

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS - PROFÁGUA

RELATÓRIO TÉCNICO

ROSINEI RUIZ DE ALMEIDA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO
HÍDRICA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NA REGIÃO
NOROESTE DO PARANÁ

CAMPO MOURÃO
2023

ROSINEI RUIZ DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO
HÍDRICA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NA REGIÃO
NOROESTE DO PARANÁ**

**Soil quality and possible water contamination in a rural property located in the
northwest region of Paraná**

Relatório apresentado ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área de concentração em Instrumentos da Política de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Nelson Consolin Filho.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Peron.

CAMPO MOURÃO

2023



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	3
2 INTRODUÇÃO	3
3 OBJETIVO	5
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
5 METODOLOGIAS APLICADAS	5
5.1 Delimitação da área de coleta e coleta do solo	5
5.2 Análise físico-química do solo	6
5.3 Digestão ácida do solo e espectrometria de absorção atômica de chama	7
5.4 Análise pH e matéria orgânica do solo (MOS)	9
5.4.1 Teste <i>Allium cepa</i> solução aquosa do solo	10
6 DADOS E INFORMAÇÕES OBTIDAS	11
6.1 Massa específica do solo	11
6.1.1 Ensaio granulométrico: curvas granulométricas	11
6.1.2 Análise Química do solo	13
6.1.3 pH e Matéria Orgânica do Solo (MOS)	14
6.1.4 Teste <i>Allium cepa</i> : citogenotoxicidade	16
6.1.5 Teste <i>Allium cepa</i> : fitotoxicidade	17
7 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	17
7.1 Coleta solo ponto 1, 2, 3 e 4	17
7.2 Equipamento utilizados para análise física: granulometria	18
7.2.1 Teste <i>Allium cepa</i>	18
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
9 RECOMENDAÇÕES	19
10 REFERÊNCIAS	19

1 APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico foi desenvolvido por meio da pesquisa realizada no programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) no polo da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Campo Mourão-Paraná. Teve por intuito colaborar com a melhoria da gestão do recurso hídrico através de análises do solo de suposta área contaminada, estando pautado na Política Nacional dos Recursos Hídricos pois uma vez contaminado o solo, sugere-se a poluição das águas da região.

O trabalho foi desenvolvido na região rural de Engenheiro Beltrão, Chácara São José, local onde existe funcionamento de ferro velho e agricultura (possíveis fontes poluidoras). A referida Chácara contém um poço artesiano simples, minas e um riacho que podem estar recebendo efluentes das possíveis fontes poluidoras.

2 INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito e apesar de ser renovada pelo ciclo hidrológico é passível de escassez. Isso é notório devido à sua distribuição que não se encontra de forma uniforme e acessível em se tratando de qualidade e quantidade. Segundo Barros (2010), 89% do volume total da água doce do país está na Região Norte e Centro-Oeste está à disposição de 14,5% da população total, enquanto para as regiões Nordeste, Sudeste e Sul, onde estão distribuídas 85,5 % da população do Brasil, está disponível apenas 11 % deste recurso hídrico. Percebe-se que, enquanto há áreas ricas de água doce há poucos habitantes e vice-versa.

Com o aumento da população, urbanização e industrialização, os ecossistemas estão sendo alvos dos impactos produzidos. A questão da qualidade dos recursos hídricos está ligada aos fenômenos naturais e antrópicos em certa bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2007).

A introdução de componentes tóxicos e práticas não eficientes de gestão podem ocasionar a poluição e degradação do solo e conseqüentemente das água afetando a segurança alimentar e a saúde humana de quem faz uso do solo consome da água em regiões contaminadas.

O aumento na utilização de insumos industriais, também aumentou a preocupação com a contaminação do solo (STEFFEN *et al.*, 2011). O uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas diminuem os danos e aumenta a produtividade agrícola, mas esses compostos podem ser levados para o meio, dispersos pelo ar ou lixiviados no solo, chegando aos recursos hídricos (MELO *et al.*, 2016).

O município de Engenheiro Beltrão-Paraná, possui atividade agropecuária ativa e na área de estudo além da agricultura, existe a instalação e funcionamento de um “ferro-velho”, com desmonte de veículos na área mais alta do terreno. O desmonte de carros normalmente ocorre em locais sem infraestrutura adequada, ou seja, a céu aberto, em solo sem cobertura vegetal ou em solo pavimentado, mas sem impermeabilização e coleta de fluidos contaminantes (SORIANO *et al.*, 2016). O solo da região de estudo pode estar contaminado devido efluentes oriundos destas atividades por isso uma avaliação da qualidade do solo se faz pertinente.

Alguns estudos científicos, detectou-se metais pesados como zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb) e cádmio (Cd) em níveis superiores aos encontrados na natureza em solos e aquíferos subterrâneos por meio de ações antrópicas (ANTONIOLLI *et al.*, 2013), isso se procedeu principalmente em locais destinados à guarda de veículos apreendidos (MEDINA; GOMES, 2002). Devido a prática e funcionamento da atividade de ferro velho na vertente acima da chácara e atividades agrícolas no entorno, faz-se necessário avaliar a qualidade do solo por meio da análise físico e químico dos elementos do solo tais como: granulometria, massa específica, bem como a quantificação dos metais: Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Alumínio (Al).

Visando complementar a avaliação da qualidade do solo também foi realizada a análise ecotoxicológico com o bioensaio *Allium cepa* (raízes de cebola). Os bioensaios ecotoxicológicos, aliados a parâmetros físico-químicos, são usados em avaliações de impactos dos corpos hídricos, onde os organismos utilizados funcionam como biosensores que reagem aos contaminantes (BRAGA; LOPES, 2015).

Este estudo está em consonância com a linha de pesquisa escolhida no que tange a segurança hídrica e usos múltiplos da água pois relaciona-se com a avaliação da qualidade do solo que pode contaminar como consequência, os corpos hídricos. O presente estudo terá como premissa, analisar a qualidade do solo da Chácara São José e seu entorno por meio de análises físico-químicos e ecotoxicológicos (citogenotoxicidade e fitotoxicidade) e como produto final será proposto um protocolo contendo os resultados do estudo realizado.

3 OBJETIVO

Apresentar a metodologia utilizada a respeito das análises dos solos e resultados encontrados.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Engenheiro Beltrão possui área de 467,2 km², está localizado na região central do Paraná, deslocado ligeiramente para o noroeste, a 55 km de Maringá, 450 km da Capital do Estado e 350 km de Foz do Iguaçu. O clima é Subtropical Úmido Mesotérmico, verões quentes com tendência de concentração de chuvas, temperatura média superior a 22°C, invernos com geadas pouco frequentes, temperatura inferior a 18°C, sua economia se baseia na agropecuária (ENGENHEIRO BELTRÃO, 2011).

A chácara São José, área de estudo, está situada no município de Engenheiro Beltrão-Pr, e conforme Registro de Imóveis, está inserida na Gleba Rio Mourão, com área de 2.9040 ha e localiza-se na PR-317, na Rodovia Avelino Piacentini.

O poço para captação de água da área rural da Chácara São José é simples com 5 metros de profundidade e as minas são de escoamento superficial e seca em períodos de estiagem longa. As minas existem em vários pontos, em períodos chuvosos é possível visualizá-las, mas em épocas de estiagem prolongada as mesmas desaparecem. Possui também duas represas com peixes para consumo próprio da família. Ao lado da chácara, à direita, há um trecho destinado à agricultura e um riacho conhecido por rio do Bagre, este deságua no Rio Claro e este por sua vez no Rio Ivaí.

5 METODOLOGIAS APLICADAS

5.1 Delimitação da área de coleta e coleta do solo

A coleta do solo foi feita em pontos na área de estudo e nos arredores. A coleta para teste *Allium cepa* e análise física foi realizada no início do mês de março de 2022 e a coleta para análise química e matéria orgânica foi realizada no mês de abril de 2023. A área de estudo e os pontos de coleta estão destacados na Figura 1.

Figura 1 - Pontos de coleta em amarelo



Fonte: Autoria própria (2022)

Após delimitação da área de estudo, realizou-se o trabalho da coleta de solo em quatro pontos estratégicos: na cabeceira da vertente da chácara próximo ao ferro velho (ponto 1), um ponto próximo ao poço (ponto 2), um ao lado do riacho conhecido como Rio do Bagre (ponto 3), um ponto abaixo do ferro-velho em sua porção final (ponto 4) e um ponto controle em área de solo preservada, um jardim.

Cada ponto foi coletado duas amostras do solo (1000 g) cada em duas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, para as análises químicas e teste *Allium cepa*. Os mesmos pontos foram usados para análises físicas, porém utilizou-se três profundidades: 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 centímetros, sendo que em cada ponto foram coletadas três amostras (2000 g) cada.

Utilizou-se um trado holandês para as respectivas coletas conforme Figura 4. O material coletado foi acondicionado em caixa térmica com gelo e transportado ao laboratório de Ecologia Molecular da Universidade Federal Tecnológica do Paraná - campus Campo Mourão.

5.2 Análise físico-química do solo

Para avaliar a qualidade do solo fez-se análise físico e químico dos elementos do solo tais como: massa específica e granulometria, bem como a quantificação dos metais: Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Manganês (Mn).

A metodologia foi realizada de acordo com as instruções normativas para cada ensaio de caracterização tendo em vista que cada tipo de ensaio é regido por uma Norma Brasileira (NBR) e que deve ser seguida para a obtenção do resultado mais preciso possível, próximo da realidade. O preparo das amostras e o ensaio para obter a umidade higroscópica foi realizada conforme a norma da ABNT NBR 6457:1986. A análise granulométrica foi realizada de acordo com ABNT NBR 7181:2016.

Ao final, os resultados foram representados sob a forma de curvas granulométricas conjuntas, para demonstrar a composição e porcentagem de cada fração do solo das amostras em diferentes profundidades e a massa específica utilizou-se a ABNT NBR 6508/2006. Para calcular a massa específica do solo utilizou-se a expressão matemática que consta na norma ABNT 6458: 2016, conforme fórmula abaixo:

$$\delta = \frac{M_1 \cdot 100/(100 + h)}{[M_1 \cdot 100/(100 + h)] \cdot M_3 - M_2} \cdot \delta_T$$

Equação 1

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³ M1 = massa do solo úmido.

M2 = massa do picnômetro + solo + água, na temperatura T de ensaio.

M3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio.

h = umidade inicial da amostra.

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio.

5.3 Digestão ácida do solo e espectrometria de absorção atômica de chama

As amostras de solo para análise da quantificação dos metais foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm nos pontos 1.2.3 e 4, as mesmas foram transportadas para o local de análise e armazenados em refrigerador até o momento dos testes.

Para a análise química do solo, realizou-se a secagem das amostras e a digestão do solo com ácido (ataque sulfúrico) para posteriormente realizar a quantificação dos metais.

Após secagem, procedeu-se a digestão ácida das amostras com a solubilização em H₂SO₄ 1:1. Esta técnica é importante pois determina as relações

moleculares (Ki e Kr), avalia os estágios de intemperização de solos e indicam a composição mineral da fração argilosa. (TEIXEIRA; CAMPOS; FONTANA, 2017).

A curva de calibração foi feita com padrões analíticos certificados com concentrações de 1.000 mg/L com HNO₃ como agente de corte, com cinco concentrações. Essas concentrações irão depender da amostra a ser analisada.

Fez-se uma solução de concentração de 10 mg/L (solução mãe) a partir do padrão analítico certificado (1.000 mg/L ou 1 g/L), utilizou-se a fórmula $C1.V1 = C2.V2$, onde: C1 é a concentração do padrão analítico (geralmente 1.000 mg/L); V1 é o volume necessário do padrão analítico; C2 é a concentração da solução mãe e V2 o volume da solução mãe. Para se fazer uma solução mãe de 1.000 mL de concentração 10 mg/L:

$$C1.V1 = C2.V2 \rightarrow 1.000 \times V1 = 10 \times 1.000 \rightarrow V1 = 10 \text{ mL Equação 2}$$

Ou seja, utilizou-se 10 mL do padrão analítico e completando para 1.000 mL de água deionizada em balão volumétrico de um litro. Foi adicionado 2 gotas de HNO₃ concentrado nesta solução, além de conservá-la em geladeira. A partir desta solução mãe (10 mg/L) foram feitas as diluições para as concentrações 2, 4, 6, e 8 mg/L. Para a concentração de 8 mg/L, retirou-se 80 mL da solução mãe e completou com água deionizada em balão volumétrico de 100 mL. Para a concentração de 6 mg/L, retirou-se 60 mL da solução mãe e completar com água deionizada em balão volumétrico de 100 mL, e assim por diante.

Depois de realizadas as medidas dos padrões, a curva de calibração foi plotada automaticamente no software do equipamento. Após isso, o equipamento pediu a injeção das amostras desconhecidas. Para tal procedimento, a amostra esteve líquida, não inflamável, com pouca viscosidade e límpida (sem substâncias sólidas) para que não houvesse entupimento durante a medida. Em cada medida das amostras desconhecidas, usou-se 4 a 5 mL.

O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro de absorção atômica marca Analytik Jena, modelo NOVAA300. As soluções analíticas contendo Fe, Mn, Zn e Cu, foram preparadas a partir de soluções padrões comerciais com concentração de 1000 ± 2 mg/L (SpecSol) dos respectivos íons, com diluição rigorosa em água deionizada. Foram realizadas diluições das soluções para construção da curva de calibração. As condições operacionais do espectrofotômetro de absorção atômica

foram ajustadas no comprimento de onda característico para cada um dos metais com lâmpada específica, largura de fenda, intensidade da lâmpada e correção de ruído. Após extração dos metais, os valores foram analisados para detectar se existe material tóxico a ponto de afetar a saúde humana, de acordo com a resolução CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009).

O quadro 2 ilustra os padrões estabelecidos com os metais ferro, cobre, manganês e zinco, nota-se que não há valores orientadores para ferro e manganês, por isso, somente o Cu e o Zn foram analisados.

Quadro 1 - Lista de valores orientadores para solos.

Investigação solo mg.kg-1				
Substancias	Prevenção	Agrícola	Residencial	Industrial
Ferro	---	---	---	---
Cobre	60	200	400	600
Zinco	300	450	1000	2000
Manganês	---	---	---	---

Fonte: CONAMA 2009

Valor de prevenção: concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais e Valor de Investigação: concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais diretos ou indiretos, à saúde humana, segundo a Resolução CONAMA nº 420/09 (CONAMA, 2009).

Os valores encontrados e Cu e Zn foram analisados de acordo com os parâmetros do quadro acima: VP (valor de prevenção) e VI (valor de investigação). Neste caso optou-se por não utilizar VRQ (valor de referência de qualidade) de outro Estado, uma vez que o Estado do Paraná não possui estudos de tais valores.

Os resultados para Cu e Zn foram comparados com o VP desta resolução e o VI escolhido foi o agrícola, por se tratar de uma área localizada na região rural. Após, o solo foi classificado obedecendo a resolução Conama 420/2009. Os valores dos metais encontrados também foram interpretados acordo com seu teor no solo.

5.4 Análise pH e matéria orgânica do solo (MOS)

Para análise do pH e da matéria orgânica do solo foram coletadas amostras nas profundidades 0-10 e 10 a 20 cm de cada ponto (p1; P2; P3 e p4) e a metodologia

e parâmetro dos resultados foi realizada de acordo com a EMBRAPA (2011). A oxidação da matéria orgânica via úmida foi aferida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento.

5.4.1 Teste *Allium cepa* solução aquosa do solo

Os parâmetros considerados em *A. cepa* foram analisados conforme Fiskejo (1985). O bioensaio *Allium cepa* foi feito com extrato aquoso do solo. Pegou-se 300 g de cada amostra de solo e colocou em contato com água no Becker medindo 2000 mL, 1000 mL e 500 mL, respectivamente, aguardou-se por dois dias até a decantação. Em seguida, foi retirado o sobrenadante e os bulbos das cebolas foram colocados em contato para germinar.

Após cinco dias, mediu-se as raízes no paquímetro digital e anotou-se o comprimento, em seguida as raízes foram colocadas em tubos de ensaio com fixador (63 mL de etanol e 21 mL de ácido acético).

Na próxima etapa as raízes foram lavadas por três vezes com água destilada e adicionadas no tubo de ensaio com ácido clorídrico HCl (7mL de ácido para 100 mL de água destilada) por 10 minutos, procedeu-se nova lavagem com água destilada por três vezes e fez-se as lâminas. A avaliação citogenética foi realizada conforme Guerra e Souza (2002) hidrolisadas em HCl 5N por 10 minutos a 28°C, em seguida, foram lavadas em água destilada por 15 minutos cada lavagem e coradas com orceína acética 2%. Cada raiz foi cortada na região meristemática, adicionada na lâmina com orceína acética 2% e macerada com repiques de bisturi, para posterior observação ao microscópio.

Depois de medida as raízes no paquímetro, os resultados das medições foram tabelados para verificar se houve interferência no crescimento das mesmas, em cada ponto analisado. Os resultados obtidos foram comparados com solo controle de uma região preservada localizada no Paraná. As lâminas foram analisadas em microscópio óptico em aumento de 400 x.

A citotoxicidade foi estabelecida com base no Índice de Alterações Celulares (IAC) calculado a partir do número de alterações celulares observados nos meristemas (equação 3). De cada bulbo observou-se 200 células, totalizando 1,000 células analisadas por tratamento.

Equação 3

$$IAC: \frac{\text{Número de alterações celulares}}{1000} \times 100$$

A fitotoxicidade foi avaliada com base no comprimento de raízes. Mediu-se com paquímetro digital 5 raízes do feixe radicular de cada bulbo e se estabeleceu a média de comprimento radicular (CR) por tratamento (Equação 4). Outros sinais de toxicidade também foram considerados, como alterações na consistência e cor das raízes, presença de tumores, raízes em gancho e raízes torcidas.

$$CR (cm): \frac{\text{Soma do comprimento de raízes dos feixes radiculares}}{5} \quad \text{Equação 4}$$

As análises ecotoxicológicas em raízes meristemáticas *A. cepa* do solo (solução aquosa) foram feitas no Laboratório de Ecologia Molecular, da Universidade Federal Tecnológica do Paraná – campus Campo Mourão.

O foco com essa coleta de dados avaliou-se a possibilidade de contaminação dos recursos hídricos no entorno da chácara, deste modo, considerou-se os resultados obtidos nas etapas anteriores.

6 DADOS E INFORMAÇÕES OBTIDAS

6.1 Massa específica do solo

No que se refere à massa específica, os cálculos analisados ficaram entre 2,704 e 2,970 g/cm³ nos pontos 1,2,3 e 4 nas profundidades (0-20, 20-30, 30-40 cm). Não houve grande dispersão entre os valores nas amostras nas profundidades analisadas.

6.1.1 Ensaio granulométrico: curvas granulométricas

A avaliação granulométrica das amostras foi analisada de acordo com a classificação do substrato por faixa granulométrica (pedregulho, areia, silte e argila) dos sedimentos. Com relação à granulometria nos pontos 1, 2, 3 e 4 a maior porcentagem

ficou entre silte e argila nas amostras até então analisadas. Por meio destes resultados, as amostras foram classificadas de acordo com a textura, baseando-se no modelo do triângulo proposto pelo Soil Survey Staff (Kiehl, 1979). A classificação do solo pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2 - Pontos de coleta e partículas

Pontos	Partículas
P1 0 a 20	argila
P1 20 a 30	franco siltosa
P1 30 a 40	argila siltosa
P2 0 a 20	argila siltosa
P2 20 a 30	franco siltosa
P2 30 a 40	franco argila siltosa
P3 0 a 20	muito argilosa
P3 20 a 30	muito argilosa
P3 30 a 40	muito argilosa
P4 0 a 20	argila
P4 20 a 30	argila
P4 30 a 40	muito argilosa

Fonte: Autoria própria (2023).

A comparação textural entre as 12 amostras analisadas, observa-se o predomínio da fração argila na maioria dos pontos de coleta, sendo que muito argilosa no ponto 3 (próximo ao riacho) e no ponto 04 (área de cultivo). Isso indica um ambiente com maior fertilidade, maior matéria orgânica bem como maior capacidade de troca de cátions. Este tipo de solo apresenta dificuldade de infiltração de água, ficando retida no perfil do solo o que proporciona maior presença de microporos (FREITAS, 2013).

Segundo Bradl (2004), a mobilidade dos metais pesados costuma ser menor em solos argilosos e maior em solos arenosos. Vale ressaltar que em todos os pontos analisados há fração significativa de argila, como se pode observar no gráfico 13 em apêndice, classificando-os como argilosos, principalmente os pontos 3 e 4. Considerando o exposto, os solos do ponto 3 (próximo ao riacho) são aqueles em que há menor mobilidade de metais pois apresenta maior relação argila e areia, com maior teor de argila e menor teor de areia

A baixa mobilidade dos metais ocorre porque a adsorção em solos ocorre preferencialmente em argilominerais, isso ocorre devido ao desbalanceamento elétrico em virtude das substituições de cátions no retículo cristalino por outro de menor valência.

6.1.2 Análise Química do solo

Após digestão ácida, os metais foram submetidos aos testes, utilizando-se espectrometria de absorção atômica com chama, conforme descrito na metodologia. Os resultados para metais, em todas as amostras, foram comparados com o valor de prevenção (VP) e valor de investigação (VI), contido na Resolução CONAMA 420/09. (CONAMA, 2009). O valor referência de qualidade (VRQ) para o Estado do Paraná ainda não existe, por isso foi analisado somente com a resolução CONAMA, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Comparativo de VP e VI expressos em solo mg.kg^{-1} de solo seco

Metal	Conama (VP)	Setor agrícola (VI)	P1	P2	P3	P4
Cobre mg/dm^3	60	200	17	22	23	11
Zinco mg/dm^3	300	450	21	27	18	10

Fonte: Aatoria própria (2023).

Fez-se análise de ferro e manganês, porém a resolução Conama 420/2009 não possui valores para tais elementos no solo e por isso não foram elencados para este parâmetro. Pode-se observar que os valores tanto para zinco quanto para cobre estão abaixo do VP, sugerindo solo pertencente à classe 1 ou classe 2. A incerteza da classe se dá devido a inexistência dos valores de referência do Estado do Paraná.

Segundo resolução CONAMA 420/2009, o limite que separa a classe I da classe II é o VRQ, o limite que separa a classe II da classe III é o VP e o limite que separa a classe III da classe IV é o VI. Solos com elementos cujas concentrações sejam menores que o VRQ são considerados classe I, solos cujas concentrações sejam maiores do que o VRQ e menores ou iguais ao VP, são considerados da classe II, quando as concentrações são maiores que VP e menores ou iguais ao VI temos classe III e solos com concentrações acima do VI são considerados solos de classe IV (CONAMA 420/2009).

Segundo este mesmo órgão, solo pertencente à classe I não requer ações, e solos de classe II poderá requerer avaliação de um órgão ambiental para constatar se a substância tem ocorrência natural ou se provém de alguma fonte poluidora, podendo indicar ações de controle, não necessariamente de investigação. Pode-se afirmar com certeza que as amostras analisadas não são da classe III, uma vez que as concentrações de cobre e zinco não ultrapassam o VP, mas não se pode afirmar que não pertença à classe II, pois não se conhece o VRQ para saber se as concentrações de tais metais são maiores que este valor é menor que o VP.

As maiores concentrações de Zn estão nas amostras coletadas no P2 (ao lado do poço artesiano) próximo à residência dos moradores e P1 (região próxima a divisa do ferro-velho com a chácara). Com relação ao Cu, o mesmo teve maior concentração no P3 (porção final e rebaixada, próxima ao riacho) e também no P2.

Por outro lado, foram analisados os níveis destes metais no solo, os mesmos apresentaram tais resultados: o Cu (P1: 17; P2: 22; P3 23 e P4 11); o Zn (P1: 21; P2: 27; P3 18 e P4 10), o Fe (P1: 56; P2: 90; P3 63 e P4 50) e o Mn (P1: 97 ; P2: 109 ; P3:110 e P4: 73). Segundo Oleynik (1998), estes níveis são considerados elevados com relação a quantidade de metais encontrados nos pontos analisados, pode-se afirmar que o Cu, Zn, Mn e Fe atingiram uma proporção muito alta no solo, mesmo que não apresentem toxicidade no momento de análise. A não toxicidade pode ser explicada pelo fato desses metais não estarem disponíveis no nível de pH e MOS analisadas. O ponto 4, próximo à área de agricultura, foi a que demonstrou menor teor de todos os metais, talvez devido ao local estar sem plantio no momento da coleta.

A maior concentração do Cu no P3, área mais rebaixada, provavelmente tenha ocorrido devido a declividade do terreno, a infiltração dos escoamentos superficiais pode ter sido menor, aumentando a concentração de cobre nas partes mais baixas. O mesmo acontece com P2, onde a concentração dos dois metais é mais elevada.

6.1.3 pH e Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Os resultados para MOS (matéria orgânica do solo) e pH se encontram no quadro 4.

Quadro 4 - Resultados para MOS e pH

Pontos	pH (H2O)	M.O.S mg/dm ³	Carbono g/dm ³
P1 0 a 10	6	26,65	15,46

P1 10 a 20	5,9	19,6	11,6
P2 0 a 10	6,3	29,88	17,33
P2 10 a 20	6,2	25,68	14,9
P3 0 a 10	6,9	24,88	14,43
P3 10 a 20	6,5	22,94	13,31
P4 0 a 10	6,4	14,87	8,6
P4 10 a 20	6,5	10,99	6,38

Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio dos resultados, pode-se dizer que o ponto 1 em ambas as profundidades, possui pH no nível médio já os pontos 2, 3 e 4 possuem pH considerado alto em todas as profundidades, a quantidade de MOS nos pontos 1, 2 e 3 é considerada média, porém, as do ponto 4 é considerada baixa, análise de acordo com o Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo da Embrapa (SOBRAL, *et al.*, 2015).

Solos ácidos se caracterizam por apresentar maior mobilidade de metais, no que se refere a esse quesito, todos os solos não foram detectados como ácidos, está de médio a alto. Isso indica que estes solos apresentam menor mobilidade de metais, ficando os mesmos retidos no solo, principalmente nos pontos 2, 3 e 4 onde o pH é alto. Isso se explica porque grande parte das cargas presentes nos solos são dependentes de pH, ou seja, à medida que o pH aumenta o número de cargas negativas aumenta e à medida que ele diminui, aumenta o número de cargas positivas. Desta maneira, havendo um maior número de cargas negativas no solo (pH alto) essas cargas atrairão cargas opostas (metais) ocasionando a adsorção não específica, reduzindo a mobilidade dos metais pesados no solo, uma vez que não estarão mais disponíveis (TEMMINGHOFF *et al.*, 1995).

O local de pH e MOS no nível médio, está na porção alta, na divisa da chácara com o ferro velho e corresponde ao P1. Já o P2 e P3 possuem pH alto e MOS no nível médio (ao lado do poço e próximo ao riacho) e ponto 4 com pH alto e MOS baixa, está próxima à área de cultivo, mas sem plantio no momento da coleta.

Em solos que apresentam alto teor de matéria orgânica (MO), sabe-se que há menor mobilidade de metais pesados. A afinidade da MO se justifica pela sua configuração e profusão de grupos fenólicos bem como carboxílicos, tal afinidade é similar à adsorção de argilas silicatadas e óxidos (SCHLAUTMAN e MORGAN, 1994).

Nos solos dos pontos 1,2 e 3 onde o teor de matéria orgânica é maior, a tendência é formar complexo com metais, como por exemplo, Cu e Zn, diminuindo a disponibilidade deste na solução, por outro lado, a disponibilidade destes metais poderia aumentar nos solos do ponto 4, onde o teor de matéria orgânica é considerado baixa, porém é compensada pelo pH alto.

6.1.4 Teste *Allium cepa*: citogenotoxicidade

A tabela 1 indica o índice de crescimento de raízes e índices mitóticos de meristemas de raízes provenientes de bulbos de *Allium cepa* L. Expostos por 120 horas a diferentes extratos aquosos de solos provenientes de coleta de solo na área de estudo.

Tabela 1 - concentração 1 (300 g de solo em 500 mL de água); concentração 2 (300 g de solo em 1000 mL de água) e concentração 3 (300 g de solo em 2000 mL de água).

	TR	IM/DP	IAC/DP
	Solo Co	100,00 ± 0,85	0,20±1,20
Solo P* (controle)	[1]	90,70 ±0,97	0,40±0,90
	[2]	88,44 ±1,25	0,20±1,24
	[3]	80,22 ±1,38	0,60±0,77
Solo P1	[1]	80,89 ±1,90	0,20±0,88
	[2]	82,90 ±1,90	0,20±1,08
	[3]	92,00 ± 0,85	0,20±0,95
Solo P2	[1]	91,40 ±0,92	0,60±0,50
	[2]	88,44 ±1,15	0,60±1,04
	[3]	85,22 ±1,24	0,60±0,97
Solo P3	[1]	89,80 ±1,92	0,40±0,88
	[2]	85,90 ±1,95	0,20±1,08
	[3]	88,90 ±1,93	0,20±1,00
Solo P4	[1]	79,50 ±1,78	0,40±0,55
	[2]	75,90 ±1,00	0,60±1,45
	[3]	76,90 ±1,93	0,20±1,13

P*: Ponto controle (área preservada, sem contaminação); P: de coleta de solo; TR: Tratamento; ICR: Índice de Crescimento Relativo; IM: Índice Mitótico, DP: Desvio Padrão, Co: Controle (água destilada). Data are expressed as percentage of control values. Asterisks indicate statistically significant differences between concentrations and control, segundo o teste Kruskal-Wallis com Dunn teste post hoc ($p \leq 0.05$).

Fonte: Autoria própria (2023).

Com base nos resultados obtidos na tabela 1, verificou-se que extratos aquosos de solos provenientes das coletas na Chácara São José, não foram citotóxicos e nem genotóxicos em meristemas de raízes de *A. cepa*. Isso representa o que já foi discutido pois, solo com textura argilosa, MO moderada a elevada, pH não ácido, dificulta a mobilidade destes metais, e a biodisponibilidade para as plantas fica reduzida.

6.1.5 Teste *Allium cepa*: fitotoxicidade

Os resultados da tabela 2, indicam que é bem possível que haja contaminação no solo, uma vez que os metais são tóxicos ao sistema *Allium cepa*, Observa-se que nos pontos 2, ponto 3 (500 mL e 2000mL), bem como no ponto 2 (1000 mL) houve redução no crescimento das raízes, mas nada muito significativo. O teste em *Allium cepa* é um modelo que representa outras espécies de plantas bem como estudos de avaliação de toxicidade em animais.

Tabela 2 - Médias de crescimento de raízes em centímetros

	500 mL	1 L	2 L
P1	330,09	417,11	401,14
P2	147,11*	178,91*	192,59*
P3	176,22*	202,41	111,24*
P4	295,38	122,63	275,29
Co	250,09	233	219,8

*Co: controle

Fonte: Autoria própria (2022).

O P2 e P3 são aqueles que demonstraram maior teor dos metais Cu, Zn, Mn e Fe, de acordo com as análises químicas realizadas, também maior MOS e maior pH o que dificulta a disponibilidade dos metais no solo. Devido a isso, pode ter afetado parcialmente o crescimento das raízes nestes pontos.

7 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

7.1 Coleta solo ponto 1, 2, 3 e 4

A seguir tem-se a apresentação do registro fotográfico realizado no experimento desenvolvido.

Figura 2 - Ponto 1: na divisa chácara com ferro-velho, ponto 2: ao lado do poço, ponto 3: próximo ao riacho e ponto 4: próximo à porção final do ferro-velho, respectivamente



Fonte: autoria própria (2022)

7.2 Equipamento utilizados para análise física: granulometria

7.2.1 Teste Allium cepa

Bulbos das cebolas em contato com solução de solo

Figura 3 - Amostra do solo em decantação água de torneira



Fonte: Autoria própria (2022).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o presente momento, o solo não foi considerado tóxico para a saúde humana de acordo com resolução Conama, porém, segundo Oleynik (1998), os metais Cu, Zn, Fe e Mn estão com níveis muito altos em todas as amostras analisadas. Todavia, a textura do solo (na grande maioria argila siltosa, argila ou muito argilosa), contribui para a adsorção dos metais, deixando-os com pouca mobilidade. O fator pH e MOS, de acordo com os resultados, também contribui para a adsorção dos metais, uma vez que sua mobilidade é facilitada pelo pH ácido e baixa matéria orgânica no solo, que não ocorreu na maioria das análises.

Em se tratando do Teste *Allium cepa*, as amostras analisadas não demonstraram genotoxicidade e quanto à fitotoxicidade, não atingiu níveis significativos. Pode-se afirmar que os recursos hídricos próximos à área ocupada pelo depósito de ferro-velho, não estão com uma contaminação significativa de metais pesados, de acordo com os resultados apresentados e discutidos referentes às análises físico-químico do solo no entorno.

9 RECOMENDAÇÕES

Sugere-se um estudo mais detalhado com o passar do tempo, pois o ferro-velho está no local há cinco anos, e processos como lixiviação pelas águas das chuvas, no terreno em declive, pode vir a contaminar o solo de maneira tóxica. Outro detalhe seria coleta de amostras mais profundas e também no local em que as sucatas estão depositadas, não somente nos arredores. O local agricultável (P4) também não possui níveis de metais muito significativos, na verdade foi onde eles se apresentaram em menor concentração.

10 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Amostras de solo preparação – NBR 6457, 1986**. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2012/03/nbr-6457.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Análise**

granulométrica – NBR 7181, 1988. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1968/abnt-nbr7181-solo-analise-granulometrica>. Acesso em: 20 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Massa específica dos grãos – NBR 6508, 2016.** Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1964/nbr6508-graos-de-solos-que-passam-na-peneira-de-48-mm-determinacao-da-massa-especifica>. Acesso em: 20 out. 2022.

ANTONIOLLI, Zaida Inês *et al.* Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 992-998, 2013

BARROS, J.G.C. Origem, distribuição e Preservação da Água no Planeta Terra. Revista GT Águas, ano 6, nº 11, Fev.2010.

BRADL, H.B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**. 277:1-18. 2004.

BRAGA, J. R. M.; LOPES, D. M. Citotoxicidade e genotoxicidade da água do rio Subaé (Humildes, Bahia, Brasil) usando *Allium cepa* L. como bioindicador. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 130-140, 2015.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Res. nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: CONAMA, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro, 2011. 230p

ENGENHEIRO BELTRÃO. Prefeitura Municipal. **Dados estatísticos.** Disponível em: <https://www.engenheirobeltrao.pr.gov.br/portal/servicos/1004/dados-estatisticos/#:~:text=Possui%20uma%20%C3%A1rea%20de%20467,km%20de%20Foz%20do%20Igua%C3%A7u>. Acesso em: 10 out. 2022.

FISKESJO, G. O teste *Allium cepa* como padrão em monitoramento ambiental. **Hereditas**, 102 (1), 99-112. 1985.

(FREITAS, 2013).

GUERRA, M.; SOUZA, M. J. de. Como observar cromossomos: um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana. Ribeirão Preto: FUNPEC, p. 201, 2002

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Editora Agronômica CERES, Ltda, 1979, 264p.

MEDINA, Heloisa Vasconcellos de; GOMES, Dennys Enry Barreto. **A indústria automobilística projetando para a reciclagem.** 2002.

MELO, C. A.; D., Dias, R. C. *et al.* Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 15(1), 67-78. 2016.

OLEYNIK, J. *et al.* **Análises de Solo:** Tabelas para Transformação de Resultados Analíticos e Interpretação de Resultados. 5ª Ed. Curitiba: EMATER, 1998. 64 p.

SCHLAUTMAN, M.A.; MORGAN, J.J. *Adsorption of aquatic humic substances on colloidal size aluminium oxide particles: influence of solution chemistry.* **Geochimica et Cosmochimica Acta.** v.58, n.20,p.4293-4303, 1994.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015

SOIL SURVEY STAFF Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conservation Service, Agriculture Handbook, p.436, U.S.D.A., 1975.

SORIANO, Érico *et al.* *Water crisis in São Paulo evaluated under the disaster's point of view*. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 21-42, 2016.

STEFFEN, G. P. K., Steffen, R. B., & Antonioli, Z. I. (2011). **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos.** **Tecnológica**, 15(1), 15-21

TEIXEIRA P.C, CAMPOS D.V.B, FONTANA A. Ataque Sulfúrico. In: TEIXEIRA P.C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev e ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2017f. p. 265-9.

TEMMINGHOFF, E.J.M.;ZEE, S.; HAAN, F.A.M. *Speciation and calcium competition effects on cadmium sorption by Sandy soil at various pHs.* **European Journal of Soil Science.** v.46, n.4,p.649-655, 1995.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 .

