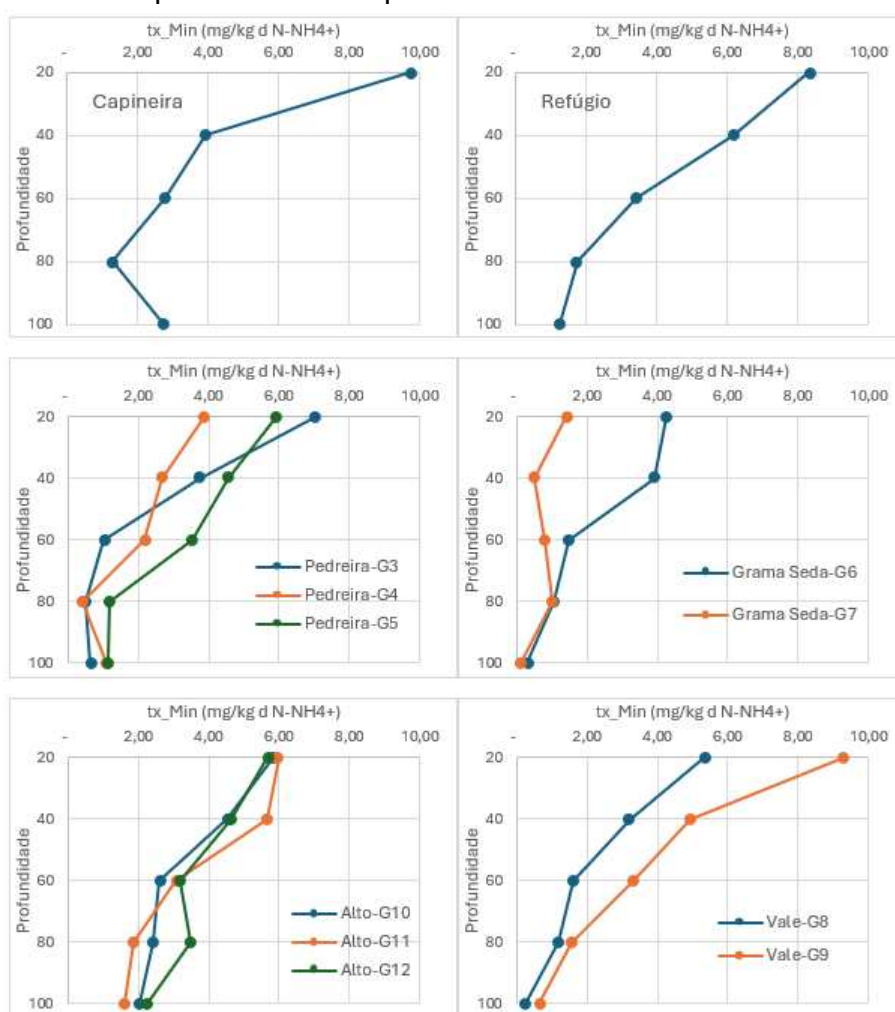
Fonte: Autora.

A taxa de mineralização anaeróbica (tx_Min) foi mais elevada na camada de 0 - 20 cm, reduzindo de forma consistente com o aumento da profundidade (Figura 4). A anaeróbica reflete a labilidade das formas orgânicas de N e foi proposta como índice da disponibilidade de N (WARING; BREMNER, 1964).

Os coeficientes de correlação entre teores de CO_t e tx_Min , embora não significativos para todos os locais (Tabela 2) atingiram valores superiores 0,800

evidenciando a importância da matéria orgânica para a atividade microbiana. A tendência de menor tx_Min com o aumento da profundidade dos solos evidencia uma menor labilidade das formas orgânicas de C e N, o que é respaldado pelo aumento da relação C/N (Figura 4). Esta indicação de menor labilidade da matéria orgânica reforça a pressuposição que o aumento da relação C/N com a profundidade deve-se mais à contribuição do material orgânico das raízes do que à movimentação de compostos orgânicos aportados pelo efluente.

Figura 4 – Taxa de mineralização anaeróbica (tx_Min) expressa em $mg\ kg^{-1}\ d^{-1}$ de $N-NH_4^+$ por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado

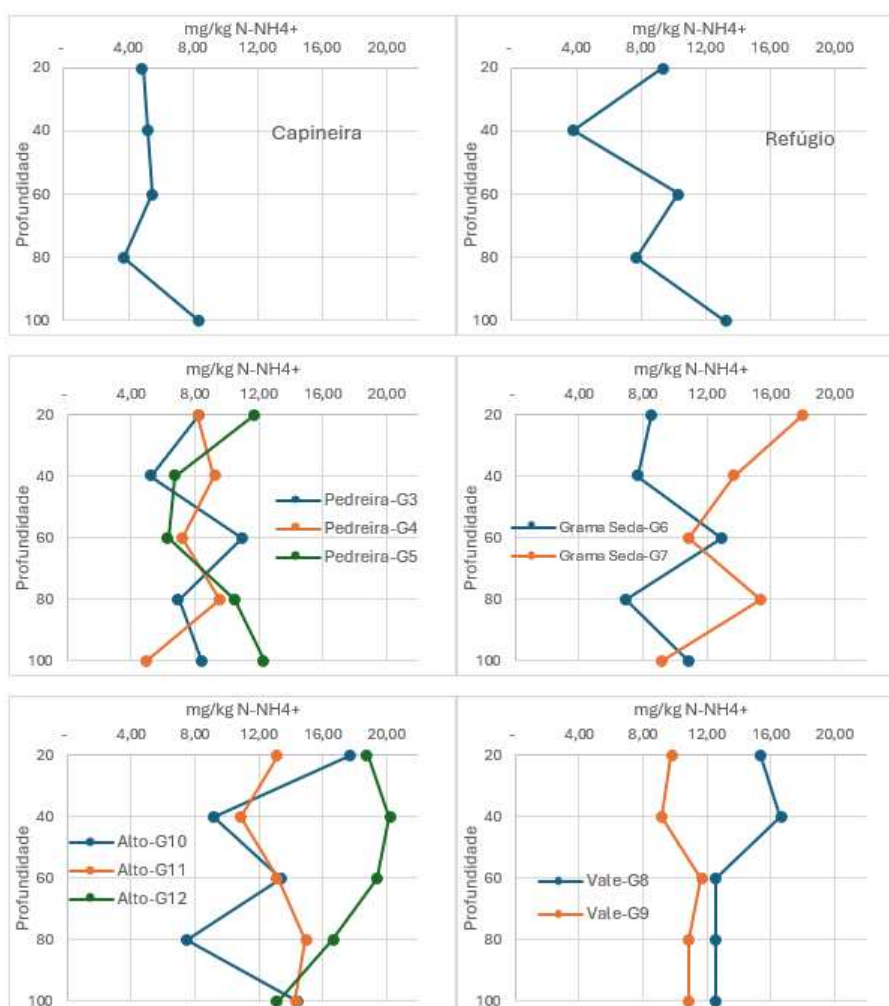


Fonte: Autora.

Os teores de $N-NH_4^+$ foram, em geral, menores do que os de $N-NO_3^-$ e, à despeito de algumas especificidades, observou-se a tendência de distribuição relativamente uniforme dos teores de $N-NH_4^+$ nas cinco camadas dos solos (Figura 5). Esta tendência de uniformidade do $N-NH_4^+$ nas diferentes camadas pode ser

decorrente da mineralização de formas orgânicas de N *in loco*. No entanto, a menor tx_Min com o aumento da profundidade, evidenciando menor labilidade das formas orgânicas de C e N e a falta de correlação entre os teores de $N-NH_4^+$ e a tx_Min (Tabela 2) contrapõem à esta pressuposição. Por outro lado, a lixiviação do NH_4^+ talvez seja a explicação mais pertinente, considerando que as bases trocáveis ($Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$) saturam de 80 a 100 % da CTC efetiva desses solos (dados não apresentados), o que dificultaria a retenção do NH_4^+ pela CTC dos solos, sobretudo sob as condições de intensa mineralização na camada superficial.

Figura 5 – Teor de $N-NH_4^+$ expresso em $mg\ kg^{-1}$ por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado

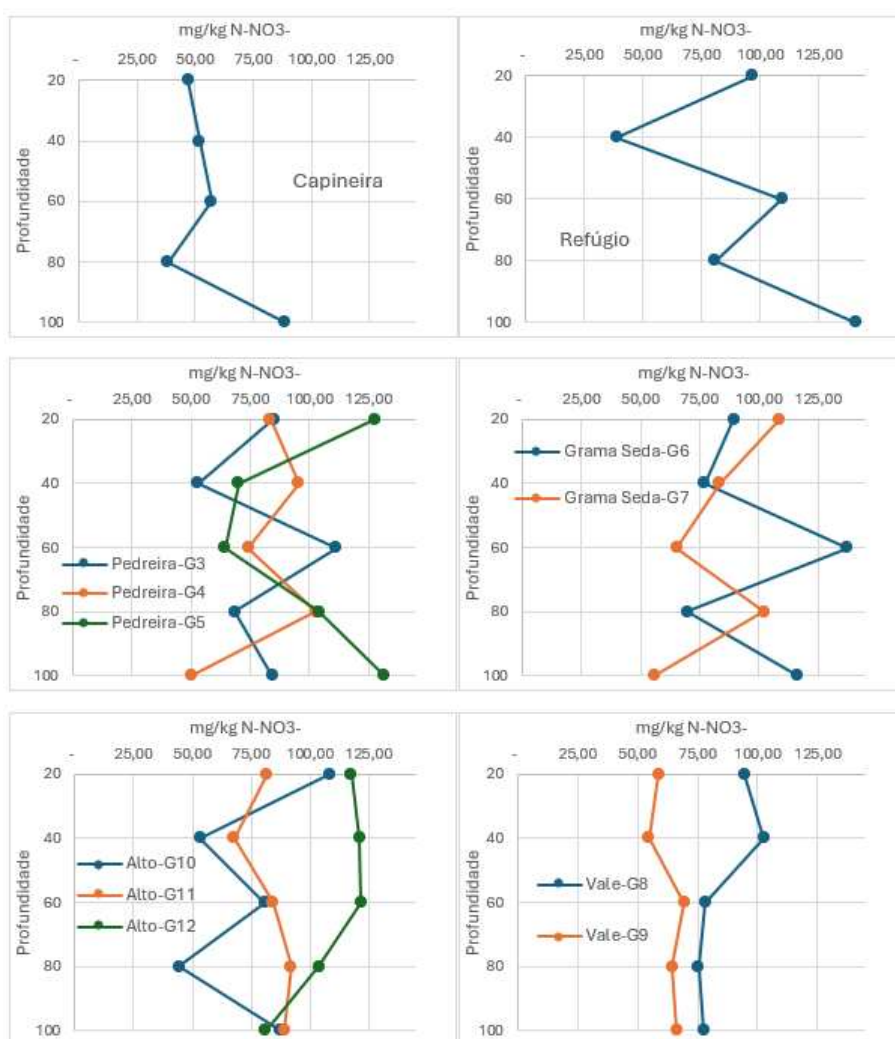


Fonte: Autora.

Os elevados teores de $N-NO_3^-$ em todas as localidades e profundidades (Figura 6) evidenciam que não há restrições ao processo de nitrificação. Em todos os locais, com ou sem a aplicação de efluente, a distribuição do NO_3^- em profundidade (Figura 6)

segiu o mesmo padrão da distribuição do NH_4^+ (Figura 5), justificando a elevada correlação ($R > 0,99$) entre estas variáveis (Tabela 2). O caráter eletronegativo desses solos em todo perfil é favorável à lixiviação do NO_3^- . No entanto, a elevada correlação entre os teores de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- sugere que a origem do NO_3^- ao longo das camadas dos solos seja a nitrificação do N amoniacal, o que para camadas mais profundas pareceria improvável, considerando que a nitrificação é um processo essencialmente aeróbico.

Figura 6 – Teor de N-NO_3^- expresso em mg kg^{-1} por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado

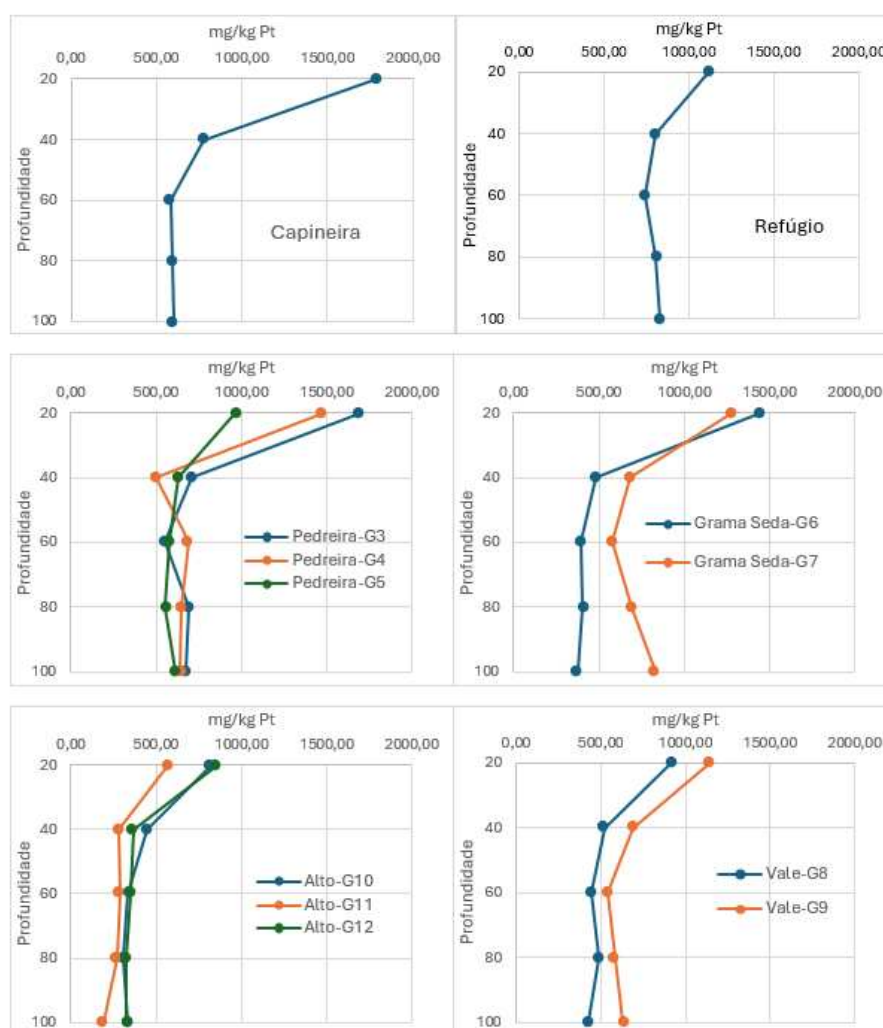


Fonte: Autora.

3.2 FÓSFORO NO SOLO

Como esperado o teor de P_T foi mais elevado na camada de 0 - 20cm em todos os locais e reduzindo de forma acentuada com a profundidade (Figura 7). Nos locais com aplicação de efluente (Capineira, Refúgio, Pedreira e Grama Seda) o solo apresentou, em média, $1\,395,38\text{ mg kg}^{-1}$ de P_T enquanto nos locais sem aplicação (Vale e Alto) estes teores foram de $862,98\text{ mg kg}^{-1}$, correspondendo a um incremento de 62 %. Os teores de P_T foram em média, 42, 50, 59 e 70 % mais elevados nas camadas de 20-40, 30 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm, respectivamente, nos solos dos locais com aplicação de efluente. Estes resultados evidenciam que a aplicação de efluente favorece tanto o acúmulo de P na camada superficial, assim como uma possível lixiviação do P.

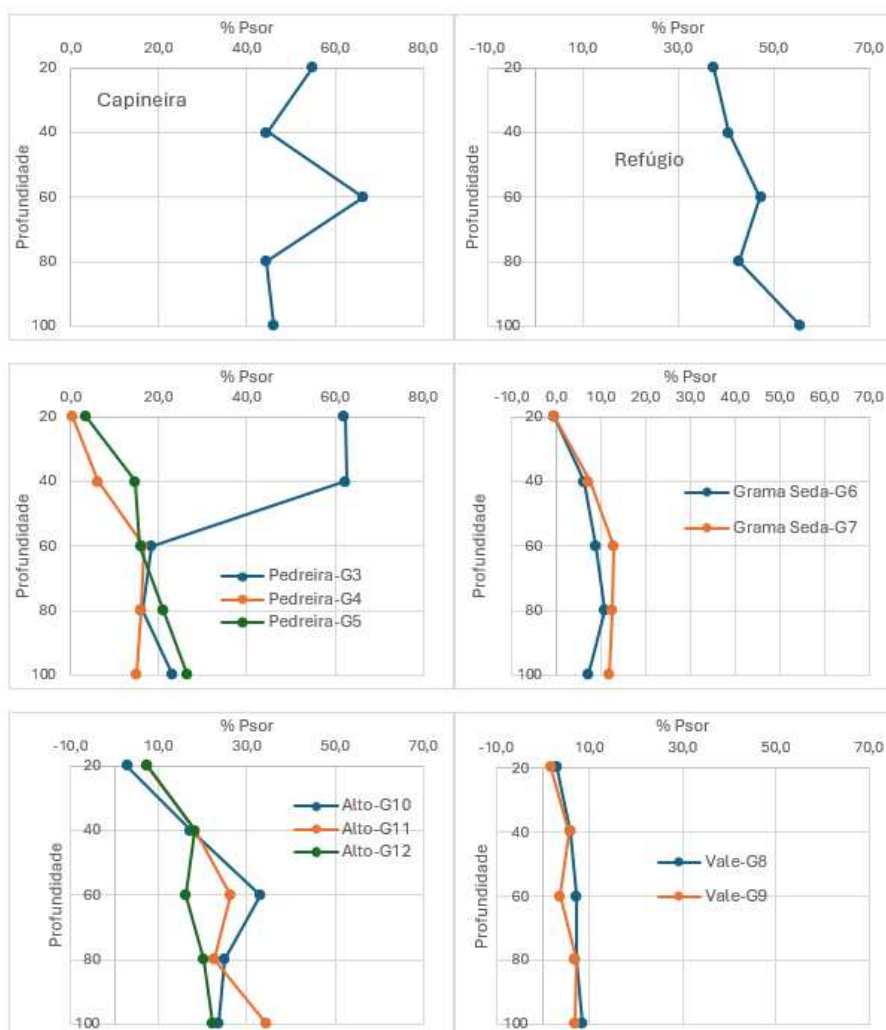
Figura 7 – Teor de fósforo total (P_T) expresso em mg kg^{-1} por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado



Fonte: Autora.

Os solos da Capineira e Refúgio apresentaram, em média, índices de sorção de P (P_{sor}) de 51 e 45 %, respectivamente, com relativa uniformidade em todas as cinco camadas (Figura 8). O solo da Pedreira apenas na gleba G3, até 40 cm de profundidade apresentou o P_{sor} médio de 62 %. Nos demais solos os índices de sorções médios variaram entre 5 e 22 %. Os solos dos quatro locais com aplicação de efluentes apresentaram P_{sor} , em média, de 22, 26, 27, 23, e 26 % nas cinco camadas, respectivamente. Enquanto isto, nos solos dos dois locais sem aplicação de efluentes os valores de P_{sor} além de menores, aumentaram com a profundidade; 5, 13, 17, 16 e 19 %, respectivamente. Espera-se, usualmente, a lixiviação de formas orgânicas de P (NOVAIS; SMYTH, 1999), no entanto os baixos índices de sorção sugerem condições propícias para lixiviação até de formas inorgânicas de P.

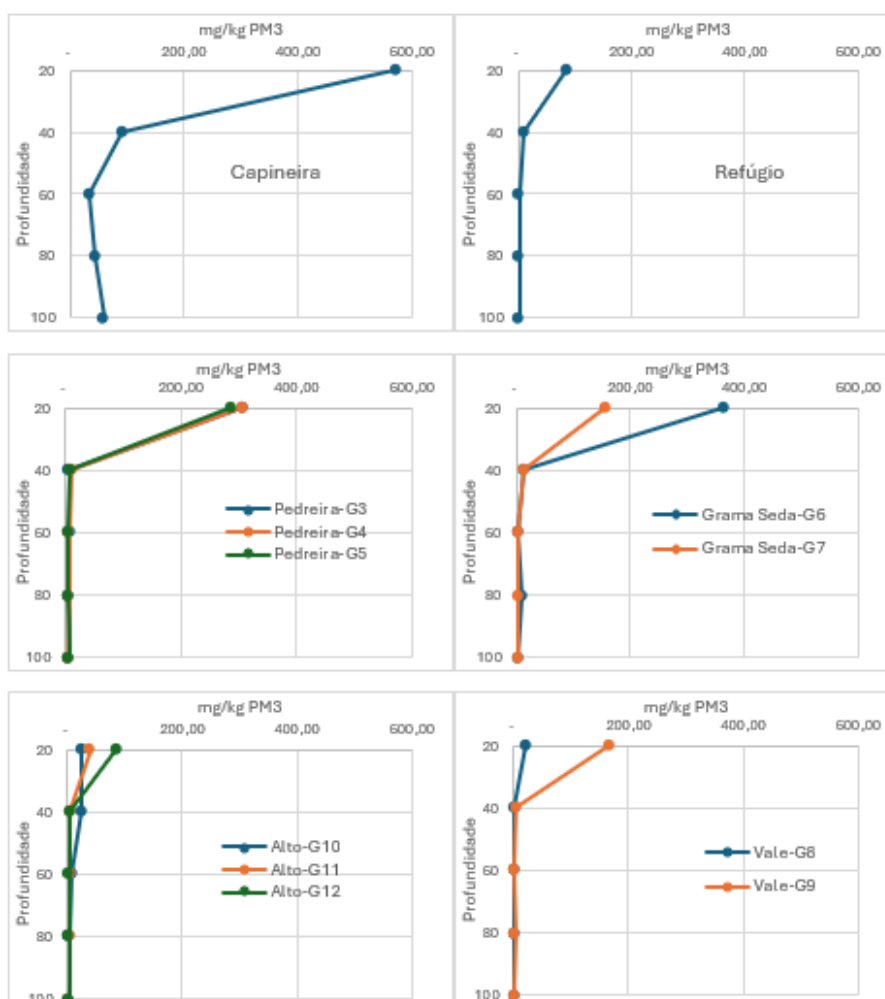
Figura 8 – Índice de sorção de fósforo (P_{sor}) por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado



Fonte: Autora.

Os teores de fósforo extraído em Mehlich-3 (PM3) foram mais elevados na camada de 0 – 20 cm, sobretudo nos solos dos locais com aplicação de efluente e reduziram de forma acentuada a profundidade (Figura 9). Os teores de PM3 nos solos dos locais Vale e Alto, que não receberam efluentes, foram, em média, de 66,83, 7,74, 2,98 e 2,29 mg kg⁻¹ nas camadas de 20-40, 30 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm, respectivamente, enquanto nos solos dos locais com a aplicação de efluente esses teores foram 3,4, 1,9, 2,0, 3,0 e 4,5 vezes maiores, nas respectivas camadas. Tais resultados evidenciam que a continua aplicação de efluentes favoreceu substancial elevação na disponibilidade P, mesmo nas camadas mais profundas. Considerando que os teores de PM3, refletem, essencialmente, formas inorgânicas de P, isso sugere a lixiviação destas formas de P, pressuposição que pode ser suportada pelos baixos índices de sorção de P.

Figura 9 – Teor de fósforo extraído em Mehlich-3 (PM3) expresso em mg kg⁻¹ por camada de profundidade expressa em cm e o local avaliado



Fonte: Autora.

Os solos dos locais avaliados, considerando-se as diferentes camadas apresentaram valores de P remanescente (Prem) variando entre 8,4 e 41,4 mg L⁻¹ (dados não apresentados), caracterizando ampla variação no fator capacidade para P. Para esta condição a disponibilidade relativa de P (dPrel) (Tabela 3), que é estabelecida em relação ao fator capacidade (Prem) possibilita o diagnóstico comparativo da disponibilidade de P. Assim, pode-se inferir que há muito boa disponibilidade de P (dPrel > 150 %) na camada superficial do solo em todos os locais, sobretudo naquele com aplicação de efluente. Nos solos do Vale e Alto está elevada disponibilidade de P reflete, seguramente, o efeito residual de adubações com fertilizantes minerais. No solo da capineira a condição de elevada disponibilidade de P estende-se até um metro de profundidade, corroborando com a pressuposição de lixiviação de formas inorgânicas de P. Nos locais Refúgio, Pedreira e Grama Seda, que também receberam aplicação de efluente a disponibilidade de P é baixa (50,1 < dPrel < 72,5 %) ou média (72,6 < dPrel < 100 %) até 60 cm de profundidade e nas camadas inferiores a disponibilidade é muito baixa (dPrel ≤ 50 %). O solo do Alto também apresenta dPrel média até 40 cm e muito baixa nas camadas mais profundas, enquanto o solo vale tem limitada disponibilidade de (dPrel ≤ 50 %) nas camadas abaixo de 20 cm.

Tabela 3 - Disponibilidades relativas de P (dPrel)¹ média dos locais, para as diferentes profundidades, estimadas em relação ao nível crítico para Mehlich-3 de acordo com o valor de fósforo remanescente (Prem)

Profundidade	Capineira	Refúgio	Pedreira	Grama Seda	Vale	Alto
cm	%					
0 – 20	3333	490	1747	1517	559	344
20 – 40	321	71	65	83	16	93
40 – 60	207	13	56	24	8	34
60 – 80	257	12	52	42	13	26
80 – 100	425	12	55	30	13	22

¹ Critério de interpretação do dPrel: ≤ 50 %: muito baixo; 50,1 –72,5 %:baixo; 72,6 –100%: médio; 100,1 –150 %: bom; > 150 %: muito bom

Fonte: Autora.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o uso continuado de efluentes da UEP-GL na adubação do cultivo de milho:

- Proporcionou elevação nos teores de matéria orgânica nos primeiros 20 cm do solo, sem, contudo, alcançar níveis considerado elevados;
- Não promoveu aumento na carga de compostos orgânico até a profundidade de um metro no solo;
- Promoveu aumento nas formas de N orgânico nos primeiros 20 cm do solo;
- Aumentou os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- em todo o perfil do solo até um metro de profundidade, evidenciando a lixiviação destas formas;
- Favoreceu maiores teores de N-NO_3^- do que de N-NH_4^+ em todo o perfil do solo;
- Promoveu substancial aumento no total de P nos 20 cm superficiais dos solos;
- Favoreceu a lixiviação de P até um metro de profundidade, com evidências de lixiviação de formas inorgânicas;
- Condicionou elevada disponibilidade de P nos 20 cm superficiais dos solos;
- Condicionou elevada disponibilidade de P até um metro de profundidade no local denominado de Capineira.

Em termos gerais os resultados permitem inferir que há evidências de potencial contaminação do lençol freático com P e N. Além disso, os resultados alertam sobre a necessidade do aprimoramento do manejo da aplicação de efluentes, sendo que a aplicação na Capineira deve ser suspensa. Em todas os locais a adubação fosfatada deverá ser reduzida, sendo as doses definidas apenas com base na restituição das quantidades removidas pelas colheitas. Indica-se a necessidade de um criterioso monitoramento da fertilidade do solo por meio de análise de solo, anualmente.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: 5ª aproximação, 1999.
- ANDRADE, C. A. et al. **Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, n. 5, p. 536–544, 2013.
- BORBA, R. C. **Disposição de lodo de esgoto em solo agrícola e potencialidade de poluição do aquífero freático raso**. 2021.
- BORTONI, S. F.; SILVA, J. B. G.; SOUSA, C. P. DE. **Efeito residual da fertirrigação com água residuária de bovinocultura na qualidade de um solo argilo-arenoso**. Revista Engenharia na Agricultura - REVENG, v. 26, n. 5, p. 452–463, 2018.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. **Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal**. Rev Ceres, 1974.
- BREMNER, J. M.; K. D. R. **Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam distillation methods**. BLACK, C.A. (Ed.). Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties, 1965.
- CERRI, C. E. P. et al. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2023.
- GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. M. **A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems**. Geoderma, v. 385, 1 mar. 2021.
- LEAL DE CARVALHO, N.; ZABOT, V. **Nitrogênio: nutriente ou poluente?** Rev. Elet. em Gestão, n. 6, p. 960–974, 2012.
- MATOS, C. F. et al. **Evaluation of the potential of use of bovine manure biofertilizer resulting from the management system of organic and conventional milk production**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 5, p. 1957–1969, 2017.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância E Controle Da Qualidade Da Água Para Consumo Humano**. Ministério da Saúde, 2006.
- NOVAIS, R. F. DE; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa, MG, 1999.
- PATTERSON, R. K. **Automated Pregl- Dumas Technique for Determining Total Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Atmospheric Aerosols**. Analytical Chemistry, v. 45, 1973.

PEREIRA BRAZ, S. et al. **Aspectos Quantitativos do Processo de Reciclagem de Nutrientes pelas Fezes de Bovinos sob Pastejo em Pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Zootecnia, p. 858-865, 2002.

PINHEIRO, R. B. et al. **Nitrate Mobility in Variable-Charge Tropical Soils.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 51, n. 16, p. 2163–2173, 2020.

REIS, J. V. DOS et al. **Interpretation of soil phosphorus availability by Mehlich-3 in soils with contrasting phosphorus buffering capacity.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 44, 2020.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5 ed. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, E. M.; ROUSTON, D. M. **Sistemas naturais para tratamento de resíduos líquidos de bovinocultura de leite.** XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...**2013.

WARING, S. A.; BREMNER, J. M. **Ammonium Production in Soil under Water-Logged Conditions as an Index of Nitrogen Availability.** Nature, 1964.

APÊNDICES

APENDICE A - Teores de carbono orgânico total (COt), nitrogênio total (Nt) e a relação C/N no solo de acordo com a profundidade nos diferentes locais avaliados

Área	Profundidade (cm)				
	20	40	60	80	100
	COt (g/kg)				
Capineira	22,2	8,9	6,8	6,5	5,2
Refúgio	16,4	10,1	12,4	5,5	4,2
Pedreira-G3	21,8	9,5	7,1	6,4	4,8
Pedreira-G4	24,5	10,0	7,7	6,1	4,8
Pedreira-G5	25,7	11,6	10,1	7,9	7,7
Gramma Seda-G6	22,9	9,2	5,8	4,8	3,4
Gramma Seda-G7	18,8	10,4	7,1	5,9	4,4
Vale-G8	22,9	10,2	7,7	6,6	4,9
Vale-G9	26,1	11,7	9,2	9,9	6,8
Alto-G10	25,9	17,8	18,7	11,9	15,0
Alto-G11	22,8	15,0	13,0	22,7	9,6
Alto-G12	25,8	14,6	15,1	12,4	10,6
	Nt(g/kg)				
Capineira	2,30	0,70	0,30	0,30	0,20
Refúgio	1,30	0,90	0,50	0,20	0,10
Pedreira-G3	2,00	0,70	0,40	0,30	0,40
Pedreira-G4	2,20	0,70	0,30	0,30	0,10
Pedreira-G5	2,20	0,90	0,60	0,50	0,30
Gramma Seda-G6	1,90	0,40	0,20	0,10	0,40
Gramma Seda-G7	1,40	0,50	0,80	1,00	0,10
Vale-G8	2,00	0,50	0,40	0,30	0,10
Vale-G9	2,40	1,20	1,10	1,60	0,50
Alto-G10	2,40	1,30	1,30	0,60	0,90
Alto-G11	1,60	1,00	0,40	1,30	0,40
Alto-G12	1,80	0,90	0,80	0,50	0,40
	C/N				
Capineira	10	13	23	22	26
Refúgio	13	11	25	28	42
Pedreira-G3	11	14	18	21	12
Pedreira-G4	11	14	26	20	48
Pedreira-G5	12	13	17	16	26
Gramma Seda-G6	12	23	29	48	9
Gramma Seda-G7	13	21	9	6	44
Vale-G8	11	20	19	22	49
Vale-G9	11	10	8	6	14
Alto-G10	11	14	14	20	17
Alto-G11	14	15	33	17	24
Alto-G12	14	16	19	25	27

APENDICE B - Teores de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e a tx_Min (tx_Min) nas amostras de solo de acordo com a profundidade nos diferentes locais avaliados

Área	Profundidade (cm)				
	20	40	60	80	100
N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)					
Capineira	4,92	5,24	5,50	3,68	8,32
Refúgio	9,37	3,84	10,32	7,68	13,24
Pedreira-G3	8,19	5,24	10,92	6,97	8,41
Pedreira-G4	8,15	9,19	7,24	9,55	4,92
Pedreira-G5	11,72	6,70	6,32	10,46	12,32
Gramma Seda-G6	8,50	7,64	12,90	6,88	10,86
Gramma Seda-G7	18,01	13,66	10,86	15,37	9,15
Vale-G8	15,37	16,61	12,57	12,57	12,57
Vale-G9	9,77	9,15	11,64	10,86	10,86
Alto-G10	17,70	9,15	13,35	7,44	14,44
Alto-G11	13,19	10,86	13,19	14,90	14,28
Alto-G12	18,79	20,19	19,41	16,61	13,19
N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)					
Capineira	46,95	51,86	57,06	38,33	88,57
Refúgio	96,82	38,60	109,32	80,78	140,82
Pedreira-G3	85,09	52,81	111,29	68,55	84,47
Pedreira-G4	83,47	95,44	74,11	102,64	50,17
Pedreira-G5	127,95	69,99	64,20	103,90	131,54
Gramma Seda-G6	89,50	77,05	137,40	69,84	116,70
Gramma Seda-G7	108,94	83,39	65,23	102,13	55,82
Vale-G8	94,67	102,77	78,24	75,41	77,71
Vale-G9	58,90	54,79	69,59	64,42	66,21
Alto-G10	108,62	53,36	80,87	44,27	87,64
Alto-G11	81,74	67,85	84,33	92,00	89,22
Alto-G12	117,75	121,08	121,79	103,93	81,16
tx_Min (mg/kg d N-NH ₄ ⁺)					
Capineira	9,77	3,92	2,77	1,28	2,72
Refúgio	8,32	6,18	3,42	1,73	1,26
Pedreira-G3	7,02	3,73	1,02	0,51	0,65
Pedreira-G4	3,86	2,67	2,17	0,40	1,10
Pedreira-G5	5,91	4,55	3,55	1,19	1,15
Gramma Seda-G6	4,27	3,91	1,48	1,04	0,31
Gramma Seda-G7	4,80	3,22	2,60	0,74	1,69
Vale-G8	5,34	3,21	1,61	1,20	0,24
Vale-G9	9,28	4,92	3,31	1,55	0,65
Alto-G10	5,85	4,53	2,60	2,43	2,02
Alto-G11	5,99	5,65	3,08	1,85	1,63
Alto-G12	5,67	4,66	3,21	3,49	2,25

APENDICE C - Teores de fósforo total (PT), fósforo sorvido (P_{sor}) e fósforo extraído pelo Mehlich-3 (PM3) no solo de acordo com a profundidade nos diferentes locais de avaliados

Área	Profundidade (cm)				
	20	40	60	80	100
	P _T (mg/kg)				
Capineira	1789,80	775,87	581,01	595,24	597,99
Refúgio	1119,00	802,05	745,40	805,03	832,27
Pedreira-G3	1692,97	711,04	553,79	689,74	673,95
Pedreira-G4	1475,04	500,49	687,45	645,33	641,85
Pedreira-G5	964,98	631,32	578,80	555,97	611,57
Gramma Seda-G6	1447,61	479,51	396,93	405,81	372,78
Gramma Seda-G7	1278,23	687,21	581,39	695,68	828,57
Vale-G8	923,56	521,78	447,70	488,56	428,03
Vale-G9	1145,73	690,75	545,06	582,28	634,07
Alto-G10	821,96	447,42	335,10	304,91	331,89
Alto-G11	569,73	283,25	285,70	271,56	192,73
Alto-G12	853,90	365,75	352,50	323,84	328,33
	P _{sor} (%)				
Capineira	54,8	44,6	66,4	44,4	46,1
Refúgio	37,5	40,6	47,2	42,8	55,4
Pedreira-G3	62,2	62,6	18,4	16,2	23,3
Pedreira-G4	0,4	6,2	16,6	15,9	14,9
Pedreira-G5	3,6	14,6	15,8	21,0	26,5
Gramma Seda-G6	-0,6	6,2	8,9	10,8	7,2
Gramma Seda-G7	-0,6	7,4	12,8	12,4	11,7
Vale-G8	3,0	6,1	7,3	7,1	8,6
Vale-G9	1,9	5,8	3,6	7,2	7,0
Alto-G10	2,8	17,1	33,0	25,0	23,7
Alto-G11	7,5	18,3	26,2	22,6	34,4
Alto-G12	7,3	18,2	16,2	20,1	22,3

		P _{M3} (mg/kg)			
Capineira	573,23	92,57	35,57	44,13	60,39
Refúgio	84,35	10,07	1,85	1,68	1,68
Pedreira-G3	306,22	6,81	7,33	6,81	6,81
Pedreira-G4	307,93	10,92	6,13	6,13	5,27
Pedreira-G5	287,39	8,36	5,10	5,62	6,99
Gramma Seda-G6	364,41	13,49	3,56	10,92	3,56
Gramma Seda-G7	157,31	12,46	2,71	2,36	4,25
Vale-G8	21,88	0,82	0,65	1,51	2,02
Vale-G9	165,87	4,42	1,85	2,71	2,02
Alto-G10	22,56	25,64	5,79	2,36	2,88
Alto-G11	40,36	3,22	3,56	4,42	2,19
Alto-G12	83,49	4,59	3,05	2,71	2,36
