



RESUMO TÉCNICO

SOLOS DA REGIÃO 3: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

ABRIL

2021

Ficha Técnica

GERÊNCIA SOCIOAMBIENTAL

Dayane Lopes Pinto

Especialista Pleno Socioambiental

Engenheira Florestal e Mestre em Ciência Florestal (UFV)

Irla de Paula Stopa Rodrigues

Gerente Socioambiental

Bióloga e Doutoranda em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

ANALISTAS DE CAMPO

Luiz Carlos de Oliveira

Analista de Campo multidisciplinar Pleno

Engenheiro Agrônomo e Mestre em Extensão Rural (UFV)

Yolanda Maulaz Elteto

Analista de Campo multidisciplinar Pleno

Engenheira Agrônoma e Mestre em Agroecologia (UFV)

COLABORADORES

Adriana Assunção de Carvalho

Especialista Sênior Socioambiental

Bióloga e Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

Ramon Neto Rodrigues

Especialista Pleno Socioambiental

Engenheiro Ambiental e Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da Região 3 com a distribuição das Unidades de Paisagem (UP) e dos locais de amostragem de solos coletados como pontos de área afetada (PAF) e pontos controle (PC).	9
Figura 2. Comparação das medianas de teor de Silte (%) com diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC e mediana maior entre os PAF nas Unidades de Paisagem da Região 3.	13
Figura 3. Comparação das medianas dos parâmetros químicos com diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC nas Unidades de Paisagem da Região 3.	14
Figura 4. Número de pontos em que as amostras de solo apresentaram um ou mais elementos químicos que ultrapassaram os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.	17
Figura 5. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte I - Setor norte da área de estudo.	19
Figura 6. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte 2 - Setor central da área de estudo.	20
Figura 7. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte 3 - Setor sul da área de estudo.	21
Figura 8. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Cromo excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção.	22
Figura 9. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Níquel excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção, VRQ = Valor	24
Figura 10. Número de pontos amostrais da Região 3 no quais os teores de Bário excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção.	25
Figura 11. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Cobalto excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção, VRQ = Valor de Referência de Qualidade.	27
Figura 12. Comparação das medianas de Ferro (mg/kg) e Manganês (mg/kg) que apresentaram, simultaneamente, diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC e mediana maior entre os PAF nas Unidades de Paisagem da Região 3.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Prevenção (VP) para o elemento Cromo na Região 3.....	23
Tabela 2. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Prevenção (VP) para o elemento Níquel na Região 3.	24
Tabela 3. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) e Valor de Prevenção (VP) para o elemento Bário na Região 3.	26
Tabela 4. Grupos de solo com possível incremento e alteração da condição natural nos PAF, definidos pela ocorrência simultânea de diferença estatisticamente significativa na concentração do metal entre os tipos de pontos e mediana da concentração do metal maior entre os PAF que entre os PC.	31

SUMÁRIO

1.	CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO	6
2.	POR QUE ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO SOLO PODEM SER UMA AMEAÇA?	7
3.	COMO O ESTUDO FOI REALIZADO?	8
3.1.	PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE SOLO	8
3.2.	COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	10
3.3.	ANÁLISES LABORATORIAIS.....	10
3.3.1.	PARAMÊTRO FÍSICO.....	10
3.3.2.	PARÂMETROS QUÍMICOS.....	11
3.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	11
4.	RESULTADOS PRINCIPAIS	12
4.1.	PARÂMETRO FÍSICO.....	12
4.2.	PARÂMETROS QUÍMICOS.....	14
4.2.1.	CTC, pH EM ÁGUA E CARBONO ORGANICO TOTAL.....	14
4.2.2.	METAIS E METALOIDES.....	16
a.	ELEMENTOS QUE EXCEDERAM OS VALORES ORIENTADORES.....	16
b.	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CONCENTRAÇÃO DE METAIS E METALOIDES.....	18
c.	METAIS E METALOIDES ACIMA DO VI E VP	22
d.	METAIS E METALOIDES ACIMA DO VP E VRQ.....	28
e.	INCREMENTO DE METAIS E METALOIDES NAS ÁREAS AFETADAS.....	30
5.	ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A REGIÃO 3	32
6.	PRÓXIMOS PASSOS	33

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

O rompimento da barragem B-I da Mina Córrego do Feijão provocou o extravasamento de 13 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro que avançou com alta velocidade e energia pela calha do Ribeirão Ferro-Carvão em direção ao rio Paraopeba. Ao ser carregado pelo rio Paraopeba, este rejeito foi se depositando no fundo do rio, junto aos sedimentos. No período chuvoso do ano de 2020 foi registrada uma série de enchentes em municípios da bacia do rio Paraopeba. O volume de água do rio aumentou consideravelmente, provocando o revolvimento dos sedimentos, a inundação de áreas marginais e de planícies de inundação do rio Paraopeba.

Após as enchentes, foram registrados diversos casos de deposição de sedimento e rejeito em áreas extensas de propriedades às margens do rio Paraopeba na Região 3, onde houve inundações. Posteriormente algumas destas áreas afetadas foram cercadas e isoladas pela empresa Vale S.A., a fim de evitar o contato das pessoas e animais com o rejeito. A maioria ainda permanece com o solo recoberto por esse material depositado, que constitui agora uma nova camada superficial do solo. Este fato tem provocado insegurança nas populações atingidas com relação aos riscos à saúde humana e dos animais, em caso de contato com o solo afetado, do consumo de produtos agrícolas ou da água provenientes dessas áreas. O cercamento e proibição do acesso a essas áreas, pela empresa Vale S.A., também têm gerado indignação aos atingidos, pela perda de áreas produtivas e de pastagem, sem nenhum retorno técnico com o diagnóstico da condição do solo.

A Vale S.A., até o momento, não disponibilizou nenhum dos resultados das análises de solo já realizadas pela empresa na bacia do rio Paraopeba. Este fato, aliado às demandas de análise do solo, enviadas pelos atingidos(as), levaram à formulação do presente estudo, que teve como objetivo principal investigar os possíveis danos e a atual qualidade do solo das áreas afetadas pelas enchentes na Região 3, após o rompimento da barragem.

O estudo do solo da Região 3 integra o conjunto de análises de fatores bióticos e abióticos, previsto no Plano de Trabalho do Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens (NACAB). Para realização do mesmo, foi contratada a empresa Tommasi Ambiental, por meio do Ato Convocatório 003/2020, publicado em 04/09/2020. O estudo foi coordenado por um especialista da área, contratado pela empresa, Geógrafo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, atendendo às diretrizes do Anexo I do Ato Convocatório. Este Resumo Técnico é um compilado das informações mais importantes do Relatório Técnico entregue pela empresa Tommasi.

2. POR QUE ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO SOLO PODEM SER UMA AMEAÇA?

A maioria dos metais ocorre naturalmente no solo e desempenham funções importantes no equilíbrio dos ecossistemas. A baixa concentração e disponibilidade de alguns metais no solo podem configurar cenários de deficiência nutricional às plantas, bem como, em altas concentrações podem se tornar prejudiciais e apresentar risco de toxicidade, causando danos à saúde humana e desequilíbrios ecossistêmicos.

A distribuição natural dos metais nos solos não é homogênea e variações significativas podem estar relacionadas ao arcabouço geológico e pedológico que varia no espaço. Entretanto, a dispersão global de metais pesados se deve em grande parte às atividades humanas, causando preocupação por seus efeitos adversos ao ambiente e à saúde humana e dos animais.

A biodisponibilidade dos metais presentes no solo é influenciada por uma série de atributos do solo dentre os quais se destacam o teor de matéria orgânica, textura do solo, pH, composição mineralógica e granulometria. Os metais biodisponíveis são aqueles que se encontram numa forma química capaz de serem absorvidos pelas plantas ou de ser facilmente transportados para outros compartimentos ambientais. Sendo assim, além da quantificação dos teores de metais e metaloides presentes no solo, estes atributos são importantes de serem analisados quando o objetivo é avaliar as condições de solos contaminados por metais pesados e compreender o risco de danos à saúde humana e ecológico.

Visto que o rompimento da barragem B-I da Mina Córrego do Feijão expôs os territórios que margeiam o rio Paraopeba, a jusante do rompimento, a impactos ambientais de diferentes magnitudes, tornou-se imprescindível avaliar os possíveis danos ao solo da Região 3, bem como os riscos pelos quais a população atingida pode estar submetida. Sendo assim, o presente estudo apresenta a avaliação de parâmetros químicos e físicos que proporcionaram o diagnóstico da condição do solo, em escala local, e geraram subsídios para uma avaliação do cenário de contaminação.

3. COMO O ESTUDO FOI REALIZADO?

O estudo foi realizado nos dez municípios que compõem a Região 3, sendo eles: Esmeraldas, Florestal, Pará de Minas, Fortuna de Minas, São José da Varginha, Pequi, Maravilhas, Papagaios, Paraopeba e Caetanópolis, no estado de Minas Gerais. As seguintes etapas foram realizadas:

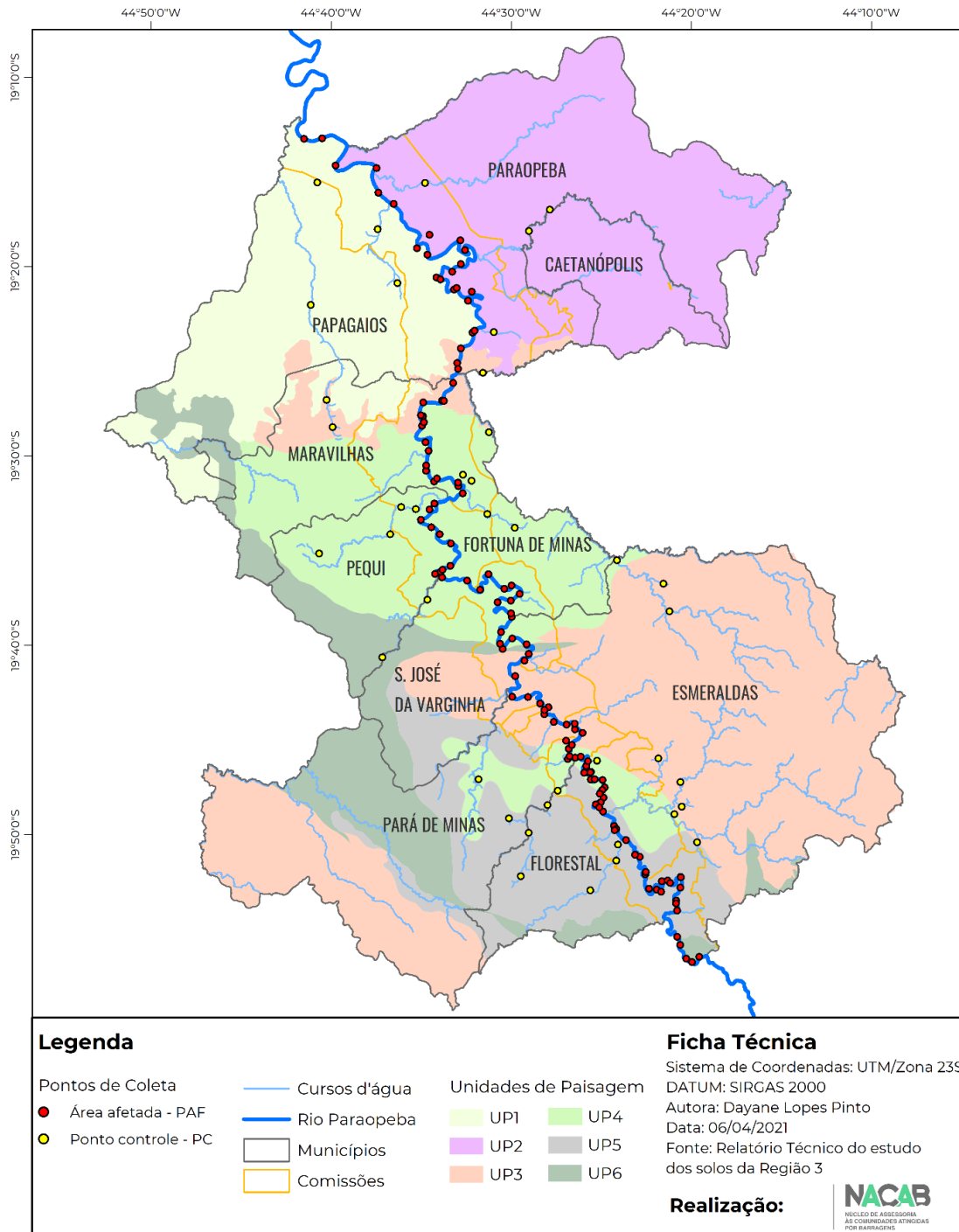
3.1. PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE SOLO

A área de estudo foi segmentada em seis unidades mais homogêneas em termos de atributos ambientais. Estas áreas denominadas **Unidades de Paisagem (UP)** foram geradas pela sobreposição dos mapas de solos, geologia e geomorfologia, obtidos a partir de dados secundários. Foram agrupados em uma mesma UP setores com características ambientais semelhantes, ainda que exista certa variabilidade dentro de cada UP. A segmentação foi adotada a fim de tornar possível a distribuição representativa dos pontos de amostragem e a comparação de solos presumidamente afetados (PAF) com solos de referência (PC), presumidamente não afetados, inseridos em um contexto geoambiental similar. A partir desta divisão foi possível minimizar a influência da heterogeneidade da área de estudo sobre a variação dos atributos dos solos comparados.

A amostragem de solos foi dividida em **Pontos de Área Afetada - PAF** (total de 129 pontos) e **Pontos de Controle - PC** (total de 40 pontos). Os PAF estão localizados às margens do rio Paraopeba, em áreas que tiveram contato com o rejeito em função das enchentes. Dada a impossibilidade de se conhecer os atributos dos solos antes do rompimento para comparação, optou-se por selecionar solos de referência fora da área atingida, desenvolvidos em condições ambientais similares aos solos atingidos. Os PCs foram adotados, portanto, como cenário de referência, representativos de solos inseridos em um contexto ambiental similar, sem contato presumido, direto ou indireto, com o rejeito ou água do rio Paraopeba, e localizados às margens de cursos d'água contribuintes do rio Paraopeba.

A distribuição das UPs e dos pontos de coleta de solo na área de estudo pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1. Mapa da Região 3 com a distribuição das Unidades de Paisagem (UP) e dos locais de amostragem de solos coletados como pontos de área afetada (PAF) e pontos controle (PC).



3.2. COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

As coletas foram efetuadas por equipes da Tommasi Ambiental entre os dias 3 e 19 de novembro de 2020 e seguiram as orientações dos protocolos científicos para coleta de amostras de solo, para fins de análise de metais. As coletas foram realizadas mediante autorização assinada do proprietário(a) ou responsável pela propriedade. A localização dos PAF, previamente estabelecida, foi readequada à medida que os proprietários(a) eram consultados sobre os locais que foram diretamente afetados pelas enchentes em suas propriedades. A mesma consulta foi feita para os PC, sendo efetuada a coleta apenas em locais sem qualquer indício de contato com o rejeito ou água do rio Paraopeba e, sempre que possível sob vegetação nativa.

Nas situações em que não foi obtida autorização do proprietário, a localização foi adequada para outra propriedade, mantendo o quadro físico e ambiental do ponto original. Locais com evidências de perturbações e/ou possibilidade de contaminação (acúmulo de lixo, cortes e aterros, acúmulo de material orgânico, etc.) foram evitados.

3.3. ANÁLISES LABORATORIAIS

Após coletadas, as amostras foram enviadas para laboratório e proferidas as análises, em duplicatas, com uso de procedimentos baseados em protocolos científicos nacionais e internacionais, atendendo, no caso dos metais, à determinação da Resolução CONAMA nº 420/2009. Foram analisados os seguintes parâmetros:

3.3.1. PARAMÊTRO FÍSICO

Granulometria que determina a distribuição por tamanho das partículas individuais dos solos, denominadas em Areia (2 - 0,05 mm), Silte (0,05 – 0,002mm) e Argila (< 0,002mm). Este tipo de parâmetro influencia na capacidade de retenção de íons, retenção de umidade e facilidade de percolação da água. Quanto mais argilosos os solos, maior quantidade de carga elétrica, resultando em maior capacidade de retenção de íons no solo, sejam eles nutrientes ou metais potencialmente nocivos.

3.3.2. PARÂMETROS QUÍMICOS

Capacidade de Troca Catiônica (CTC) potencial, que é a capacidade de troca de cátions considerando o pH do solo igual a 7. Este parâmetro é utilizado para classificar os solos quanto a sua capacidade de manter e trocar cátions, sendo que, quanto maior a CTC maior é a capacidade do solo em reter elementos de carga positiva, como os principais nutrientes e alguns metais potencialmente perigosos.

pH em água, que consiste na concentração de íons H⁺ na solução do solo. A partir desta medição, é possível classificar os solos quanto a sua acidez ou alcalinidade. Salientando que essa mensuração é de fundamental importância agrônômica, tendo em vista a utilização agrícola destes solos.

Carbono Orgânico Total (COT), que mede a quantidade de carbono proveniente de materiais orgânicos dos solos. Estes teores influenciam na capacidade de retenção de elementos de carga negativa e positiva no solo, assim como em possibilidades de complexação de certos metais.

Metais e Metaloides

Foram quantificados os teores de Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Silício (Si), Vanádio (V) e Zinco (Zn).

3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A apresentação, descrição e interpretação dos resultados partiu do agrupamento dos pontos nas seis Unidades de Paisagem, de forma que solos inseridos em contextos geoambientais similares foram tratados de forma conjunta. Em cada Unidade de Paisagem, os PAF e os PC formaram dois grupos distintos, e as **comparações se deram entre solos afetados e não afetados**, desenvolvidos sob condições ambientais similares. Foram realizados testes estatísticos para comparação entre os tipos de pontos, para cada parâmetro avaliado.

A partir da metodologia adotada foram apontadas com **indicativo de incremento ou alteração das condições naturais, as áreas afetadas (PAF) em que houve diferença estatisticamente significativa e mediana maior** de um dado elemento químico, quando

comparado aos solos não afetados (PC), inseridos na mesma unidade de paisagem. Uma **diferença estatisticamente significativa** é quando um teste estatístico prova que o conjunto de valores comparados apresentam uma diferença tão grande que é improvável que tenha ocorrido somente por acaso. A **mediana** é o valor central dentro de um conjunto de dados, ou seja, é o valor divisor em que metade dos valores estão abaixo e metade acima deste.

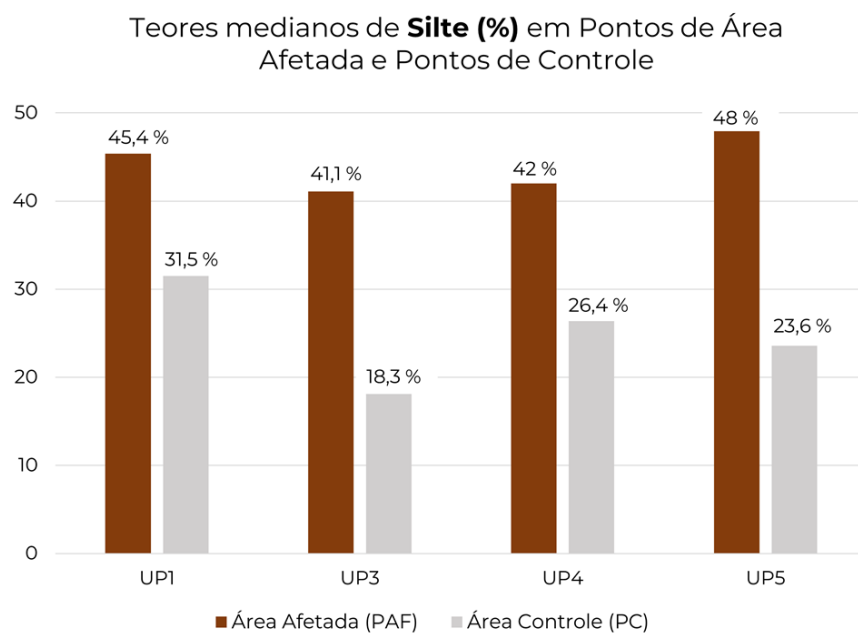
Para interpretação de todos os parâmetros analisados, foram utilizados critérios técnicos reconhecidos, a exemplo dos dados relacionados à química do solo (CTC, pH e COT) que foram interpretados segundo os valores de referência contidos na publicação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) e as análises de granulometria de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solo (Teixeira et al., 2017).

4. RESULTADOS PRINCIPAIS

4.1. PARÂMETRO FÍSICO

De forma geral, os solos da Região 3 apresentaram grande variação granulométrica, previsível para solos de várzea formados sob influência fluvial. Foram detectados, no entanto, **altos teores de silte**. Esta fração foi **predominante nos solos de área afetada (PAF)**, apontando para possibilidade de incremento quando comparado aos pontos controle (PC) (Figura 2). Houve diferença estatística significativa entre os tipos de pontos na maioria das Unidades de Paisagem (UPs), sendo que as medianas foram maiores nos PAF, na maior parte dos casos, exceto para UP2 e UP6. A classificação dos solos da Região 3 em grupamentos texturais demonstrou que predominam solos com textura média tanto entre solos afetados quanto não afetados.

Figura 2. Comparação das medianas de teor de Silte (%) com diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC e mediana maior entre os PAF nas Unidades de Paisagem da Região 3.



O incremento de silte no solo das áreas afetadas apontam para a condição de **degradação física destes solos**, e apresenta **forte indício de relação com o contato com o rejeito**, uma vez que este é rico em partículas da fração silte/argila, como apontado na caracterização do rejeito contida no Laudo de Perícia Criminal Federal nº 3565/2019 - NUCRIM/SETEC/SR/PF/SP. Outras causas como variações naturais, atreladas ao regime hídrico diferenciado às margens do rio Paraopeba também podem estar relacionadas.

Altos teores de silte e argila provocam **o entupimento dos poros do solo** devido ao arranjo das partículas. Com o selamento superficial, a água não consegue infiltrar com facilidade, **aumentando o escoamento superficial e as taxas de erosão hídrica**. Este processo gera o carreamento da camada superficial do solo, que contém mais matéria orgânica e maior reserva de nutrientes, provocando o **empobrecimento do solo e prejuízos ao crescimento das plantas**. A recomposição natural da vegetação também é prejudicada, uma vez que é formada uma crosta dura à penetração de raízes e ao estabelecimento da vegetação. Sendo assim, **uma série de prejuízos à produção agrícola podem ser gerados a curto, médio e longo prazo**.

Um fator preocupante é que os metais tendem a apresentar maior associação com materiais de granulometrias mais finas como o silte e argila. Este fato associado ao aumento da erosão hídrica e à maior suscetibilidade à erosão eólica contribuem para o carreamento deste material para outros compartimentos ambientais, gerando **fontes secundárias de contaminação**.

4.2. PARÂMETROS QUÍMICOS

4.2.1. CTC, pH EM ÁGUA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Em relação aos parâmetros químicos dos solos, não foi observada variabilidade tão expressiva quanto a encontrada entre os parâmetros físicos. Foi identificada diferença significativa entre os tipos de pontos em poucas Unidades de Paisagem para os parâmetros pH, Carbono Orgânico Total (COT) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (Figura 3).

Figura 3. Comparação das medianas dos parâmetros químicos com diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC nas Unidades de Paisagem da Região 3.

Teores medianos dos **parâmetros químicos** entre Pontos de Área Afetada e Pontos de Controle



Para **Capacidade de Troca Catiônica - CTC**, foi identificada **diferença** estatisticamente significativa entre PAF e PC na **UP2 e UP6** e para **Carbono Orgânico** na **UP4, UP5 e UP6**, sendo que somente na UP4 e UP5 a mediana entre os PAF foi maior que a mediana entre os PC. Nos casos em que foi observada diferença significativa na CTC e conteúdo de Carbono Orgânico, não se observou um padrão coerente de aumento ou diminuição dos parâmetros entre os pontos afetados e pontos de referência. O CTC e o conteúdo de Carbono Orgânico encontrados nos solos analisados podem influenciar na complexação, adsorção, e disponibilização dos metais e metaloides analisados para outros compartimentos no ambiente.

Para o **pH em água**, a **mediana entre os pontos afetados foi maior que entre os pontos de controle em todas as UP**, no entanto, foi demonstrado **diferença** estatisticamente significativa de valor entre os PAF e PC em metade delas, nas **UP3, UP4 e UP5**. Solos de planície aluvial apresentam valores de pH naturalmente mais altos, no entanto, a diferença encontrada entre os pontos controles e pontos de áreas afetadas e o fato de os materiais provenientes do rompimento possuírem altos valores de pH levantam a hipótese de que esses resultados podem estar relacionados à exposição ao rejeito.

Os solos da Região 3 apresentaram **classe de interpretação** para **CTC predominante** entre os solos analisados como sendo a **Classe Médio**, que predominou entre solos afetados e solos não afetados. A classe de interpretação predominante para o conteúdo de **Carbono Orgânico** é a **Classe Médio**, que foi a mais comum nos dois tipos de pontos. A classe de Interpretação de **pH** predominante é a **Classe Bom**, variando entre os tipos de pontos, sendo que entre os solos afetados foi mais comum a Classe Bom, enquanto, entre os solos não afetados de referência, predominaram os solos de Classe Baixo.

4.2.2. METAIS E METALÓIDES

a. ELEMENTOS QUE EXCEDERAM OS VALORES ORIENTADORES

Para interpretação dos resultados de metais foi utilizada a Resolução CONAMA Nº 420/2009, na qual são estabelecidos os **Valores Orientadores de Qualidade do Solo** que servem como critérios para avaliação da contaminação do solo, e as diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas **a nível nacional**. Foi utilizada também a Deliberação Normativa COPAM Nº 166/2011 que estabelece os Valores Orientadores específicos **para os solos do estado de Minas Gerais**. Estes valores são estimativas de concentrações naturais de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo para o estado de Minas Gerais. Os valores orientadores **se dividem em:**

VRQ - Valor de Referência de Qualidade

Concentração limite que define a qualidade natural do solo.

VP - Valor de Prevenção

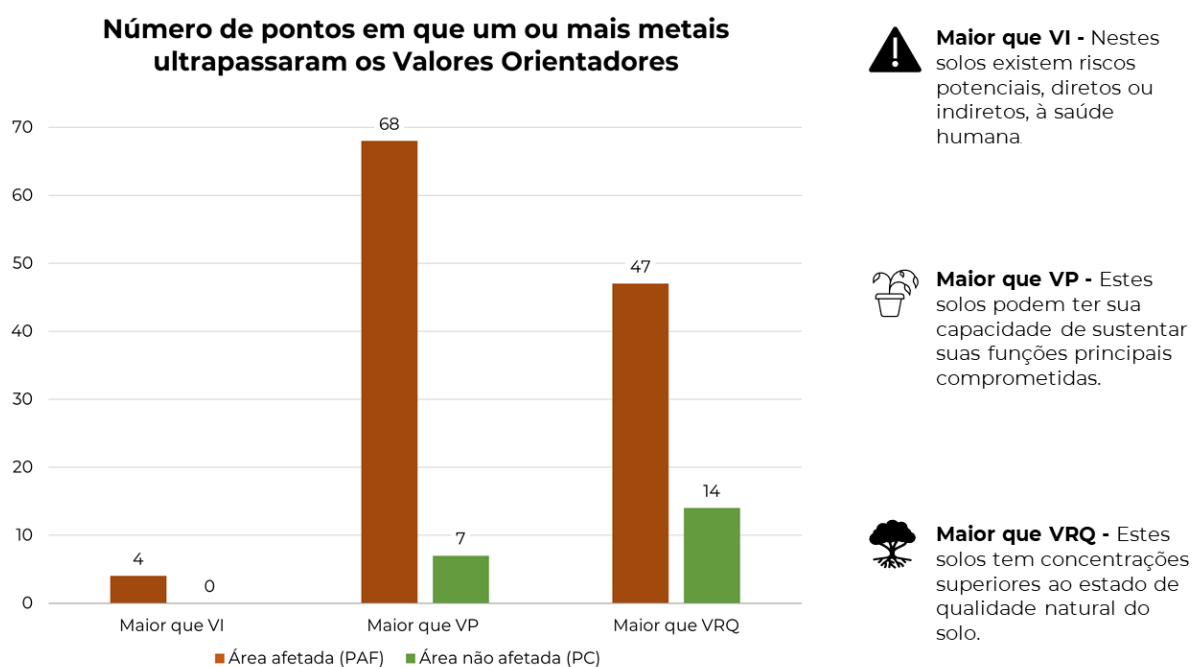
Concentração do valor limite da substância no solo, tal qual o solo mantenha suas funções principais, tais como, servir como meio básico para sustentação da vida e habitat para os organismos vivos, entre outros.

VI - Valor de Investigação

Concentração acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. O VI é dividido em Valor de Investigação Agrícola (VIA), Valor de Investigação Residencial (VIR) e Valor de Investigação Industrial (VII), que apresentam valores de concentração limite diferentes e em ordem crescente, sendo o VII o maior entre estes.

A análise dos resultados revelou que uma série de amostras excederam os Valores Orientadores para um ou mais metais, em sua maioria nas áreas afetadas pelo rejeito (Figura 4).

Figura 4. Número de pontos em que as amostras de solo apresentaram um ou mais elementos químicos que ultrapassaram os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA N° 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.



Um total de **quatro pontos apresentaram concentração superior ao VI Agrícola e/ou Industrial** para um ou mais elementos químicos analisados, **todos localizados na área afetada**. Conforme o disposto na Resolução CONAMA N° 420/2009, o solo desses locais oferece riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

O total de **75 pontos apresentaram concentração superior ao VP** e igual ou inferior ao VI para um ou mais elementos químicos analisados. Destes, 68 se localizam na área afetada, e 7 se localizam em área não afetada.

O total de **61 pontos apresentaram concentração superior ao VRQ-MG** e igual ou inferior ao VP para um ou mais elementos químicos analisados. Destes, 47 se localizam na área afetada, e 14 se localizam em área não afetada. Conforme o disposto na Resolução CONAMA no 420/2009, estes solos apresentam concentração destes elementos superior ao estabelecido como a qualidade natural do solo para o estado de Minas Gerais.

Diferente dos demais, **29 pontos foram apresentaram concentração inferior ao VRQ**, não excedendo nenhum valor orientador, sendo que 19 pontos estão localizados em áreas não afetadas e 10 em áreas afetadas.

b. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CONCENTRAÇÃO DE METAIS E METALÓIDES

De acordo com a Resolução CONAMA 420/2009, o solo pode ser classificado de acordo com a concentração de substâncias químicas em diferentes classes, podendo estar na faixa da **Classe 1** que apresenta **concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ**, **Classe 2** apresenta pelo menos uma substância química **maior que o VRQ e menor ou igual ao VP**, **Classe 3** são solos que apresentam pelo menos uma substância química **maior que o VP e menor ou igual ao VI** e a **Classe 4** são solos que possuem concentrações de, pelo menos, uma substância química **maior que o VI**. Estas classes foram atribuídas de acordo com os elementos quantificados e seus respectivos Valores Orientadores.

A partir da classificação do solo, foi possível identificar os procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo que precisam ser adotados em cada ponto amostrado, de acordo com o que prevê a Resolução CONAMA 420/2009. São eles para cada classe de solo:

- Solos de Classe 1 - Por apresentarem concentração de todos os metais analisados abaixo do Valor de Referência de Qualidade para o Estado de Minas Gerais, não existem ações requeridas para estes solos.
- Solos de Classe 2 - As ações requeridas para estes solos incluem verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativo de ações preventivas de controle, quando couber, não cabendo necessariamente investigação.
- Solos de Classe 3 - As ações requeridas para estes solos incluem identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.
- Solos de Classe 4 - São necessários estudos complementares com a finalidade de esclarecer a origem destas altas concentrações, o que é determinante para a classificação destes pontos como áreas contaminadas, e para a definição das ações requeridas de acordo com as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas. São necessários também estudos que dimensionem a extensão das áreas apresentando solos com concentração de metais acima do VI.

A classificação dos solos amostrados na Região 3 de acordo com a concentração de metais e metaloides pode ser visualizada nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte I - Setor norte da área de estudo.

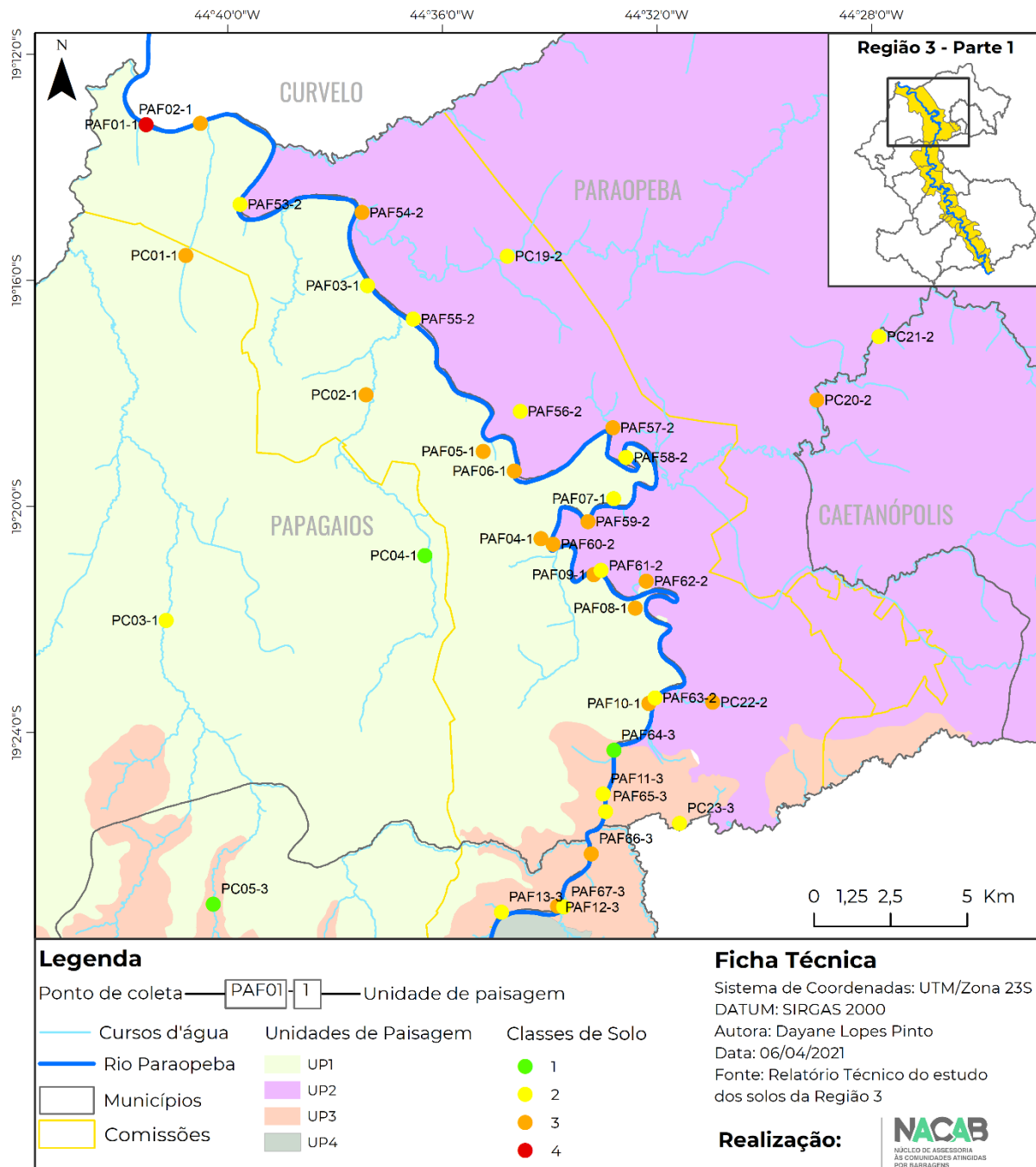


Figura 6. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte 2 - Setor central da área de estudo.

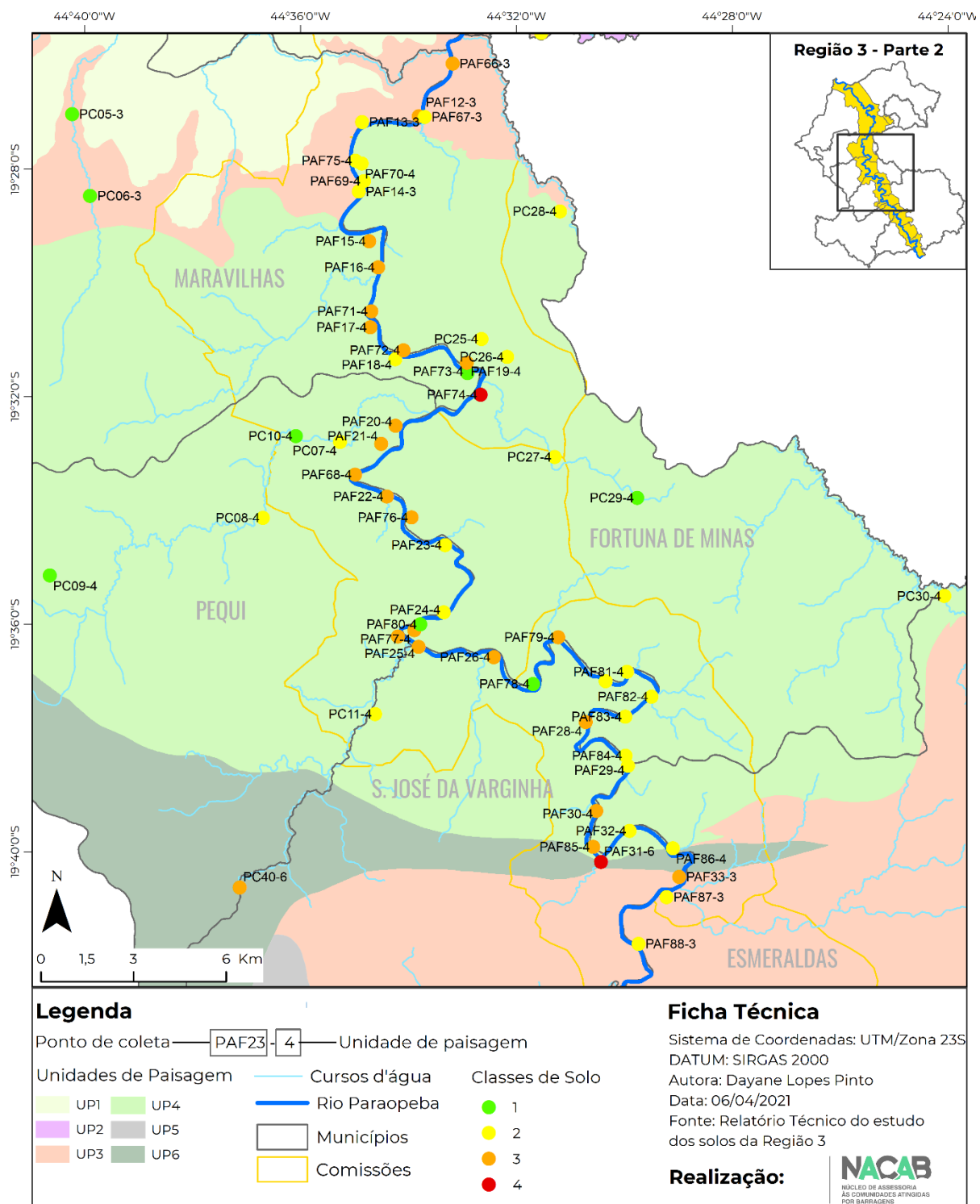
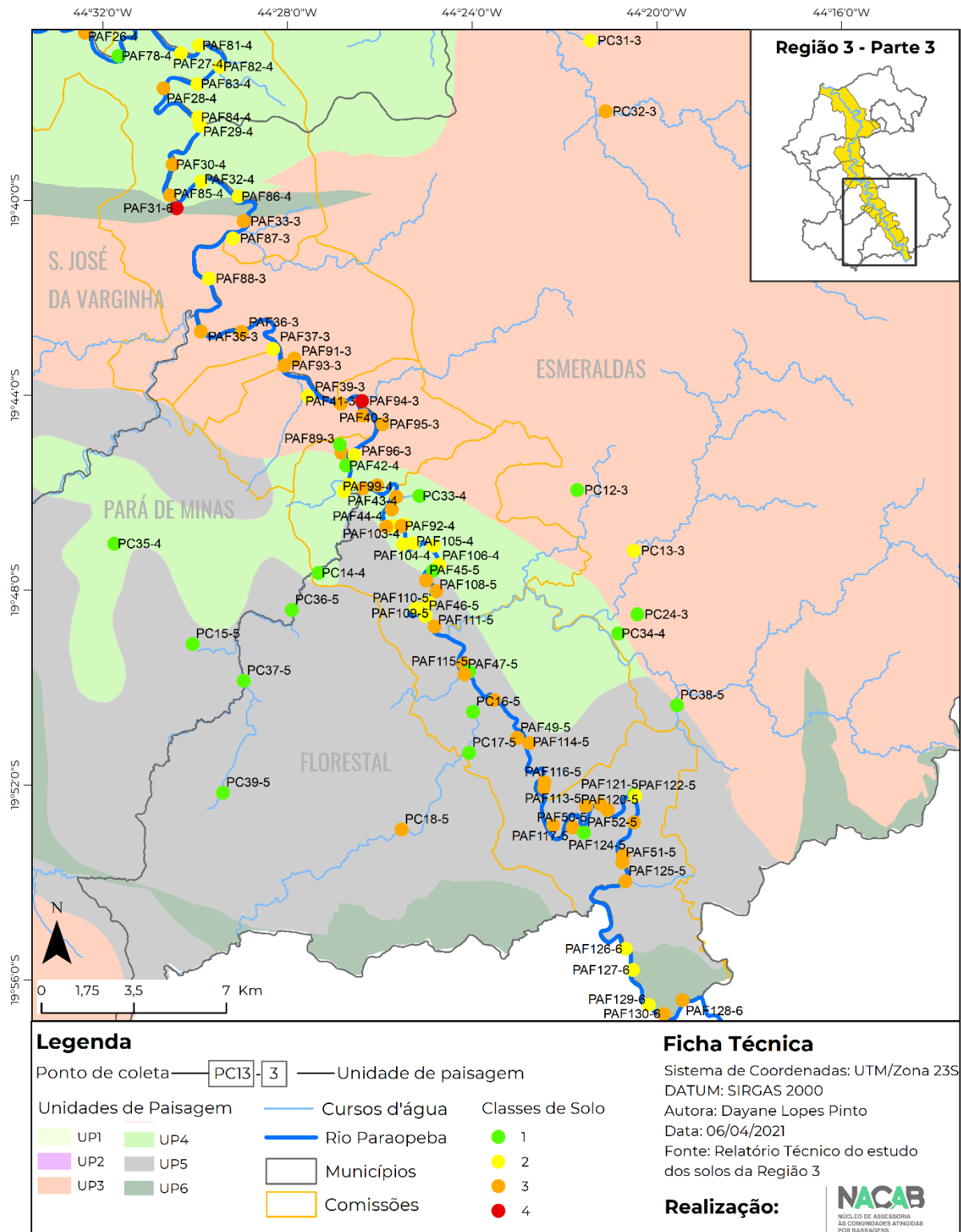


Figura 7. Distribuição dos pontos de coleta de solo e classificação nas Classes de Qualidade do Solo de acordo com a Resolução CONAMA 420/2009. Parte 3 - Setor sul da área de estudo.



c. METAIS E METALOIDES ACIMA DO VI E VP

Entre os metais e metaloides que ultrapassaram os Valores Orientadores, os que excederam o VI foram também os que apresentaram maior número de amostras excedendo o VP para outros metais. A seguir são listados os elementos que demandam maior atenção em função dos teores detectados. São eles:

1. Cromo

O **Cromo** foi o metal com maior número de pontos excedendo o VI (150 mg/kg), sendo dois pontos (1,2% do total), ambos em área afetada e localizados nos municípios de Papagaios (PAF01 – UP1) e Fortuna de Minas (PAF31 – UP6) (Figura 8). Foi também o **elemento com maior número de pontos excedendo o VP** (75 mg/kg), com 70 pontos (41,4% do total), sendo eles 65 PAF e 05 PC. A distribuição destes pontos nos municípios e comissões pode ser visualizada na Tabela 1.

Figura 8. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Cromo excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM no 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção.

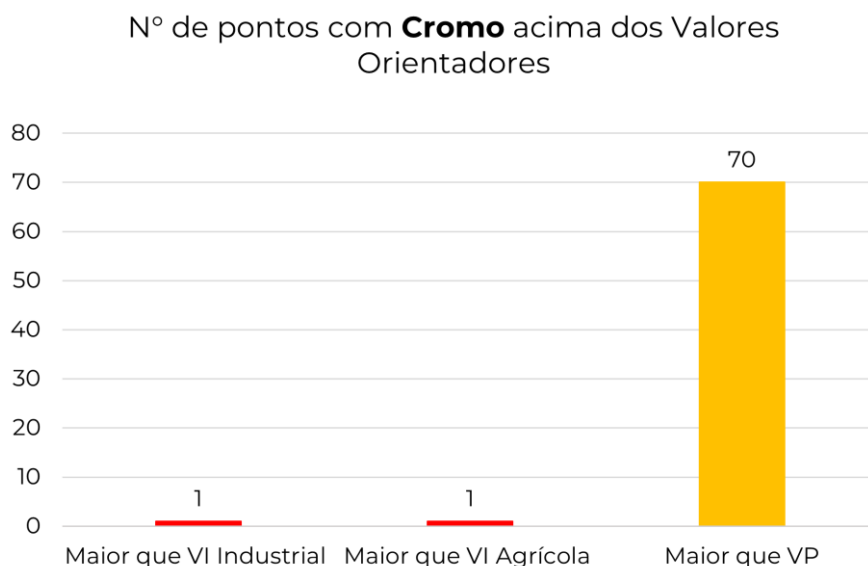


Tabela 1. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Prevenção (VP) para o elemento Cromo na Região 3.

MUNICÍPIO	COMISSÕES	Nº DE PONTOS COM CROMO ACIMA DO VP	TOTAL
Esmeraldas	Cachoeirinha	1	20
	Padre João, Vinhático e Bambus	7	
	Riacho	2	
	Taquaras	5	
	São José	1	
	Vista Alegre	4	
Papagaios	Papagaios	8	9
	Fora da Comissao	1	
Fortuna de Minas	Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	4	8
	Córrego da Areia	3	
	Três Barras	1	
Florestal	Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	7	8
	Fora da Comissao	1	
Paraopeba	Zona Rural	5	6
	Fora da Comissao	1	
São J. da Varginha	São José da Varginha	5	5
Pará de Minas	Chacreamento Paraopeba	2	5
	Chacreamento Vargem Grande	2	
	Muquém	1	
Pequi	Pequi	4	5
	Fora da Comissao	1	
Maravilhas	Maravilhas	4	4
TOTAL	-	70	70

O Cromo é um elemento relativamente estável, apresenta baixa mobilidade no solo e nas plantas e restrita permeabilidade nas membranas celulares. A sua presença no solo, acima das concentrações aceitáveis, interfere negativamente no crescimento das plantas que o absorve e o compartimentaliza, especialmente nas raízes, podendo levar a planta a morte. O Cromo na sua forma trivalente (Cr^{3+}) participa do metabolismo humano, porém a principal forma que ele se encontra na natureza é na sua forma hexavalente (Cr^{6+}), que é muito reativa e tóxica, podendo causar danos ao DNA, aos pulmões, ao fígado, entre outros órgãos e atividades metabólicas essenciais à saúde humana e animal.

2. Níquel

O Níquel foi o **segundo elemento com maior número de amostras excedendo VI e VP** (Figura 9). Foi detectado um ponto acima do VI Industrial (130 mg/kg) também no PAF31 (UP6) em Fortuna de Minas. Outros 53 pontos (31,4% do total) excederam o VP (30 mg/kg), sendo 51 PAF e 2 PC, e 38 pontos (21,9% do total) superaram o VRQ (21,5 mg/kg), sendo

36 PAF e 2 PC. A distribuição destes pontos nos municípios e comissões pode ser visualizada na Tabela 2.

Figura 9. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Níquel excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA N° 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM no 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção, VRQ = Valor

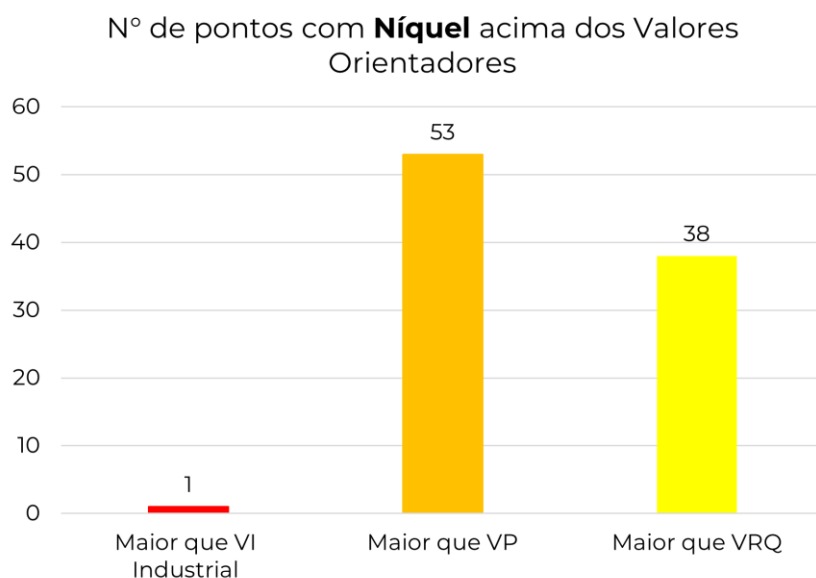


Tabela 2. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Prevenção (VP) para o elemento Níquel na Região 3.

MUNICÍPIO	COMISSÕES	N° DE PONTOS COM NÍQUEL ACIMA DO VP	TOTAL
Esmeraldas	Cachoeirinha	1	15
	Padre João, Vinhático e Bambus	5	
	Riacho	3	
	Taquaras	2	
	São José	1	
	Vista Alegre	3	
Papagaios	Papagaios	4	4
Fortuna de Minas	Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	4	7
	Córrego da Areia	2	
	Três Barras	1	
Florestal	Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	7	7
Paraopeba	Zona Rural	3	4
	Fora da Comissão	1	
São J. da Varginha	São José da Varginha	5	5
Pará de Minas	Chacreamento Paraopeba	2	4
	Chacreamento Vargem Grande	1	
	Muquém	1	
Pequi	Pequi	3	4
	Fora da Comissão	1	
Maravilhas	Maravilhas	3	3
TOTAL	-	53	53

O Níquel é um dos metais pesados mais comuns nos solos. Ele, em baixas quantidades, age como micronutriente essencial nas plantas, em excesso, se torna tóxico. O Níquel, assim como os demais metais pesados, é biocumulativo nos organismos. Portanto, as principais vias de exposição animal e humana, são pela ingestão de água e alimentos contaminados. Já existem comprovações científicas de que o excesso de Níquel no organismo humano e animal pode causar, dermatites, má formação de fetos, anencefalia e variados tipos de câncer.

3. Bário

O Bário **ocupou o terceiro lugar entre os metais com maior número de pontos que excederam VI e VP**. Foi detectado um ponto (0,6% do total) acima do VI Agrícola (300 mg/kg), o PAF74 localizado em Fortuna de Minas, na comissão de Beira Córrego e Retiro dos Moreiras. Além deste, amostras de solo de 19 pontos (11,2%) superaram o VP (150 mg/kg), sendo que 16 são PAF e 3 PC. O Bário superou ainda o VRQ-MG (93 mg/kg) em 69 amostras (40,8% do total), sendo 60 de PAF e 9 de PC (Figura 10). A distribuição destes pontos pode ser visualizada na Tabela 3.

Figura 10. Número de pontos amostrais da Região 3 no quais os teores de Bário excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM no 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção.

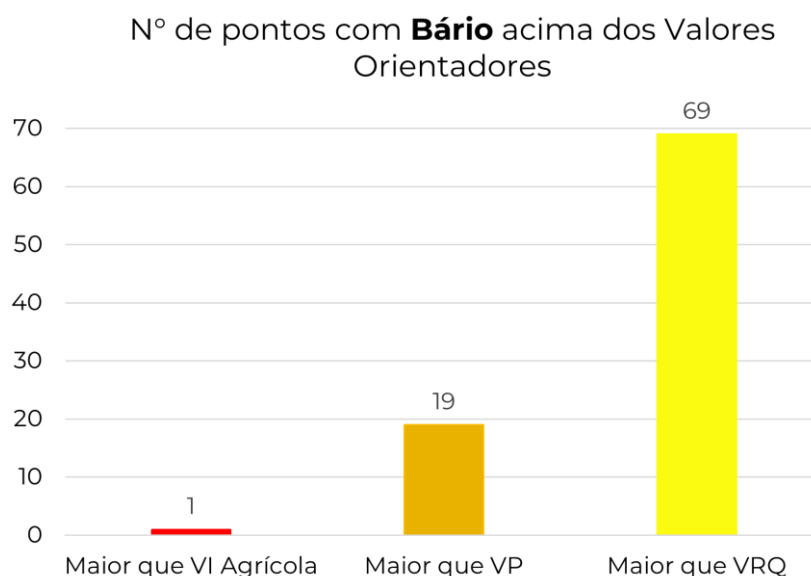


Tabela 3. Distribuição e número de pontos em que as amostras de solo excederam o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) e Valor de Prevenção (VP) para o elemento Bário na Região 3.

MUNICÍPIO	COMISSÕES	Nº DE PONTOS COM BÁRIO ACIMA DO VP	TOTAL
Esmeraldas	Riacho	1	3
	Taquaras	1	
	São José	1	
Papagaios	Papagaios	3	3
Fortuna de Minas	Beira Córrego e Retiro dos	1	3
	Moreiras	1	
	Córrego da Areia	1	
Florestal	Três Barras	1	1
	Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	1	
Paraopeba	Zona Rural	3	4
	Fora da Comissão	1	
São J. da Varginha	São José da Varginha	2	2
Pará de Minas	Chacreamento Paraopeba	1	1
Maravilhas	Maravilhas	2	2
TOTAL	-	19	19

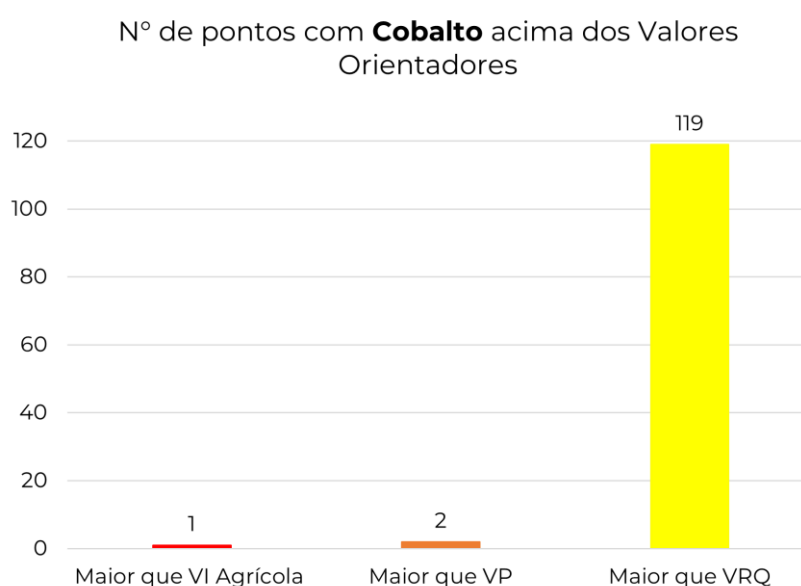
O Bário existe em rochas naturais no ambiente, porém ele não é um elemento essencial ao metabolismo de plantas, animais e humanos. As plantas absorvem o Bário e o compartimentaliza nas suas células, mas não existem comprovações de que elas o utilizem para alguma atividade metabólica, pelo contrário, existem estudos que comprovam que em determinadas concentrações o Bário influencia negativamente na fotossíntese e no desenvolvimento de plantas, como as gramíneas.

Na natureza o Bário existe em formas solúveis e não solúveis em água. Representantes de ambas as formas podem ser tóxicas para humanos, uma vez que as formas não solúveis em água podem ser solubilizadas pelas enzimas estomacais. Um dos efeitos do Bário no organismo humano ou animal é a diminuição dos níveis de Potássio no sangue, o que causa uma patologia chamada Hipocalemia. As complicações dessa patologia podem ocasionar vômitos, diarreias, cólicas abdominais, taquicardia ventricular, hipertensão ou hipotensão arterial, fraqueza muscular e paralisia. A principal via de exposição à contaminação por Bário é por ingestão de água e alimentos contaminados.

4. Cobalto

O Cobalto **também foi verificado acima do VI** Agrícola (35 mg/kg) em um ponto, no PAF94 em Esmeraldas, na comissão de Riacho. Outros dois pontos (1,2% do total) excederam o VP (25 mg/kg), são eles o PAF31 (UP6) na comissão de São José da Varginha e o PAF78 (UP4) em Fortuna de Minas na comissão de Três Barras. Além destes, 119 pontos (68,6% do total) excederam o VRQ (6 mg/kg), sendo 111 PAF e 8 PC (Figura 11).

Figura 11. Número de pontos amostrais da Região 3 nos quais os teores de Cobalto excederam os Valores Orientadores previstos na Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM no 166/2011. VI = Valor de Investigação, VP = Valor de Prevenção, VRQ = Valor de Referência de Qualidade.



O Cobalto é um micronutriente essencial para as plantas leguminosas, pois participa da fixação de nitrogênio que é realizada por essas plantas. Ele também é essencial aos humanos, pois compõe a estrutura da vitamina B12. Sendo assim, tanto a deficiência, quanto o excesso desse composto no organismo animal e humano podem trazer danos à saúde humana. Na crosta terrestre o Cobalto é um elemento relativamente raro, mas é usado em vários procedimentos industriais, especialmente na moagem do minério para produção de ligas metálicas. As vias de exposição a esse composto podem compreender o contato com solo, a respiração do ar e a ingestão de água e alimentos contaminados.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

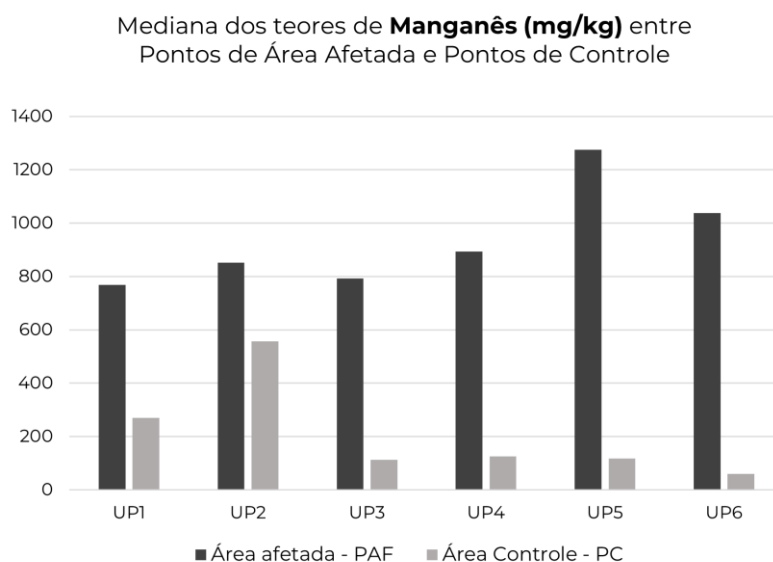
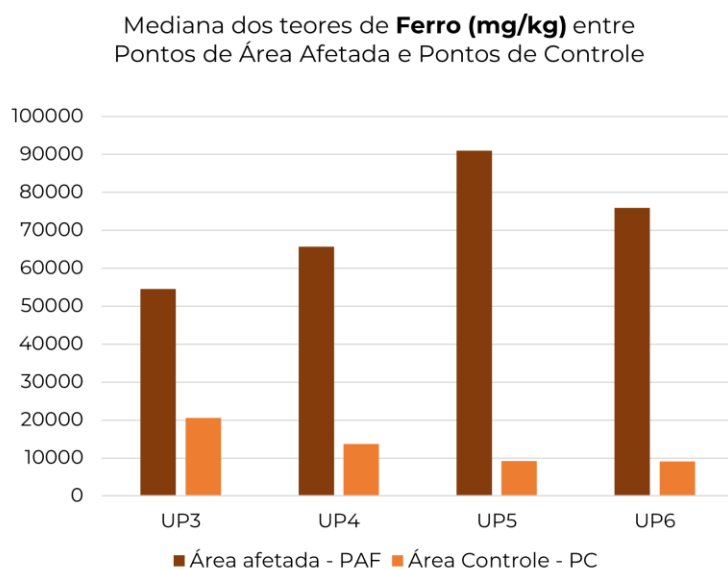
De forma geral, não foi observado vínculo espacial entre os pontos com valor acima do Valor de Investigação - VI, uma vez que estes distam mais de 50km entre si. Além disso, as amostras coletadas nos pontos mais próximos a eles não apresentaram valores tão altos e acima do VI. Todas as localidades que apresentaram concentrações acima do VI devem ser investigadas e efetivados os procedimentos previstos na Resolução CONAMA 420/2009 para solos de Classe 4.

d. METAIS E METALÓIDES ACIMA DO VP E VRQ

Além do Cromo, Níquel, Bário e Cobalto, **outros metais também excederam o VRQ e VP**, porém em menor número de pontos, como é o caso do elemento **Arsênio** que foi verificado acima do VP (15 mg/kg) em 5 pontos (3% do total), e acima do VRQ (8 mg/kg) em 39 pontos (17,75% do total), sendo todos PAF. O **Cobre** também foi registrado acima do VP (60 mg/kg) em 2 pontos (1,2%) e acima do VRQ (49 mg/kg) em 6 pontos (3,6% do total). Por fim, o **Zinco** com 60 pontos (35,5% do total) acima do VRQ e o **Vanádio** com 2 pontos acima do VRQ (129 mg/kg).

O Ferro (Fe) e o Manganês (Mn) foram os metais com as maiores concentrações registradas entre todos os elementos analisados. Este resultado era previsível, uma vez que estes metais estão presentes, de forma natural, em maiores quantidades que os demais metais pesados nos solos. O Manganês apresentou diferença significativa na concentração entre os PAF e PC, conjugado a mediana maior entre os pontos afetados em todas as UP. Para o elemento Fe, esta situação ocorreu em 4 das 6 UP. Sendo verificado, portanto, indicativos de incremento significativo destes elementos nas áreas afetadas quando comparadas às não afetadas (Figura 12). O Ferro e o Manganês não possuem valores de referência definidos pelo CONAMA para possíveis análises de contaminação, não sendo possível tecer discussões relativas aos limites legais para estes elementos.

Figura 12. Comparação das medianas de Ferro (mg/kg) e Manganês (mg/kg) que apresentaram, simultaneamente, diferença significativa entre amostras de solo de PAF e PC e mediana maior entre os PAF nas Unidades de Paisagem da Região 3.



Mesmo levando em consideração que as concentrações de Ferro e Manganês são naturalmente altas na maioria dos solos, os resultados apontam diferenças significativas entre as áreas analisadas, com medianas expressivamente maiores nas áreas afetadas. O incremento nos teores destes elementos levanta a hipótese de relação com o rejeito, uma vez que as altas concentrações de Fe e Mn são consistentemente distribuídas na área de estudo. Tanto o Ferro quanto o Manganês fazem parte da constituição básica do rejeito, conforme Laudo Pericial Criminal, sendo os metais com maior concentração entre os demais. Mais da metade das amostras de solo (68,4%) analisadas na Região 3 apresentaram concentrações de Ferro superiores à concentração máxima detectada na composição do rejeito. O

Manganês, no entanto, apresentou 95,27% das concentrações detectadas com valor inferior ao valor mínimo registrado para o elemento no rejeito (2910 mg/kg). Os valores máximos observados para ambos os metais, neste estudo, são mais altos que os valores máximos reportados por Furlan et al. (2020) para solos coletados a menos de 10 km do local do rompimento, e menos de 30 dias após o desastre.

O Ferro e o Manganês em baixas concentrações são micronutrientes essenciais às plantas, animais e humanos. O Ferro, apesar de abundante naturalmente, é pouco biodisponível nos solos. Em condições de pH baixo, tanto o ferro quanto o Manganês podem ser liberados em altas quantidades na forma absorvível pelas plantas, o que pode causar fitotoxicidade. Tanto a deficiência desses metais quanto o excesso destes podem ocasionar problemas à saúde. Em altas concentrações o Manganês pode causar neurotoxicidade e associação com doenças como Parkinson e Alzheimer. Já o Ferro pode causar hemocromatose (doença genética e hereditária que causa lesões em tecidos e consequentes complicações hepáticas e miocárdicas). A principal via de exposição é a ingestão de água e alimentos contaminados.

e. INCREMENTO DE METAIS E METALOIDES NAS ÁREAS AFETADAS

Foram identificadas e listadas situações que podem indicar incremento ou alteração na condição natural dos teores de metais dos solos na área afetada. Para isso foram comparadas as medianas dos tipos de pontos para cada um dos 15 metais nas 6 UP. A ocorrência simultânea dos critérios de diferença significativa entre os pontos e mediana maior entre os PAF indicaram incremento na concentração do metal entre os solos afetados, em comparação aos solos de referência de cada Unidade de Paisagem (UP). Os elementos com indicativo de incremento estão apresentados na Tabela 4, agrupados por UP.

Tabela 4. Grupos de solo com possível incremento e alteração da condição natural nos PAF, definidos pela ocorrência simultânea de diferença estatisticamente significativa na concentração do metal entre os tipos de pontos e mediana da concentração do metal maior entre os PAF que entre os PC.

ELEMENTO	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5	UP6
Arsênio (As)	+				+	
Bário (Ba)	+			+	+	+
Chumbo (Pb)					+	+
Cobalto (Co)	+		+	+	+	
Cobre (Cu)			+	+	+	
Cromo (Cr)	+		+	+	+	
Ferro (Fe)			+	+	+	+
Manganês (Mn)	+	+	+	+	+	+
Níquel (Ni)	+		+	+	+	
Silício (Si)	+	+				
Vanádio (V)			+	+	+	
Zinco (Zn)	+			+	+	

UP1 - 8 elementos (53,3% do total) cumprem ambos os critérios podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada para: Arsênio, Bário, Cobalto, Cromo, Manganês, Níquel, Silício e Zinco.

UP2 - 2 elementos (13,3% do total) cumprem ambos os critérios, podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada para: Manganês e Silício. A UP2 é o grupo de pontos com menor número de elementos nesta situação entre as UP.

UP3 - 7 elementos (46,7% do total) cumprem ambos os critérios, podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada para: Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel e Vanádio.

UP4 - 9 elementos (60,0% do total) cumprem ambos os critérios, podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada para: Bário, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Vanádio e Zinco. A UP5 é o segundo grupo de pontos com maior número de elementos nesta situação.

UP5 - 11 elementos (73,3% do total) cumprem ambos os critérios, podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada: Arsênio, Bário, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Vanádio e Zinco. A UP5 é o grupo de pontos com maior número de elementos nesta situação.

UP6 - 4 elementos (26,7% do total) cumprem ambos os critérios, podendo ser considerada a possibilidade de incremento na área afetada para: Bário, Chumbo, Ferro e Manganês.

5. ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A REGIÃO 3

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que o incremento nos teores de Silte, muito maiores nos solos de áreas afetadas, refletem uma condição de degradação física dos solos aluviais da Região 3. Esta condição é preocupante à medida que pode gerar consequências como o aumento nas taxas de erosão hídrica e maior carreamento dos nutrientes do solo, prejuízos ao crescimento da vegetação e à recomposição de espécies nativas e maior dificuldade de manejo do solo, gerando prejuízos à produção agrícola a curto, médio e longo prazo. Outro fator preocupante é a capacidade que este material possui de ser transportado a longas distâncias, e atuar como uma fonte secundária de contaminação.

Além da degradação física também foram identificadas alterações químicas, com o incremento nas concentrações de metais e metaloides nas áreas afetadas, e registro destes elementos químicos excedendo os Valores Orientadores de Qualidade do Solo. Os metais que excederam estes valores nas amostras de solo, em sua maioria das áreas afetadas, em ordem decrescente foram: Cromo, Níquel, Bário, Cobalto, Arsênio, Cobre, Zinco e Vanádio. Os solos com concentrações de metais acima do Valor de Investigação, oferecem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. Estas áreas demandam ações dos órgãos ambientais como a notificação desta condição aos proprietários rurais e o gerenciamento destas áreas contaminadas, conforme preconizado na legislação ambiental. Para as áreas com concentrações de elementos acima do Valor de Prevenção, são necessárias medidas de investigação e controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea. Por fim, para as áreas com concentrações acima do Valor de Referência da Qualidade são necessárias ações preventivas, caso haja fontes de poluição. Além dos procedimentos previstos pelo CONAMA, a promoção do estudo de riscos à saúde mostra-se ainda mais necessária, já que é possível identificar concentrações de metais que oferecem sérios riscos à população local.

Este estudo consiste no primeiro diagnóstico ambiental dos solos da Região 3 após o rompimento, no qual foi cumprido o objetivo de avaliar a condição atual do solo. Este estudo apresenta o maior número de amostras de solo de áreas afetadas pelo rompimento analisadas no contexto da bacia do rio Paraopeba, servindo, portanto, como um importante material para responder aos questionamentos dos atingidos(as) da Região 3 a respeito da condição do solo, bem como direcionar as ações necessárias de serem realizadas em função das concentrações de metais e metaloides verificadas. Estes dados servirão para subsidiar os demais estudos de investigação dos impactos ambientais e danos à saúde provocados pelo rompimento da barragem, que já estão sendo realizados, e os que atuarão no monitoramento a longo prazo.

6. PRÓXIMOS PASSOS

O NACAB, enquanto assessoria técnica independente da Região 3, irá divulgar amplamente os resultados deste estudo, com centralidade na Região 3 e comissões de atingidos(as). Os(as) proprietários(as) de áreas nas quais foram detectados solos enquadrados na Classe 4 serão informados e o NACAB buscará, dentro das formas legais e com apoio das Instituições de Justiça e órgãos ambientais, viabilizar a execução dos procedimentos necessários à eliminação ou redução dos riscos à saúde das populações atingidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa COPAM nº 166**, de 29 de junho de 2011. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>>

FURLAN, J. P. R.; et al.. **Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil**. Science of the Total Environment, 726, 2020.

VIGLIO, E. P.; CUNHA, F. G. **Atlas Geoquímico da Bacia do Rio São Francisco: Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2018.