

Received:  
September 27, 2024

Accepted:  
September 22, 2024

Published:  
October 31, 2024

## Susceptibility to contamination of wells granted in relation to activities licensed at Supram Leste Mineiro

Dayane Alves dos Santos<sup>1</sup> , Tuane de Oliveira Dutra<sup>1</sup> , Antônio Carlos Silva Tavares Mendes<sup>1</sup> , Myllena Trindade Silva<sup>1</sup> , Francisco César Dalmo<sup>1</sup> , Luan Brioschi Giovanelli<sup>1</sup> , Jorge Luiz dos Santos Gomes<sup>1</sup> , Caio Mário Leal Ferraz<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Teófilo Otoni, Brazil.

### Email address

dayane.alves@ufvjm.edu.br (Dayane A. Santos) – Corresponding author.

tuane.dutra@ufvjm.edu.br (Tuane O. Dutra)

antonio.tavares@ufvjm.edu.br (Antônio C.S. Tavares)

myllena.trindade@ufvjm.edu.br (Myllena T. Silva)

francisco.dalmo@ufvjm.edu.br (Francisco C. Dalmo)

luan.giovanelli@ufvjm.edu.br (Luan B. Giovanelli)

jorge.gomes@ufvjm.edu.br (Jorge L.S. Gomes)

caio.ferraz@ufvjm.edu.br (Caio M.L. Ferraz)

### Abstract

The risk of contamination of groundwater is determined by hydrogeological factors, such as the porosity of aquifers, static water pressure, and the attenuation capacity of the upper strata, as well as anthropic factors, such as the distribution of human activities on the surface and subsurface, which influence the quantity, frequency, form of release and chemical properties of the contaminants generated. The objective of this study is to identify the susceptibility to contamination of wells granted in relation to activities licensed at Supram Leste Mineiro, based on the analysis of natural vulnerability in the context of the potential for contamination of groundwater and potentially contaminating activities within a radius of 200 m of the wells. The study reveals that although activities in areas with very low vulnerability predominate, the presence of activities with high to medium potential in the vicinity of wells represents a significant risk to the water table. The 126 wells identified as having some type of human activity in their vicinity represent only approximately 10% of the wells that were granted during the period under analysis. However, it is notable that activities with high polluting potential are present in the areas of influence of 52% of these wells (5.56% related to soil and 46.83% to water), which are intended for human consumption or public supply. The results emphasize the need for measures to protect and manage groundwater resources, such as the implementation of clearer and more effective regulations, and increased supervision and monitoring to ensure the quality of water intended for human consumption and other uses.

**Keywords:** Subterranean water, Anthropogenic activities, Natural vulnerability.

## 1. Introdução

A água subterrânea, embora geralmente percebida como abundante e menos suscetível à contaminação do que as águas superficiais, não é um recurso inesgotável. Ela responde dinamicamente, tanto a curto quanto a longo prazo, às pressões resultantes das mudanças climáticas, da exploração intensiva e dos padrões de uso e ocupação do solo (Barbosa, 2020).

De acordo com Rios (2021), o risco de contaminação das águas subterrâneas é função dos

fatores hidrogeológicos, como a porosidade dos aquíferos, a pressão estática da água e a capacidade de atenuação dos estratos superiores, além de fatores antrópicos, como a distribuição das atividades humanas desenvolvidas na superfície e subsuperfície, que influenciam a quantidade, a frequência, a forma de lançamento e as propriedades químicas dos contaminantes gerados.

Segundo os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2024), no Brasil, o monitoramento das águas subterrâneas é significativamente menos desenvolvido em

comparação ao das águas superficiais e é conduzido de forma descentralizada. Alguns estados, como São Paulo, Ceará, Distrito Federal e Minas Gerais, mantêm redes próprias de monitoramento. Em nível nacional, o Serviço Geológico do Brasil opera a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS. Em 2024, no mês junho contava com 481 poços de monitoramento dos níveis de água subterrânea, com alertas de qualidade, distribuídos em 25 aquíferos em todo o país, abrangendo 22 unidades federativas.

O estado de Minas Gerais, além de se destacar por possuir rede de monitoramento própria para as águas subterrâneas, também se destaca no quesito consumo. Conforme Hirata et al. (2019), o estado é o segundo maior consumidor deste recurso, ficando atrás apenas de São Paulo. A Superintendência Regional de Meio Ambiente Leste Mineiro - SLM, conta com 145 municípios sob sua jurisdição e está localizada na porção nordeste do estado, e cerca de 76% dos poços outorgados nesta região são utilizados para consumo humano e abastecimento público, conforme dados do sistema de consulta de outorga da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad.

Frente ao exposto, o presente estudo tem o objetivo de identificar a suscetibilidade dos poços

inseridos na SLM, diante do potencial poluidor/degradador das fontes de contaminação licenciadas existentes na área. Visando, desta forma, contribuir para o desenvolvimento de estratégias de gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, auxiliando na manutenção dos usos existentes e futuros desse recurso.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Hidrogeologia da área de estudo

Na Figura (1), com base no mapa hidrogeológico elaborado por Fiume et al. (2022), é evidenciada a presença do aquífero do tipo Embasamento Indiferenciado, que é o principal aquífero da área em questão. Conforme o autor este aquífero predominante é caracterizado pela presença de diversas rochas, incluindo gnaisses, xisto, granito, quartzito, migmatito, mármore, rochas metapelíticas, vulcânicas e metavulcânicas.

Na região central, observa-se a presença do aquífero Aluvionar, enquanto mais ao norte da área identifica-se o aquífero do tipo Barreiras. Ao Sul, encontram-se os aquíferos de Minas, Nova Lima e Espinhaço, além de uma pequena parte caracterizada por Macaúbas (Fiume et al., 2022).

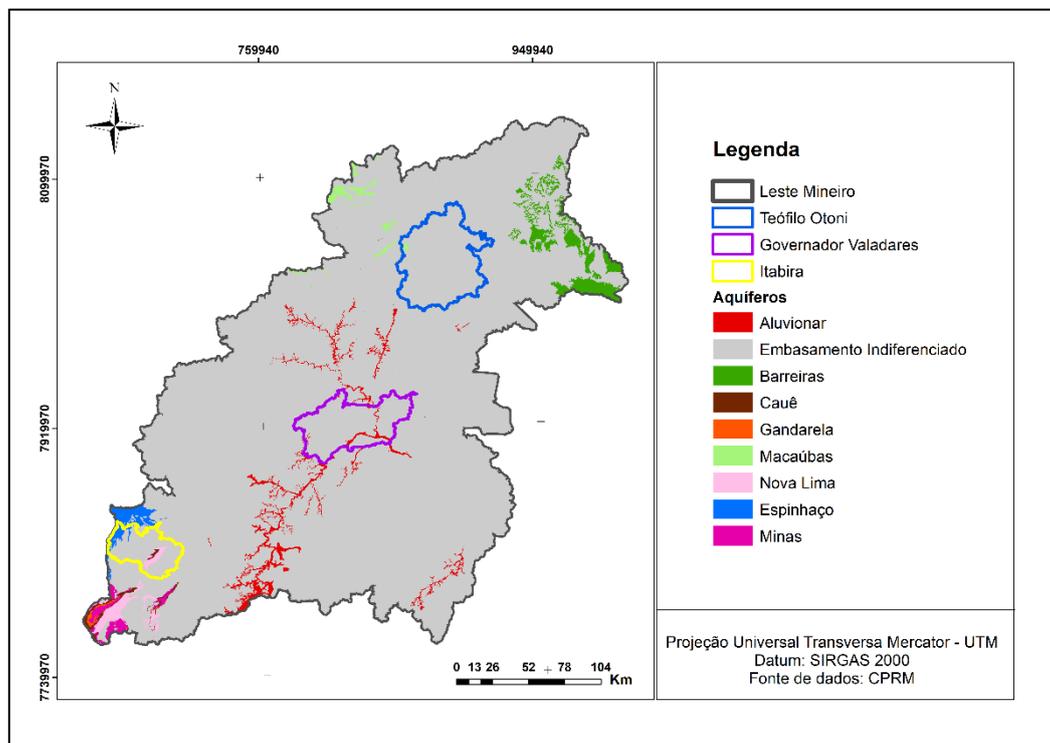


Figura 1 – Hidrogeologia (adaptado de Fiume et al., 2022).

## 2.2. Fontes de contaminação da água subterrânea

É amplamente reconhecido na literatura que quase todas as atividades humanas acarretam algum nível de risco de poluição ambiental, muitas das quais podem se transformar em fontes de contaminação das águas subterrâneas. Entre as principais fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas, podem ser mencionados vazamentos em dutos e tanques, falhas em processos industriais, problemas nos tratamentos de efluentes, atividades de mineração, disposição inadequada de resíduos, uso inadequado de defensivos agrícolas, acidentes durante o transporte de substâncias químicas, entre outras causas (Silva, 2002).

As fontes de poluição podem ser classificadas de duas formas: fontes de poluição difusas e fontes pontuais. Segundo Barros (2008), a poluição pontual é lançada de forma constante e em locais específicos, sendo facilmente identificável. As principais fontes dessa contaminação são os esgotos domésticos e os efluentes industriais. Por outro lado, a poluição difusa ou não pontual é de difícil identificação, pois não pode ser atribuída a um único local de descarga. Essa forma de poluição resulta de ações dispersas e tem aportes significativos em períodos chuvosos. Além disso, apresenta maior custo para quantificação e redução em comparação com as emissões pontuais.

Conforme os dados do inventário de áreas contaminadas do estado de Minas Gerais elaborado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM (2023), os postos de combustíveis, incluídos o comércio varejista de combustíveis e revendedores de gasolina, álcool e diesel, representam 72% das fontes de contaminação das áreas contaminadas e reabilitadas do estado.

## 2.3. Classificação do potencial poluidor das atividades licenciadas no Estado de Minas Gerais

A Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017, possui como principal finalidade estabelecer diretrizes para classificar empreendimentos e atividades com base em seu tamanho e capacidade de poluição, assim como critérios de localização para determinar os tipos de licenciamento ambiental necessários em Minas

Gerais. Além disso, aborda outras medidas relacionadas ao tema (Minas Gerais, 2017).

Conforme estipulado no artigo 3º da Deliberação, a avaliação do potencial poluidor/degradador das atividades e empreendimentos é categorizada como pequeno (P), médio (M) ou grande (G), em virtude das características específicas da atividade, conforme as listagens: A (Atividades Minerárias), B (Atividades Industriais/Indústria Metalúrgica e Outras), C (Atividades Industriais/Indústria Química e Outras), D (Atividades Industriais/Indústria Alimentícia), E (Atividades de Infraestrutura), F (Gerenciamento de Resíduos e Serviços), e G (Atividades Agrossilvipastoris), levando em conta as variáveis ambientais: ar, água e solo. No entanto, vale salientar que para o elemento água não há uma distinção se a avaliação do potencial poluidor/degradador é referente a água superficial ou subterrânea.

## 2.4. Fatores condicionantes para contaminação da água subterrânea

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB ([s.d.]), o potencial de poluição da água subterrânea é influenciado por diversas variáveis, incluindo as características do poluente, sua quantidade, forma de lançamento no solo e a vulnerabilidade intrínseca do aquífero. De maneira semelhante, Silva (2020) ressalta que o risco potencial de um determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e suas características, como litologia, hidrogeologia, gradientes hidráulicos, entre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade.

Sobrinho (2009), por sua vez, destaca que o transporte de contaminantes no solo é influenciado por diversos mecanismos e fatores, enfatizando que durante o transporte pela água até as camadas inferiores do solo, os contaminantes interagem com os materiais presentes e passam por processos de atenuação. Ainda de acordo com o autor, entre os mecanismos que atuam sobre os contaminantes na subsuperfície estão a advecção, difusão/dispersão, adsorção/dessorção, volatilização, metabolismo microbiano, reações químicas, filtração, diluição e complexação. Esses processos são afetados pelas propriedades dos contaminantes, características do solo, condições climáticas e práticas agrícolas.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Localização da área de estudo

A Supram Leste Mineiro, área de estudo deste trabalho, abrange parte do nordeste e leste do estado de Minas Gerais (Figura 2). A escolha da área levou

em consideração que esta Supram tem um percentual de área significativo inserido em um aquífero fraturado, o qual tem características de fluxo mais complexas, devido ao seu confinamento anisotrópico e heterogêneo. Logo, sendo mais difícil controlar uma possível contaminação.

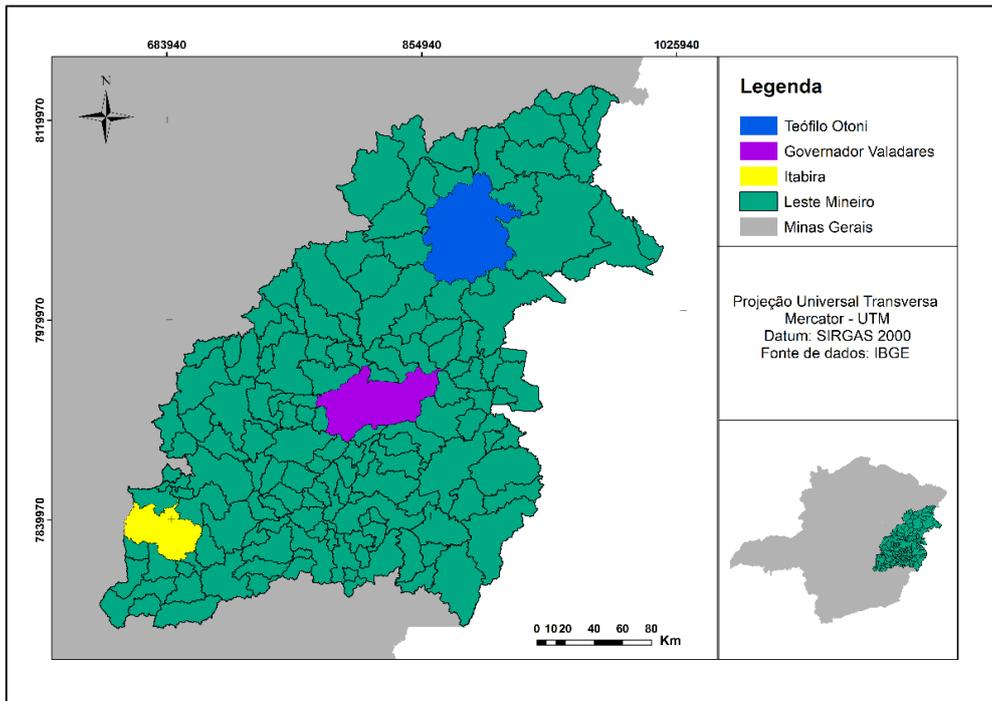


Figura 2 – Localização da área de estudo.

#### 3.2. Coleta de dados

Os tipos de informações coletadas e as fontes destas podem ser observadas na Tabela (1). Para a produção dos gráficos e mapas foram utilizados os softwares Excel e QGIS, respectivamente.

É relevante enfatizar que os dados das fontes de contaminação utilizados neste estudo foram coletados em 02 de janeiro de 2023. Portanto, é possível que após essa data tenham sido inseridas outras atividades, as quais não estão contabilizadas na presente análise.

Tabela 1– Coletas de dados.

Informações	Fonte	Site
Dados das atividades licenciadas	*IDE - Sisema	<a href="#">Link de acesso</a>
Dados dos poços outorgados	*IDE - Sisema	<a href="#">Link de acesso</a>
Mapa de Vulnerabilidade natural no contexto da potencialidade de contaminação da água subterrânea para o Estado de Minas Gerais	Scolforo et al. (2008)	<a href="#">Link de acesso</a>
Mapa Hidrogeológico	Fiume et al. (2022)	<a href="#">Link de acesso</a>

\*Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema).

#### 3.3. Considerações adotadas

Como o trabalho é voltado para o ambiente subterrâneo e frente o cenário mais brando

apresentado para o elemento ar, o foco foi dado para os elementos água e solo. Portanto, foram consideradas atividades que apresentaram grau

potencial poluidor/ degradador classificado M ou G para a água ou solo.

Para a análise da susceptibilidade dos poços inseridos na SLM, foram analisadas a existência de atividades potencialmente contaminadoras dentro de um raio de 200 m. Adotou-se este valor (200 m), por este ser utilizado na análise técnica dos processos de outorga para avaliação das possíveis interferências hidrodinâmicas, de acordo com o Art. 7º do Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019 (Minas Gerais, 2019).

O mapa de vulnerabilidade natural no contexto da potencialidade de contaminação da água subterrânea, desenvolvido por Scolforo, Carvalho e Oliveira (2008), foi utilizado para verificar a vulnerabilidade aquífera nas regiões que possuem atividades com potencial poluidor dentro do raio de 200 m. Dessa forma, essa abordagem possibilitará uma análise de suscetibilidade à contaminação em poços tubulares frente a atividades fonte de contaminação na Supram Leste Mineiro.

#### 4. Resultados e Discussões

No período analisado foram identificados 1275 poços outorgados e 841 atividades licenciadas distribuídos ao longo da área da SLM.

#### 4.1. Grau potencial poluidor/degradador geral das atividades licenciadas

Ao realizar uma análise individual para cada elemento, é possível observar, especificamente em relação à água, que 49% (413 atividades) das atividades licenciadas apresentam grau G, conforme evidenciado no Figura (3). Do restante, 43% (362 atividades) possuem grau M, enquanto 8% (66 atividades) possuem grau P para este elemento.

Os demais elementos permaneceram o Grau M como preponderante, ocorrendo no solo e no ar em 62% (527 atividades) e 50% (418 atividades) das atividades, respectivamente. O elemento que apresentou menor percentual de grau G foi o elemento ar, com apenas 4% (31 atividades), seguido pelo elemento solo, com quase 30% (241 atividades). Logo, o ar foi o que apresentou o cenário menos desfavorável em relação ao grau potencial poluidor/degradador das atividades (Figura 3), sendo o mesmo não abordado nas demais análises. No entanto, este foi inicialmente apresentado para sustentar o grau geral, que será discutido posteriormente e inclui também o elemento ar.

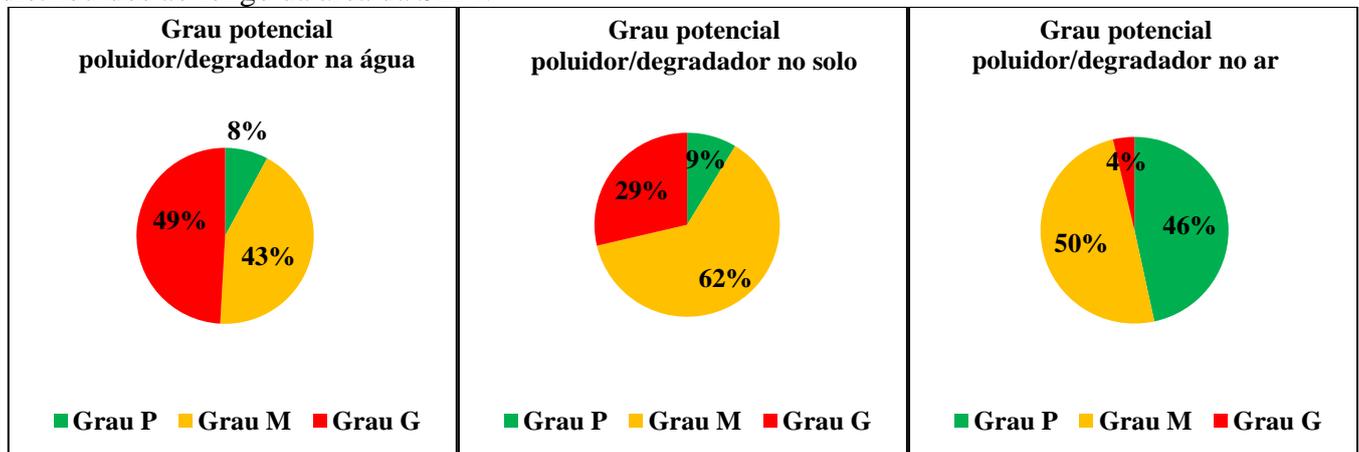


Figura 3 – Grau potencial poluidor/degradador na água, solo e no ar.

A distribuição espacial das atividades licenciadas e o potencial poluidor/degradador em relação ao elemento solo, apresentados na Figura (3), podem ser melhor compreendidos ao observarmos a Figura (4). Neste mapa, destaca-se o grau potencial poluidor/degradador médio, e os locais que revelaram concentrações significativas

de atividades com o grau M, foram as cidades de João Monlevade (1), Timóteo (2), Santana do Paraíso (3), Guanhães (4), Ipanema (5), Governador Valadares (6) e Nanuque (7), cada uma com pelo menos 14 atividades ou mais. Sendo João Monlevade a cidade com a quantidade máxima, um total de 28 atividades.

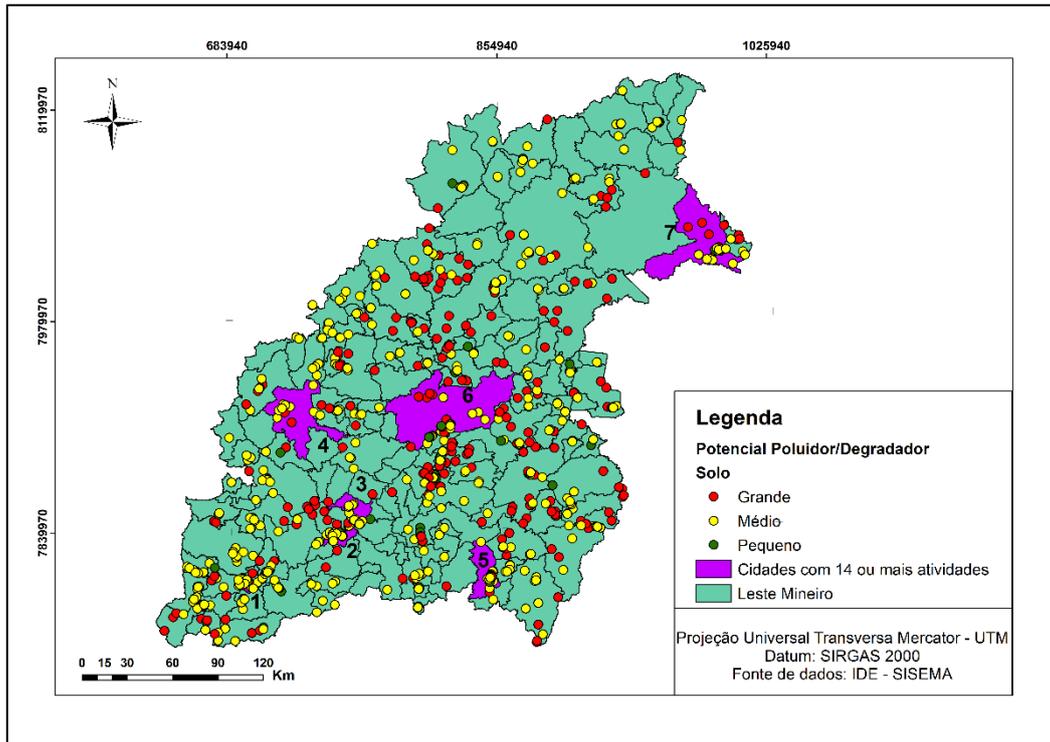


Figura 4 – Distribuição espacial do potencial poluidor/degradador no solo.

Além disso, na distribuição espacial do potencial poluidor/degradador no solo, destacando as cidades com grau G, conforme Figura (5), temos as seguintes cidades: Engenheiro Caldas (1), Aimorés (2), Santa Rita do Itueto (3), Conselheiro Pena (4), Galiléia (5), Governador Valadares (6),

Itambacuri (7), Franciscópolis (8) e Ataléia (9). Cada uma dessas cidades apresentou pelo menos 7 atividades ou mais. Com as cidades de Engenheiro Caldas e Franciscópolis com o número máximo de 12 atividades presentes em seus municípios.

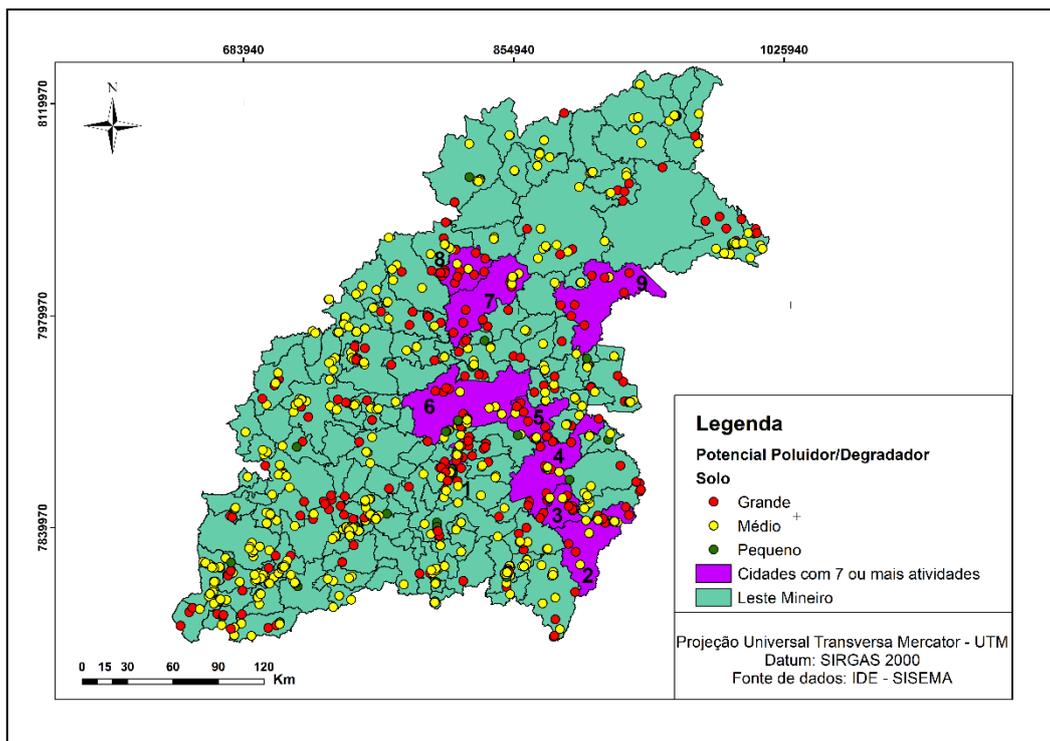


Figura 5 – Distribuição espacial do potencial poluidor/degradador no solo.

Ao contrário da análise da distribuição espacial das atividades para a variável solo, apresentada na Figura (5), onde o grau médio é preponderante, no cenário da variável água, apresentado na Figura (6), observa-se uma distribuição dispersa de atividades com médio e grande potencial de contaminação. No entanto, para

o grau médio, as cidades de João Monlevade (1), Timóteo (2), Engenheiro Caldas (3), Conselheiro Pena (4) e Franciscópolis (5) destacaram-se, apresentando 10 atividades ou mais cada. Nesse caso, João Monlevade apresenta a quantidade máxima de 18 atividades.

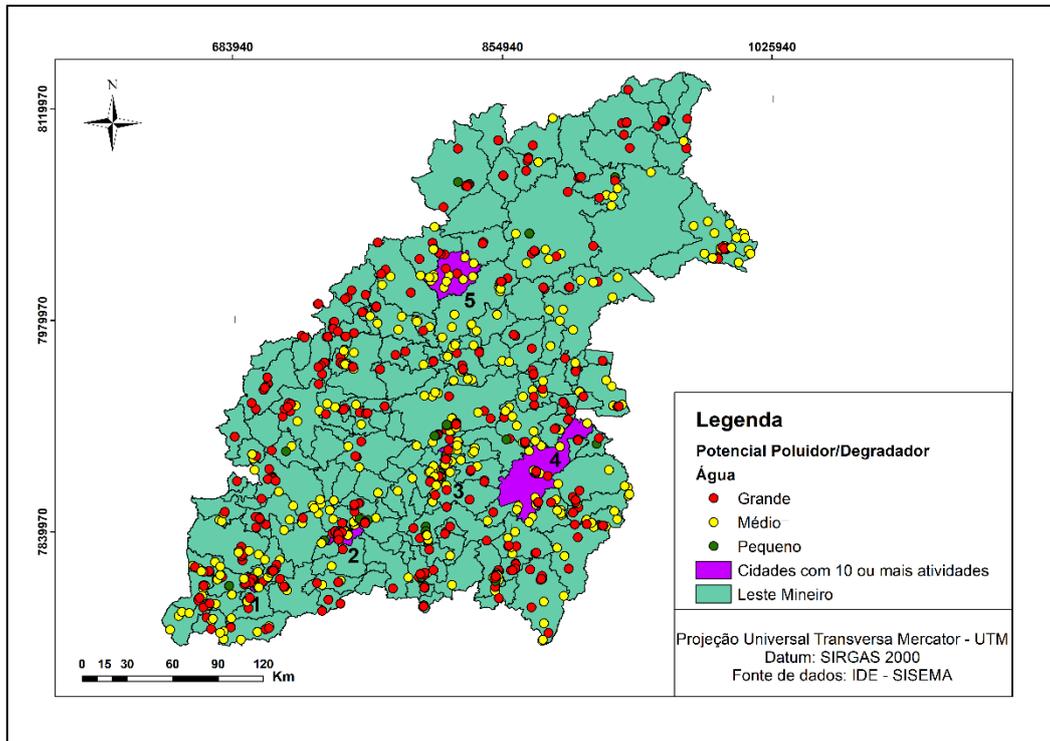


Figura 6 – Distribuição espacial do potencial poluidor/degradador na água.

Seguindo essa análise, o potencial poluidor/degradador na água é apresentado na Figura (7), de maneira semelhante ao que é mostrado na Figura (6). Entretanto, nesta figura, destacam-se as cidades com grau G. Observa-se que cinco cidades apresentaram 11 ou mais atividades: João Monlevade (1), Timóteo (2), Santana do Paraíso (3), Guanhães (4), Governador Valadares (5) e Nanuque (6). Nesse cenário, quase todas as atividades apresentaram a quantidade máxima de 14 atividades, com exceção de Santana do Paraíso e Nanuque.

Com base nas análises anteriores, verifica-se que as cidades de João Monlevade, Timóteo e Governador Valadares são mencionadas em três das quatro análises que abordam o potencial poluidor/degradador tanto no solo quanto na água.

Diante desse panorama, é crucial que essas localidades recebam atenção em relação ao monitoramento de possíveis contaminações. A frequente menção dessas cidades nas análises ressalta um alto potencial de impacto ambiental, justificando a implementação de medidas de controle.

O grau potencial poluidor/degradador geral na Supram Leste Mineiro, resultado da combinação dos dados do grau potencial poluidor/degradador na água, no ar e no solo, pode ser observado no Figura (8). Do total de atividades licenciadas na SLM (841), o grau M é o mais preponderante, chegando a 90% das atividades (755), o grau P com 8% (66 atividades) e o grau G com 2% (20 atividades).

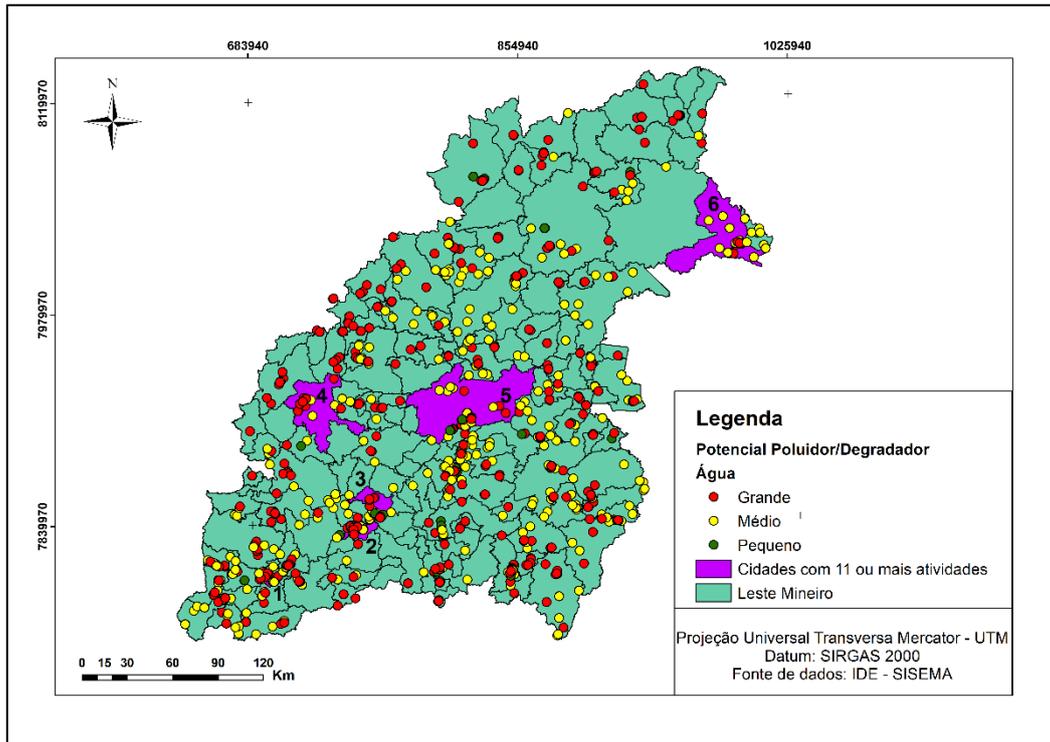


Figura 7 – Distribuição espacial do potencial poluidor/degradador na água.

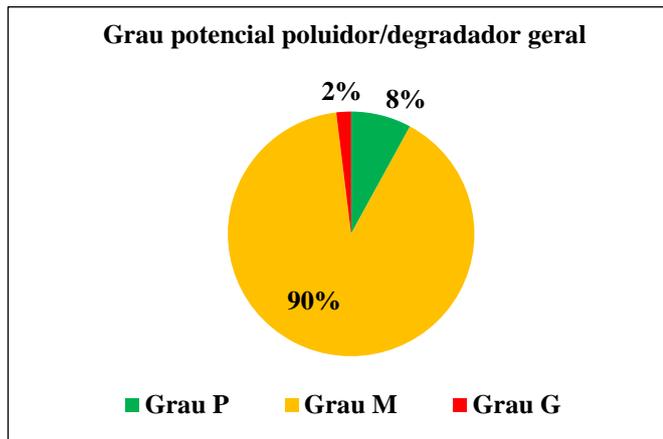


Figura 8 – Grau potencial poluidor/degradador geral.

Ao observar a distribuição espacial do potencial poluidor/degradador geral na Figura (9), fica evidente que a situação difere significativamente dos cenários analisados individualmente. Principalmente em relação ao elemento água, que, quando analisado isoladamente, mostrou que 49% das atividades possui grau G, enquanto na análise geral, apenas 2% das atividades possuem grau potencial G.

Além disso, na distribuição espacial do potencial poluidor/degradador geral, João

Monlevade (1), Timóteo (2), Santana do Paraíso (3), Governador Valadares (4) e Nanuque (5) se destacam com 19 ou mais atividades com grau médio, sendo João Monlevade a cidade com o maior número, totalizando 32 atividades.

#### 4.2. Classificação das atividades licenciadas

As atividades licenciadas na SLM foram categorizadas conforme a Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017, em sete grupos identificados pelas letras A, B, C, D, E, F e G. De acordo com a Figura (10), o grupo A (Atividades Minerárias) correspondem a 28 % das atividades licenciadas, o grupo B (Atividades Industriais/ Indústria Metalúrgica e Outras) com 10% e o grupo F (Gerenciamento de Resíduos e Serviços) com 32%. Logo, somente essas 3 categorias de atividades já correspondem a 70 %. O grupo C, que diz respeito a (Atividades Industriais/Indústria Química e Outras), D (Atividades Industriais/Indústria Alimentícia), E (Atividades de Infraestrutura) e G (Atividades Agrossilvipastoris) compõem os 30 % restantes.

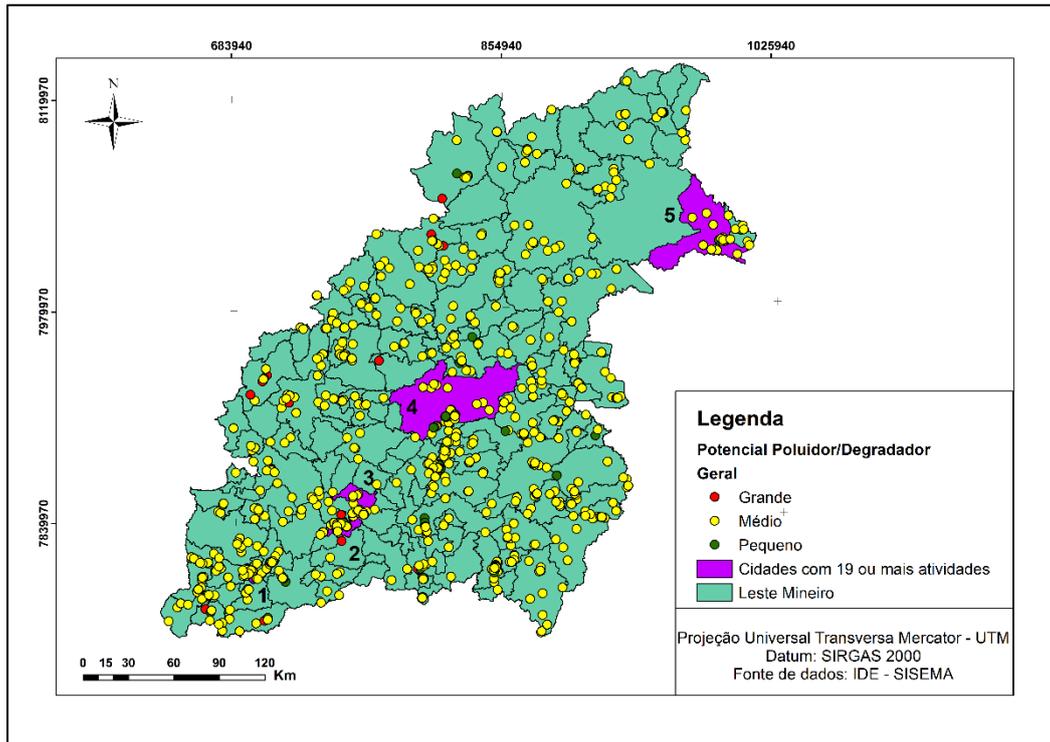


Figura 9 – Distribuição espacial do grau potencial poluidor/degradador geral.

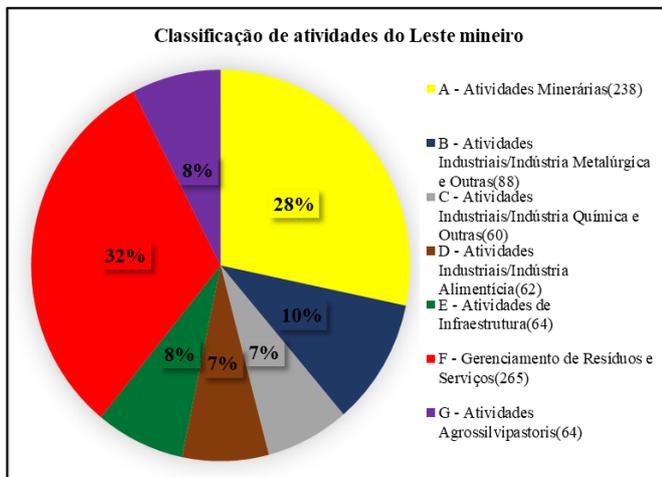


Figura 10 – Classificação das atividades do Leste Mineiro.

Dentro do grupo A foram observadas duas atividades preponderantes, sendo elas as atividades de lavra a céu aberto - Rochas ornamentais e de revestimento e a extração de areia e cascalho para utilização imediata na construção civil, que somadas deram 53% (126 atividades) do total de 238 atividades de acordo com a Tabela (A1) do Apêndice 1.

Segundo Vidal et al. (2014), a lavra das rochas ornamentais é uma atividade cujo objetivo é a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões.

De acordo com Rocha et al. (2010), a extração de blocos em uma pedreira de rochas ornamentais apresenta significativos impactos ambientais assim como em qualquer operação de mineração. Inicialmente, é imprescindível realizar o desmatamento e a remoção do solo para facilitar o acesso e a operação da pedreira, gerando efeitos adversos tanto na fauna e flora quanto no cenário visual. Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2015), esses problemas ambientais são frequentes em todas as formas de mineração, com variações nas consequências dependendo das técnicas empregadas. Ainda de acordo com o autor, entre os principais aspectos e impactos destacam-se o desmatamento, a produção e manejo dos rejeitos, a emissão de ruídos, a descarga de efluentes líquidos, a dispersão de poeira e questões relacionadas à degradação dos recursos hídricos, como o assoreamento.

No grupo B foram duas atividades que juntas são 38% (35 atividades) do total de 88 atividades conforme a Tabela (A2) do Apêndice 1, e são elas operações de aparelhamento, beneficiamento, preparação e transformação de minerais não metálicos, não instalados na área da planta de extração e o processo de tratamento químico para preservação de madeira. Segundo Macedo (1998), os impactos ambientais decorrentes da extração e processamento de minerais não - metálicos são

geralmente menos severos em comparação com aqueles associados à mineração de metais e recursos energéticos. Isso ocorre porque, em geral, os minerais não - metálicos não liberam resíduos tóxicos e as operações de mineração tendem a ser de menor escala.

Em relação a segunda atividade desse grupo, Sell (2024) aponta que preservantes como o arseniato de cobre cromatado (CCA), pentaclorofenol (PCP) e creosote (CR) foram bastante utilizados no tratamento químico para preservação da madeira. E a distribuição de cromo, cobre e arsênio nos solos e ecossistemas aquáticos, oriundos do tratamento químico da madeira com CCA, variam. Quanto ao CR, cerca de 80% dos compostos do creosote são hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), conhecidos por serem substâncias que podem apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente (Walker, 1993).

Por sua vez, no grupo F, uma única atividade se destacou com uma parcela significativa de 86 % (227 atividades) do total de 265 atividades, conforme a Tabela (A3) do Apêndice 1, a atividade de postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação. Esses dados são corroborados pelo inventário de áreas contaminadas do estado de Minas Gerais elaborado pela Feam (2023), que identificou os postos de combustíveis, incluídos o comércio varejista de combustíveis e revendedores de gasolina, álcool e diesel, como a principal fonte de contaminação das áreas contaminadas e reabilitadas do estado.

Conforme Brito et al. (2005, p.2), os BTEXs (benzeno, tolueno, eteno, xileno) componentes da gasolina e do óleo diesel, "são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central".

No que diz respeito à contaminação do solo e das águas subterrâneas, o estudo de Rocha et al. (2004), destaca que as atividades dos postos de serviços podem ocasionar impactos ambientais significativos, como a contaminação do solo através de derramamentos de combustíveis. Esse impacto é ainda mais grave quando ocorrem vazamentos dos tanques de armazenamento de combustível enterrados, pois, dependendo da gravidade e das características do solo, podem atingir os lençóis freáticos e contaminar a vizinhança através dos

poços, que frequentemente são usados como fonte de abastecimento de água.

### 4.3. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos poços

Nota-se na Figura (11A) que na SLM a possibilidade de contaminação dos aquíferos é predominantemente muito baixa a baixa. Segundo Scolforo, Carvalho e Oliveira (2008), essa condição está relacionada à presença predominante do Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico, que apresenta características físicas de grande profundidade, rochas extrusivas de baixa permeabilidade e água com baixa concentração de sais, proporcionando maior proteção do aquífero contra a contaminação. No entanto, nas proximidades das redes de drenagem, o potencial de contaminação é maior, com índices de vulnerabilidade variando de médio a alto, devido à presença do Sistema Aquífero Aluvial ao longo do leito do Rio Doce, especialmente devido à sua baixa profundidade (Scolforo, Carvalho e Oliveira, 2008).

No período analisado foram identificados 1275 poços outorgados distribuídos ao longo da Supram Leste Mineiro. Ao aplicar o raio de 200 m nos poços, foram identificadas 88 atividades licenciadas na área de influência de 126 poços (Figura 11A). Sendo assim, ocorreram 38 ocasiões em que uma atividade estava próxima de mais de um poço, como indicado na Figura (11B). Também ocorreram situações que mais de uma atividade estava nas proximidades de um poço, conforme Figura (11C).

Na análise do grau potencial poluidor/degradador G, das 88 atividades, 9 apresentaram este grau para o solo e 55 para a água, dentre essas atividades, 4 delas apresentaram este grau para água e o solo simultaneamente. Já para o grau potencial poluidor/degradador M, foram contabilizadas 65 atividades com este grau para o solo e 21 para água, dentre essas, atividades 12 delas apresentaram o grau M para água e solo simultaneamente. Contudo, como pontuado anteriormente, há uma inconsistência e dificuldade de correlacionar os dois ambientes (solo e água), pois, a Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017 não faz uma distinção entre água superficial e subterrânea.

Na observação das fontes de contaminação com grau G (Figura 11A), quando analisado a situação para o solo, das 9 atividades, 7 atividades

estão na área de índice de vulnerabilidade muito baixa, 1 em baixa e 1 em índice média, as atividades mencionadas estão no raio de influência de 15 poços tubulares. Dos poços em questão, 7 poços são utilizados no consumo humano, 7 consumo industrial e 1 não foi declarado o tipo de uso. Dos poços utilizados para consumo humano, 3 apresentaram intersecção do raio aplicado com outro poço.

Das 55 atividades com grau potencial poluidor/ degradador G para a água, 43 estão na área

de índice de vulnerabilidade muito baixa, 3 em baixa e 9 em média. As 55 atividades mencionada estão no raio aplicado de 87 poços tubulares. Em relação ao uso dos poços mencionados, 43 poços são para consumo humano, 16 para abastecimento público e 13 no consumo industrial. Dos poços utilizados para consumo humano e abastecimento público, 40 Poços apresentaram intersecção do raio aplicado com outro poço.

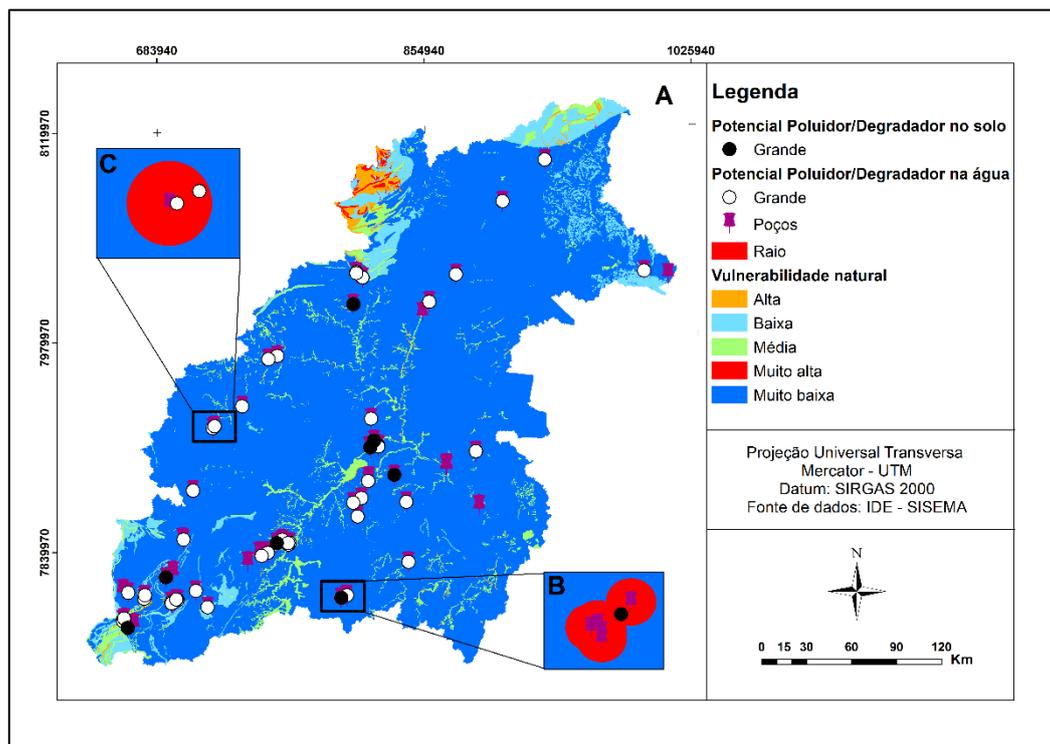


Figura 11 – A: Vulnerabilidade natural no contexto da potencialidade de contaminação da água subterrânea com atividades de grande potencial poluidor/degradador. B: Detalhe de uma atividade inserida no raio de mais de um poço. C: Detalhe de mais de uma atividade inserida no raio de um poço.

Na observação das fontes de com grau M (Figura 12), quando analisado a situação para o solo, das 65 atividades, 49 estão na área de índice de vulnerabilidade muito baixa, 2 em baixa e 14 em média. As atividades mencionadas encontram-se no raio aplicado de 99 poços tubulares. As utilizações mais significativas dos poços foram para consumo humano, abastecimento público e consumo industrial, totalizando 50, 16, e 14 poços, respectivamente. Dos poços utilizados para consumo humano e abastecimento, 46 apresentaram

intersecção com raio de outro poço. Quando analisado a situação para água, das 21 atividades, 16 estão na área com índice de vulnerabilidade muito baixa, e 5 em média. As atividades mencionadas estão inseridas nos raios aplicados de 38 poços tubulares. As utilizações mais significativas desses poços são, consumo humano (19 poços), abastecimento público (7 poços) e consumo industrial (7 poços). Dos poços utilizados para consumo humano e abastecimento público, 20 apresentaram intersecção com o raio de outro poço.

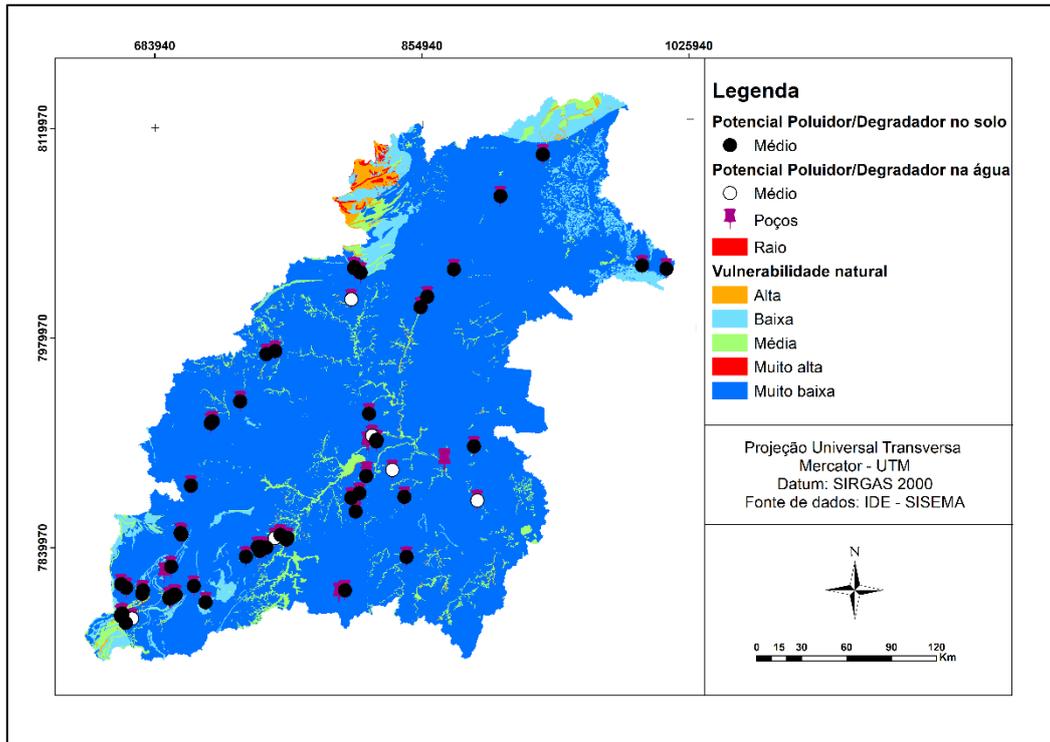


Figura 12 – Vulnerabilidade natural no contexto da potencialidade de contaminação da água subterrânea com atividades de médio potencial poluidor/degradador.

Além do abastecimento público e do consumo, na Figura (13) é possível verificar as demais finalidades de uso identificadas nos 126 poços influenciados por atividades humanas. As estatísticas descritivas desses poços podem ser consultadas na Tabela A4 do Apêndice 2.

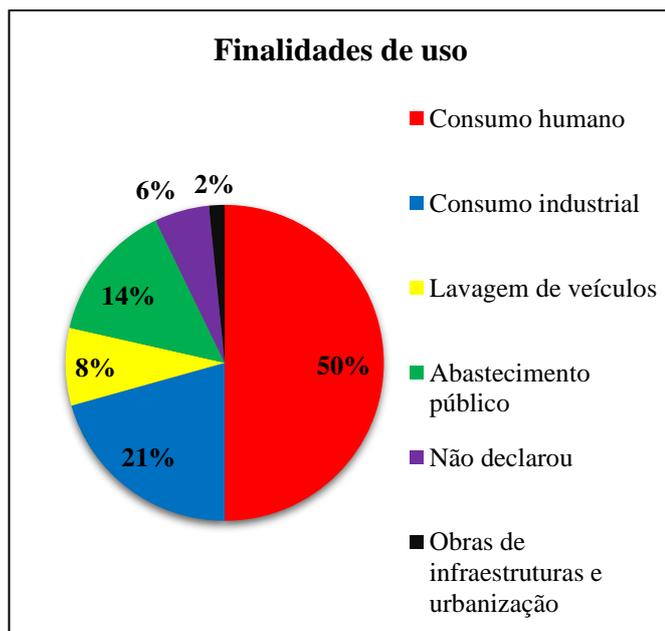


Figura 13 – Finalidades de uso dos 126 poços

Foi adotado o valor do raio de 200 m, pelo fato deste ser utilizado na análise técnica dos processos

de outorga para avaliação das possíveis interferências hidrodinâmicas, de acordo com o Art. 7º do Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019 (Minas Gerais, 2019).

A interferência entre poços, conforme identificado por Silva et al. (2017), ocorre quando o cone de rebaixamento de um poço se sobrepõe parcial ou totalmente ao cone de rebaixamento do poço adjacente. Este fenômeno resulta da influência recíproca entre os poços, onde o rebaixamento de um poço afeta o rebaixamento do outro, podendo causar a diminuição do fluxo subterrâneo e até mesmo a inoperância (secura) de um dos poços. Para mitigar esses problemas, o controle do uso e ocupação do solo, através da restrição e fiscalização das atividades humanas, é uma estratégia essencial para proteger a água subterrânea (Dias et al., 2004).

Essa estratégia pode se concentrar na proteção geral de um aquífero, identificando áreas mais suscetíveis para promover um controle regional do uso do solo, ou na proteção pontual, focada em captações específicas de água subterrânea, especialmente aquelas destinadas ao abastecimento público.

A intersecção entre os raios, como exposto na Figura (11B), pode aumentar a área de influência, alcançando outras atividades. O raio de influência é variável e em aquíferos fraturados dependendo da

abertura e conexão das fraturas, o raio pode atingir quilômetros. O estudo realizado por Reginato, Vargas e Carlos (2023) corrobora com tal informação, no qual foi obtido um raio de influência para um Sistema Aquífero Serra Geral, que é um aquífero fraturado, valores que variaram de 1615 a 5787 m.

Além disso, mesmo em regiões com potencial de contaminação considerado muito baixo, é crucial reconhecer que atividades classificadas com grau G podem representar um risco pelo menos médio para os aquíferos.

Foi analisado que as atividades com alto potencial poluidor estão presentes nas áreas de influência de 52% dos poços, dos 126 (5,56 % referente ao solo e 46,83% referente a água), que são destinados ao consumo humano ou abastecimento público. Na Figura (14), estão presentes os poços que são utilizados para consumo humano ou abastecimento público. Cidades como João Monlevade, Timóteo, Engenheiro Caldas e Governados Valares foram alguns dos municípios que apresentaram pelo menos 2 poços com atividade de grande potencial poluidor para essa finalidade de uso.

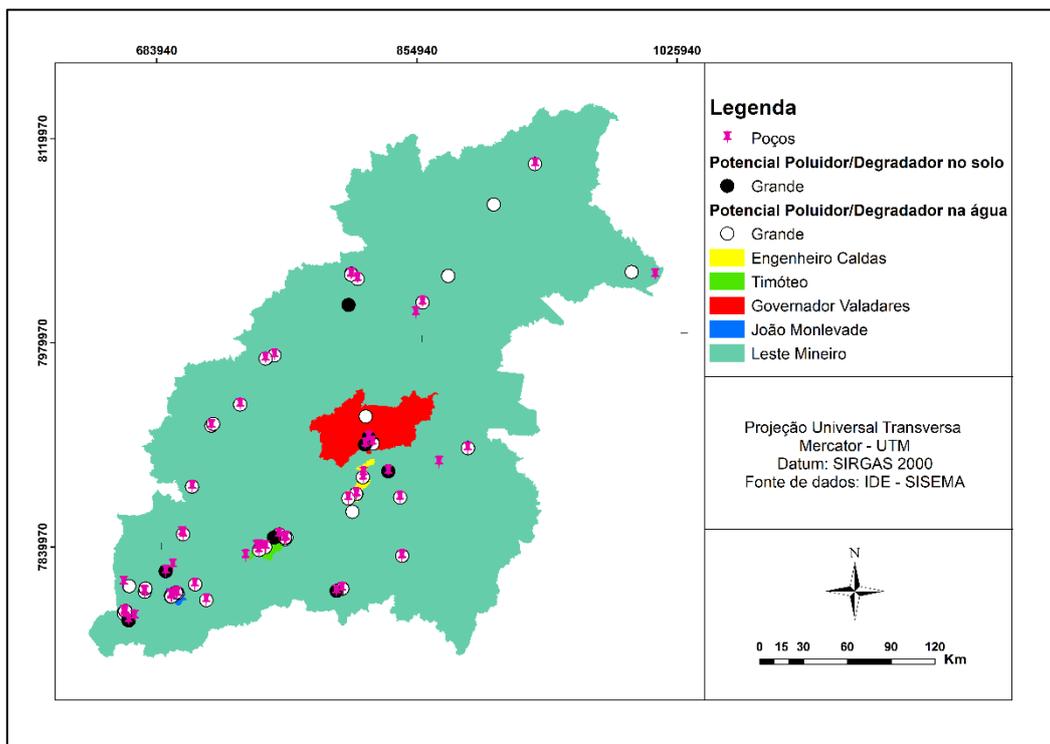


Figura 14 – Distribuição espacial dos poços destinados ao consumo humano ou abastecimento público com atividades de grande potencial poluidor/ degradador.

## 5. Considerações finais

Apesar de ser predominante a presença das atividades em áreas com índice de vulnerabilidade muito baixa, a existência de uma atividade com alto a médio potencial poluidor/ degradador nas proximidades de poços pode representar um risco de contaminação, devido à possibilidade de infiltração de substâncias contaminantes no aquífero.

Os 126 poços identificados como tendo algum tipo de atividade humana em suas proximidades representam apenas aproximadamente 10% dos poços que foram outorgados durante o período em análise. No entanto, é necessário notar que as

atividades com alto potencial poluidor estão presentes nas áreas de influência de 52% dos poços, dos 126 (5,56 % referente ao solo e 46,83% referente a água), que são destinados ao consumo humano ou abastecimento público. Além disso, as atividades com potencial poluidor de magnitude média foram observadas nas proximidades de 73% dos poços, dos 126 (52,38% referente ao solo e 20,63% referente a água), utilizados para consumo humano ou abastecimento público.

Os resultados do estudo têm o potencial de serem usados como base para decisões e ações relacionadas à proteção da qualidade da água subterrânea. Isso pode incluir a implementação de

regulamentações mais claras e eficazes, o desenvolvimento de programas de fiscalização e monitoramento mais abrangentes para detectar rapidamente qualquer contaminação e a promoção de práticas de gestão sustentável dos recursos hídricos.

Além disso, é crucial enfatizar a necessidade de uma definição mais clara que distinga o grau de potencial poluidor para águas superficiais e subterrâneas. A diferenciação entre esses dois tipos de águas é fundamental, pois o processo de contaminação de cada uma possui mecanismos, características e impactos específicos. Águas superficiais, como rios e lagos, estão mais expostas, e os impactos são, geralmente, perceptíveis, enquanto águas subterrâneas, armazenadas em aquíferos, podem ser afetadas de maneira oculta, tornando a remediação mais complexa.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG/IGAM - Edital nº 003/2022 - Proposta APQ01266-22; do Núcleo Estratégico e Interdisciplinar de Engenharia do Mucuri (NEIEMUC); e do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

## Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2024. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual*. Brasília: ANA.

Barbosa, M.B., 2020. *Aplicação do geoprocessamento na análise dos fatores condicionantes das variações do nível de água subterrânea do Sistema Aquífero Bauru*. Monografia em Engenharia Geológica. Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2544>> [Acessado 20 setembro 2024].

Barros, A. M. L., 2008. *Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo MONERIS à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Brito, F.V; Oliveira, A.S., Neves, H.C., Azevedo, J.A.T., Bhering, D.L., Reis, S.M., Machado,

M.C.S., Azevedo, G.C. e Carvalhaes, G.K., 2005. Estudo da contaminação de águas subterrâneas por BTEX oriundos de postos de distribuição no Brasil. In: *Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 3. Salvador.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. [s.d.]. *Poluição das águas subterrâneas*. São Paulo: CETESB.

Dias, C.L., Iritani, M.A., Guillaumon, J.R., Casarini, D.C.P., Okano, O., Ferreira, L.M.R., Frisch, H., Troeger, U. e Schuler, G., 2004. Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: Conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo. In: *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 13.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente., 2015. *Guia Técnico Ambiental da Indústria de Rochas Ornamentais*. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2023. *Inventário de áreas contaminadas Estado de Minas Gerais: 2023*. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM.

Fiume, B., Senhorinho, E.M., Nascimento, F.M.F., Miranda, J.S.N., Abreu, M.C. e De Paula, T.L.F., 2022. *Mapa hidrogeológico do estado de Minas Gerais*. Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM.

Hirata, R., Suhogusoff, A., Marcellini, S. S., Villar, P. C., Marcellini, L., 2019. *As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil*. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. <https://doi.org/10.11606/9788563124074>

Macedo, A.B., 1998. *Recursos minerais não-metálicos*. Estudos Avançados, 12(33), pp. 67-87. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141998000200005>

Minas Gerais., 2017. *Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação e critérios locais para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no*

- Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo, Minas Gerais. Grande. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/15501>> [Acessado 20 setembro 2024].
- Minas Gerais., 2019. *Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais*. Assembleia legislativa de Minas Gerais.
- Reginato, P.A.R., Vargas, T., Carlos, F.S., 2023. *Raio de influência e coeficiente de armazenamento em poços tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral*. In: *Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente*. Bento Gonçalves, 7.
- Rios, I.H.R., 2021. *Estudo do risco de contaminação de aquíferos da região de Feira de Santana como ferramenta de apoio à gestão e gerenciamento das águas subterrâneas*. Mestrado em Gestão Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal da Bahia.
- Rocha, C.H. e Sousa, J., 2010. *Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim-Es*. Enciclopédia Biosfera, 6(9), pp.1-17.
- Rocha, S.P.B., Silva, G.C.S. e Medeiros, D.D., 2004. *Análise dos impactos ambientais causados pelos postos de distribuição de combustíveis: uma visão integrada*. In: *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 24. Florianópolis.
- Scolforo, J.R., Carvalho, L.M.T. e Oliveira, A.D. eds., 2008. *Zoneamento ecológico-econômico de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico*. Lavras: Editora UFLA.
- Sell, M.G., 2024. *Modificação da madeira por ácido cítrico para substituição de madeira tratada com biocidas e seu impacto ambiental*. Mestrado em Tecnologias Ambientais. Instituto Politécnico de Viseu. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.19/8342>> [Acessado 20 setembro 2024].
- Silva, L.B., 2020. *Qualidade da água subterrânea que abastece Juazeiro do Norte–CE: relação com cobertura de esgoto e densidade populacional*. Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Campina Grande.
- Silva, M.V.A., Macedo, L.G.M., Mariano, M.C.A. e Maciel, V.M., 2017. *Estimativa do Raio de Influência dos Poços de Rebaixamento da Mina F4 e sua área de Interferência, Complexo Minerquímico de Araxá, Vale Fertilizantes*. In: *XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19*. <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28760>
- Silva, R.L.B., 2002. *Contaminação de poços rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, por derramamento de gasolina: concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população*. 2002. Doutorado em Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/44670>> [Acessado 19 setembro 2024].
- Sobrinho, L.C.G., 2009. *Metodologias de determinação de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação ambiental: uma análise crítica*. Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9ASJS3>> [Acessado 11 setembro 2024].
- Vidal, F.W.H., Pinheiro, J.R., Castro, N.F. e Caranassios, A., 2014. *Lavra de rochas ornamentais*. In: Vidal, F.W.H., Azevedo, H.C.A. e Castro, N.F. eds. 2014. *Tecnologia de Rochas Ornamentais*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações -MCTI.
- Walker, J.C.F., 1993. *Primary Wood Processing: Principles and practice*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8110-3>

## APÊNDICE 1

Tabela A1 – Tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo A).

N°	Quanto os tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo A)	Quantidade	Ar	Água	Solo	Total
I	Extração de água mineral ou potável de mesa	1	P	M	P	P
II	Extração de areia e cascalho para utilização imediata na construção civil	60	P	G	M	M
III	Extração de argila usada na fabricação de cerâmica vermelha	33	M	M	G	M
IV	Extração de cascalho, rocha para produção de britas, areia fora da calha dos cursos d'água e demais coleções hídricas, para aplicação exclusivamente em obras viárias, inclusive as executadas por entidades da Administração Pública Direta e	31	M	M	G	M
V	Extração de rocha para produção de britas	12	M	M	M	M
VI	Lavra a céu aberto - Minerais não metálicos, exceto rochas ornamentais e de revestimento	4	M	M	M	M
VII	Lavra a céu aberto - Minério de ferro	4	M	M	G	M
VIII	Lavra a céu aberto - Rochas ornamentais e de revestimento	66	M	M	G	M
IX	Lavra em aluvião, exceto areia e cascalho	1	P	G	M	M
X	Lavra subterrânea exceto pegmatitos e gemas	1	P	G	G	G
XI	Lavra subterrânea pegmatitos e gemas	16	P	M	G	M
XII	Unidade de Tratamento de Minerais - UTM, com tratamento a seco	9	G	M	M	M
	<b>Total</b>	<b>238</b>				

Tabela A2 – Tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo B).

N°	Quanto os tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo B)	Quantidade	Ar	Água	Solo	Total
I	Aparelhamento, beneficiamento, preparação e transformação de minerais não metálicos, não instalados na área da planta de extração	24	M	G	M	M
II	Britamento de pedras para construção	2	G	P	P	M
III	Construção de embarcações e estruturas flutuantes e fabricação de suas peças e acessórios	1	G	M	M	M
IV	Fabricação de cerâmica vermelha (telhas, tijolos e outros artigos de barro cozido), inclusive com utilização de até 10% dos resíduos “pó de balão” ou “lama de alto-forno” à base seca, em substituição de percentual equivalente na carga	16	M	P	P	P
V	Fabricação de eletrodomésticos e/ou componentes eletroeletrônicos, inclusive lâmpadas	1	M	M	M	M
VI	Fabricação de estruturas metálicas e artefatos de trefilados de ferro, aço e de metais não-ferrosos, sem tratamento químico superficial, exceto móveis	5	M	M	M	M
VII	Fabricação de madeira laminada ou chapas de madeira aglomerada, prensada ou compensada, revestida ou não revestida	4	M	P	P	P
VIII	Fabricação de material cerâmico	1	M	M	P	M
IX	Fabricação de móveis de madeira, e/ou seus derivados, com pintura e/ou verniz	10	M	M	M	M
X	Fabricação de móveis de metal com tratamento químico superficial e/ou pintura	1	G	M	M	M
XI	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores e/ou ferroviários, exceto embarcações e estruturas flutuantes	1	G	M	M	M
XII	Jateamento e pintura	5	G	M	M	M
XIII	Produção de forjados, arames e relaminados de aço	1	M	G	M	M
XIV	Produção de fundidos de metais não-ferrosos, inclusive ligas, sem tratamento químico superficial e/ou galvanotécnico, inclusive a partir de reciclagem	1	G	M	P	M
XV	Produção de soldas e ânodos	2	M	M	P	M
XVI	Produção de tubos de ferro e aço e/ou de laminados e trefilados de qualquer tipo de aço, sem tratamento químico superficial	1	M	G	M	M
XVII	Serviço galvanotécnico	1	M	G	M	M
XVIII	Tratamento químico para preservação de madeira	11	P	G	G	G
	Total	88				

Tabela A3 – Tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo F).

N °	Quanto os tipos de atividade Leste Mineiro (Grupo F)	Quantidade	Ar	Água	Solo	Total
I	Áreas de triagem, transbordo e armazenamento transitório e/ou reciclagem de resíduos da construção civil e volumosos	4	M	P	M	M
II	Aterro de resíduos da construção civil (classe “A”), exceto aterro para fins de terraplanagem em empreendimento ou atividade com regularização ambiental, ou com a finalidade de nivelamento de terreno previsto em projeto aprovado da ocupação	11	M	M	M	M
III	Aterro para resíduos não perigosos – Classe II-A e II-B, exceto resíduos sólidos urbanos e resíduos da construção civil.	3	P	M	G	M
IV	Base de armazenamento e distribuição de lubrificantes, combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos	3	M	M	G	M
V	Central de recebimento, armazenamento temporário, triagem ou transbordo de sucata metálica, papel, papelão, plásticos ou vidro para reciclagem, não contaminados com óleos, graxas, agrotóxicos ou produtos químicos	3	P	P	P	P
VI	Central de recebimento, armazenamento, triagem e/ou transbordo de lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, vapor de mercúrio, outros vapores metálicos, de luz mista e lâmpadas especiais que contenham mercúrio	1	P	P	M	P
VII	Central de recebimento, armazenamento, triagem e/ou transbordo de outros resíduos não listados ou não classificados	2	M	M	M	M
VIII	Central de recebimento, armazenamento, triagem e/ou transbordo de pilhas e baterias; ou baterias automotivas	1	P	P	M	P
IX	Central de recebimento, armazenamento, triagem e/ou transbordo de sucata metálica, papel, papelão, plásticos ou vidro para reciclagem, contaminados com óleos, graxas ou produtos químicos, exceto agrotóxicos	8	P	M	M	M
X	Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação	227	P	G	M	M
XI	Reciclagem ou regeneração de outros resíduos classe 2 (não-perigosos) não especificados	2	M	M	M	M
	Total	265				

## APÊNDICE 2

Tabela A4 – Estatísticas dos 126 poços com influência de atividades humanas.

<b>Estatísticas</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Profundidade (m)</b>
Mínima	0	18
Média	9,88	86,88
Máxima	180	180
Mediana	2,94	81
Desvio padrão	21,84	37,50
Percentual de dados ausentes	0%	44%